



FABIANO JOSÉ DE BRITO GOMES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO SISTEMA WOOD FRAME NO
BRASIL**

**LAVRAS -MG
2021**

FABIANO JOSÉ DE BRITO GOMES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO SISTEMA WOOD FRAME NO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Engenharia
Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa
Orientadora

**LAVRAS -MG
2021**

FABIANO JOSÉ DE BRITO GOMES

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO SISTEMA WOOD FRAME NO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Engenharia
Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 24/11/2021

Profa. Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa

Profa. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo



Profa. Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa
Orientadora

LAVRAS -MG
2021

AGRADECIMENTOS

Concluir este TCC não foi fácil. Foi muitas vezes uma tarefa árdua e cansativa, mas também extremamente gratificante pelo conhecimento que adquiri e fui capaz de produzir. Todo o esforço realmente valeu a pena, já que agora concluo a última parte da minha longa jornada na graduação de Engenharia Civil, na qual enfrentei diversos obstáculos, devido a dúvidas que pairaram durante muito tempo, mas que, felizmente foram esclarecidas e foram de grande ajuda na construção do meu conhecimento teórico.

Quero agradecer a minha mãe, Zuleima, que eu amo tanto, que sempre me apoiou em tudo na minha vida, me incentivando a estudar e a concluir o curso, pois ela sempre diz que: “o estudo é a única coisa que ninguém pode lhe tirar”.

Ao meu querido pai, Matias, por tudo que me ensinou, significou e sempre significará em minha vida. Ao meu querido irmão Raphael e a minha querida irmã Hanna, agradeço por todo o apoio e paciência que vocês tiveram comigo nesse último semestre, me apoiando.

Quero agradecer também aos examinadores da minha banca de TCC, a Professora Priscilla Abreu Pereira Ribeiro, e ao Professor André Luiz Zangiácomo, que foram gentis e aceitaram prontamente o convite. E em especial a minha orientadora de TCC, a professora Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa que me orientou durante esse período e contribuiu significativamente para a conclusão da minha graduação. Agradeço pelo empenho, por ter tido paciência e me apoiado sempre que necessário! Sua contribuição foi valiosa do início ao fim. Você não estava presente fisicamente, mas sei que estava em pensamento!

RESUMO

No mercado brasileiro o uso de sistemas construtivos diferenciados, que buscam aliar rapidez, resistência, e menor dano ao meio ambiente, vem ganhando cada vez mais espaço. Logo, outros métodos construtivos podem ser eficazes com melhor custo benefício e aplicabilidade adequada com qualidade equivalente ou superior aos sistemas tradicionais. O sistema construtivo em light wood frame para edificações de até cinco pavimentos é uma opção atraente devido à baixa densidade do material, e ser pré-moldado com estruturas em perfis de madeira reflorestada tratada. Isto permite sua utilização em técnicas mistas, rapidez na montagem e total controle dos gastos já na fase de projeto. Portanto, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo investigar o Sistema Wood Frame desde a sua evolução histórica, características, propriedades físicas e mecânicas, normatização, até a comparação entre este sistema construtivo com o tradicional de alvenaria nos aspectos técnicos e econômicos, para verificar sua viabilidade no Brasil. Diante do estudo realizado concluiu-se que o Wood Frame é uma técnica construtiva que viável para utilização no Brasil e é sustentável, porém é necessário que os custos sejam reduzidos para que mais pessoas possam utilizá-lo.

Palavras-chave: Sistema modular. Inovação Tecnológica. Propriedades físicas e mecânicas. Custo benefício.

ABSTRACT

In the Brazilian market, the use of differentiated construction systems, which seek to combine speed, resistance, and less damage to the environment, has been gaining more and more space. Therefore, other construction methods can be effective with better cost-benefit and adequate applicability with equivalent or superior quality to traditional systems. The wood frame constructive system for buildings with up to five floors is an attractive option due to the low density of the material, and being precast with structures in treated reforested wood profiles. This allows its use in mixed techniques, quick assembly and total control of expenses already in the design phase. Therefore, this course conclusion work aimed to investigate the Wood Frame System from its historical evolution, characteristics, physical and mechanical properties, standardization, to the comparison between this constructive system with the traditional masonry system in technical and economic aspects, to verify its viability in Brazil. In view of the study carried out, it was concluded that Wood Frame is a constructive technique that is viable for use in Brazil and is sustainable, but it is necessary that costs be reduced so that more people can use it.

Keywords: Modular system. Tecnologic innovation. Physical and mechanical properties Cost benefit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Residências construídas em madeira	14
Figura 5.1 – Palácio de Stiftsgarden – Noruega	15
Figura 5.2 – Especificações do Wood Frame pela TECVERDE	20
Figura 5.3 – Nomenclatura e localização das peças componentes das paredes	33
Figura 5.4 – Mesa de montagem dos painéis de parede	35
Figura 5.5 – Principais camadas das paredes.....	36
Figura 5.6 – Residencial Haragano	37
Figura 5.7 – Fachada Casa Space	38
Figura 5.8 – Interior Casa Space.....	38
Figura 5.9 – Casa Supreme Village	39
Figura 7.1 – Estrutura de concreto armado.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Número de residências classificadas por tipologia construtiva	14
Tabela 5.1 – Propriedades da madeira, concreto e aço	19
Tabela 5.2 – Vida útil de projeto (VUP) dos diversos métodos construtivos.....	25
Tabela 6.1 – Orientações para financiamento de habitações em madeira da Caixa Econômica Federal	42
Tabela 7.1 – Vida útil de projeto de vedações	44
Tabela 7.2 – Insumos necessários para a composição da alvenaria	45
Tabela 7.3 – Custos de insumos para a composição de um painel em Wood Frame	46
Tabela 7.4 – CUB da alvenaria e Wood Frame	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APRE	Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal
a.C.	Antes de Cristo
BRDE	Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
CCA	Cobre – Cromo – Arsênio
CCB	Cobre – Cromo – Boro
CO ₂	Dióxido de Carbono (gás carbônico)
CUB	Custo Unitário Básico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PVC	Policloreto de Vinila
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO.....	12
3. BREVE ESTADO DA ARTE	12
4. METODOLOGIA.....	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.1 Histórico.....	15
5.2 Vantagens e Desafios	17
5.3 Composição e Características do Sistema Wood Frame.....	18
5.4 Propriedades físicas da madeira	20
5.6 Tratamentos e durabilidade do sistema.....	24
5.7 Comparação de geração de resíduos.....	27
5.8 Normas NBR 15575 e NBR 16936.....	27
5.9 Projetos	34
5.10 Fabricação.....	35
5.11 Execução de obras.....	35
6. METODOLOGIAS DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CONSTRUÇÕES NO SISTEMA WOOD FRAME.....	40
7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A VEDAÇÃO DE ALVENARIA E PAREDES DE WOOD FRAME	44
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

Entre as atividades de alto impacto ambiental no Brasil, destaca-se o setor da construção civil. Com papel significativo no consumo de energia e geração de resíduos, este setor tem pouca fiscalização e grande volume de descartes irregulares de materiais. Assim, a adoção de sistemas construtivos que minimizem o desperdício no canteiro de obras, e a utilização de materiais renováveis nas construções são preceitos que devem ser adotados pela engenharia atual.

Com a crescente preocupação em relação às questões ambientais e de saúde no planeta, é necessário buscar alternativas em todas as áreas da economia para que se tornem mais sustentáveis, dando destaque à construção civil, que conforme mencionado, tem alto impacto ambiental. Assim, busca-se novos métodos construtivos ou desenvolvimento de novas tecnologias para os métodos já existentes, com o objetivo de torná-los menos danosos.

O Sistema Light Wood Frame, ou simplesmente Wood Frame é um método de construção industrializado estruturado por perfis de madeira reflorestada tratada montados para forma paredes e telhados, combinados e/ou revestidos com outros tipos de materiais para melhor conforto térmico e acústico. Tudo isso com o fim de proteger fisicamente a estrutura do fogo e de intempéries.

“*Framing*” é a denominação uma palavra usada amplamente na construção civil, que faz referência a sistemas e tecnologias de construção capazes de gerar maior rapidez de execução, e também maior sustentabilidade e conforto em todas as etapas construtivas. Esse sistema construtivo tem como características um grande número de elementos estruturais, como perfis leves, esbeltos e espaçados igualmente onde se localizam as paredes. E esses elementos estruturais conseguem resistir aos esforços que atuam sobre a edificação, sem a necessidade de perfis ou sessões transversais mais complexas e pesadas (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010).

Este sistema construtivo, considerado inovador no Brasil, tem ampla aplicabilidade em países norte-americanos, escandinavos e europeus. No Canadá esta tecnologia é utilizada em mais de 95% das casas construídas, devido às grandes vantagens, como rapidez construtiva, menor produção de resíduos, entre outras, oferecidas por esse método (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010).

Calil Junior e Molina (2010), apontam que nos Estados Unidos, 95% das residências utilizam o sistema construtivo Wood Frame, porém isso não ocorre no Brasil, pois sua adoção por parte dos arquitetos, engenheiros e até mesmo a população em geral, ainda é incipiente. A indústria da

construção em madeira no Brasil foi pouco disseminada e apresentou poucas transformações tecnológicas.

Fatores como a deficiência de profissionais habilitados, engenheiros e arquitetos, em desenvolvimento de projetos, detalhamento e execução, contribuem para a escassez de elementos em madeira nas obras. Também ocorrem carência de informação sobre a seleção das espécies para determinados usos; erros na execução por falta de capacitação da mão de obra; e baixo desenvolvimento tecnológico dos produtos ofertados (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010).

É importante avaliar também o sistema Wood Frame quanto às normas vigentes. A sua adequação à NBR 15575 (ABNT, 2021) intitulada Edificações habitacionais - Desempenho entre outras deve ser verificada. A durabilidade é outro fator relevante quando comparado com outros métodos construtivos convencionais, pois é fator que pode interferir diretamente no custo-benefício desse sistema e da sua permanência e aceitação pelo público brasileiro.

Diante destas informações, o seguinte tema foi escolhido visando identificar os desafios e perspectivas do Sistema Wood Frame no Brasil.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo investigar o Sistema Wood Frame desde a sua evolução histórica, características, propriedades físicas e mecânicas, normatização, até a comparação entre este sistema construtivo com o tradicional de alvenaria nos aspectos técnicos e econômicos, para verificar sua viabilidade no Brasil.

3. BREVE ESTADO DA ARTE

De acordo com Shigue (2018) as primeiras construções que utilizavam madeira no Brasil foram as construções indígenas, que chegavam a ter grande porte, abrigando dezenas de pessoas. Após a colonização, predominou a construção de alvenaria e pedras. No final do séc. XIX, na região Sul, a construção de casas de madeira predominou, devido à grande disponibilidade de árvores de grande porte na região. Já no séc. XX instaurou-se a cultura do concreto no Brasil, incentivada pela verticalização urbana no Sudeste, enquanto no Sul, a construção em madeira estava no auge, até 1934, quando é aprovado o primeiro Código Florestal, que limitou a exploração das florestas e previu a reposição. Em 1906 implantou-se o plantio de eucalipto em São Paulo

devido ao esgotamento florestal. No Paraná, o plantio passou a ser realizado em 1940 de eucalipto e em 1951 de pinus.

De acordo com a Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal – APRE (2017) o consumo médio de madeira na construção civil no mundo é de 0,17 m³ / habitante e no Brasil é de 0,11 m³/habitante. Nos Estados Unidos o consumo chega a 0,57 m³/habitante. Na Inglaterra, as casas de madeira representavam 15% do total das edificações em 2007, com previsão de alcançarem até 27%. Os usos mais correntes da madeira no Brasil são para aplicação em telhados, em 42% dos casos e na construção convencional em 28% dos casos.

O Wood Frame foi implantado no Brasil na década de 70, no Paraná. Há poucos dados sobre o início da utilização do Wood Frame, porém as primeiras construções de casas industrializadas ocorreram a partir de 1967, pela empresa Madezatti, para abrigar trabalhadores das construções de hidrelétricas. Após os anos 2000 até a data da presente pesquisa, os registros sobre a utilização do Wood Frame são escassos, revelando uma utilização pontual da tecnologia no país (SHIGUE, 2018).

Este sistema construtivo vem sendo estudado para adaptação e inserção no contexto brasileiro desde 1990, entretanto somente após algumas visitas de empresários em fábricas de painéis de Wood Frame em 2009 que o sistema começou a ser regulamentado e industrializado de fato no Brasil (ESPINDOLA E INO, 2014).

De acordo com o IBGE (2015), entre 57,5 milhões de edificações destinadas à moradia no Brasil, apenas 7% são construídas em madeira, enquanto 90% são em alvenaria, como exibe a Tabela 3.1.

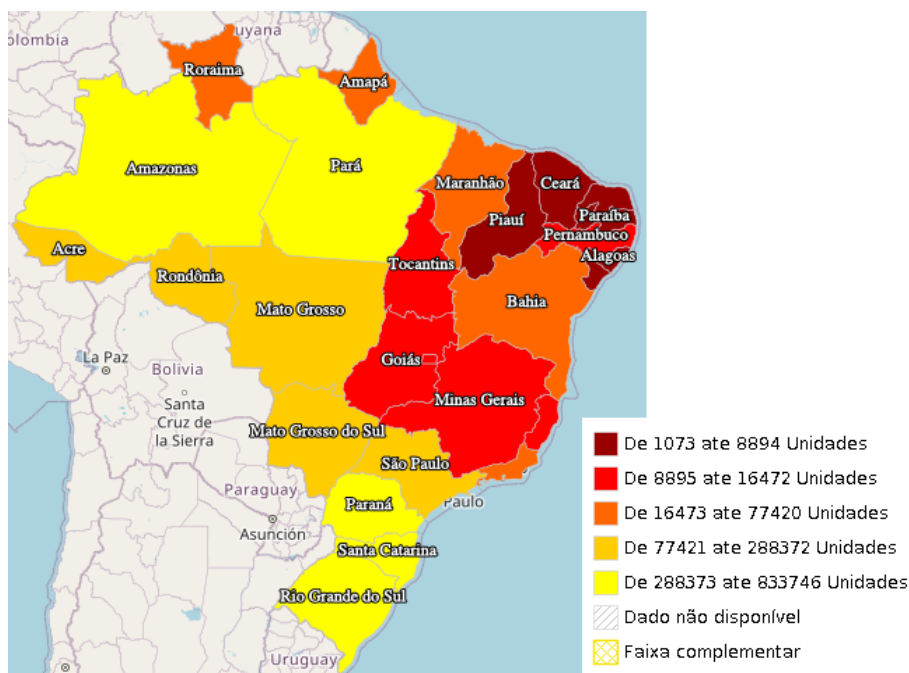
Tabela 3.1 - Número de residências classificadas por tipologia construtiva

2015 – OCORRÊNCIAS DA PNAD		
ITENS GEOGRÁFICOS	PAREDE, TIPO	DOMICÍLIO (S)
BRASIL	Alvenaria	63.633.658
	Madeira aparelhada	3.600.803
	Taipa não revestida	458.744
	Madeira aproveitada	207.845
	Palha	12.235
	Outros	123.608

FONTE: IBGE, 2015. Modificado pelo autor.

A figura 3.1 também demonstra a distribuição do número de habitações construídas em madeira aparelhada, ou seja, produzida para a finalidade de construção e de madeira aproveitada no Brasil, segundo os dados do IBGE, em 2015.

Figura 3.1 - Residências construídas em madeira



FONTE: IBGE, 2015.

A Caixa Econômica Federal aprovou o desempenho construtivo e liberou financiamento para residências utilizando a tecnologia Wood Frame a partir de 2013, uma evolução na importância da mesma (CAIXA, 2013).

4. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido com revisão bibliográfica qualitativa, baseada em documentos físicos e *online*, como artigos científicos, periódicos, livros, notas de aula, teses e dissertações, dados estatísticos, normas nacionais e internacionais, entre outros. Foram utilizadas plataformas de busca como Google Acadêmico, Scielo, LILACS, Teses USP, entre outras. As principais palavras-chave utilizadas foram wood framing, painéis de madeira, construção em madeira.

A pesquisa bibliográfica abrangeu desde a conceituação, história até a aplicabilidade do sistema Wood Frame no Brasil. As características físicas e mecânicas, detalhes construtivos e viabilidade econômica foram comparados com a alvenaria em outros sistemas construtivos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo, será abordado o histórico da tecnologia do Wood Frame, suas utilizações iniciais e principais aspectos relacionados à suas propriedades e utilização.

5.1 Histórico

Castro (2008) afirmou que as construções em madeira são conhecidas desde a pré-história, sendo que as primeiras habitações de madeira conhecidas datam do período paleolítico, entre 450.000 e 380.000 a.C., encontradas por arqueólogos no sul da França, próximo à região de Nice. Eram construções pequenas, com dimensões até 15 metros de comprimento e 6 metros de largura, com altos pilares de sustentação e vedação com pedras.

Citou ainda que até o século XVIII, mesmo com a evolução da construção e a utilização de materiais como pedra e tijolos, em alguns locais com escassez de material, como na Noruega, ainda utilizou-se a madeira para grandes construções, como o Palácio Stiftsgarden, totalmente construído em madeira, exibido na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Palácio de Stiftsgarden – Noruega



FONTE: The Royal House of Norway, 2021.

Com a Revolução Industrial, as máquinas à vapor permitiam o corte mecânico dos troncos de árvores e técnicas de produção em série de ferramentas e componentes de construção. Ainda assim, a madeira era ofertada em grande escala na Europa, devido ao alto grau de isolamento térmico. Entretanto, a Revolução Industrial também contribuiu para a redução das reservas madeireiras da Europa e com a substituição da madeira na construção por construções à base de

tijolos. Nos séculos XIX e XX, a madeira foi sendo substituída como material de construção por materiais supostamente, mais duradouros (CASTRO, 2008).

Os primeiros registros da utilização do wood frame datam do século XVI, nos Estados Unidos, com a chegada dos imigrantes europeus. Inicialmente, eles construíram as casas seguindo o padrão europeu do *heavy timber frame*, com estrutura de elementos de madeira robustos e pesados. Os sistemas construtivos evoluíram para se adaptar ao clima norte americano e na primeira metade do século XIX,

(...) o sistema construtivo Wood Framing surgiu quando construtores perceberam que os elementos verticais pouco espaçados, utilizados na vedação em edificações em heavy timber frame, eram suficientemente capazes de suportar as cargas de forma que os pilares robustos de madeira poderiam ser retirados. (CARDOSO, 2015, p. 32).

Sabe-se que a construção em madeira é considerada convencional em diversos países, como Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, França, Alemanha, Dinamarca, Suécia, Noruega, Finlândia e Holanda, países com climas hostis ao cultivo das espécies que se desenvolvem com facilidade no Brasil (OLIVEIRA, 1997). O país tem todos os requisitos para o pleno desenvolvimento da indústria da construção em madeira: o clima é favorável ao cultivo de espécies como pinus e eucalipto que por sua vez são espécies de rápido crescimento e passíveis de reflorestamento, que podem ser utilizados no sistema Wood Frame (OLIVEIRA, 1997).

Os primeiros protótipos em Wood Frame no Brasil foram iniciativas de construtoras internacionais. Em 1973 a Gypsum construiu o primeiro na região Nordeste, com foco principalmente no uso do gesso. Em 2001, o segundo protótipo foi produzido pelo americano e especialista Alfred Lee Edgar no estado do Rio Grande do Sul. Somente meses mais tarde é que as empresas do ramo madeireiro despertaram o interesse por começar a fabricação de produtos à base de madeira para construção em Wood Frame no País (ARAÚJO, 2016).

Satsek e Santos (2018) citam que em 2009 a empresa alemã Weinmann, em parceria com o Ministério da Economia do Estado de Baden – Wurttemberg e o SENAI convidaram uma delegação de empresários e engenheiros do Sul e Sudeste para conhecer o método construtivo na Alemanha. O mesmo grupo também viajou ao Canadá. Neste momento se firmou um compromisso para se desenvolver um projeto para implantação do sistema construtivo no Brasil, formando-se uma comissão denominada “Casa Inteligente”.

Em 2011 foi aprovada pela Comissão Nacional do SINAT - Sistema Nacional de Avaliação Técnica a primeira diretriz brasileira sobre o Wood Frame. Em 2013 o wood frame foi liberado primeiramente para a empresa TecVerde, que desenvolveu o documento técnico para construções habitacionais térreas de Wood Frame, denominados de “Sistema construtivo TecVerde: sistema leve em madeira”. O documento foi revisado em 2015, para revisão dos testes e adequação e atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2021) e demais normas (SINAT, 2020).

Satsek e Santos (2018) citaram que o primeiro empreendimento em Wood Frame no Brasil foi um condomínio residencial, com 280 unidades de 45 m² cada uma, financiado pelo governo pelo programa Minha Casa, Minha Vida. O projeto foi realizado pela construtora Roberto Ferreira, em parceria com a TecVerde, que fabrica os kits para construção em Wood Frame. Até 2016, havia registro de 22 empresas que atuavam de forma direta com o Wood Frame, sendo elas serrarias, construtoras e escritórios.

Para que ocorra essa adaptação e eventual escolha desse sistema no Brasil, tem que haver capacitação de profissionais que atuam na área da construção civil, principalmente no desenvolvimento e na execução de projetos em Wood Frame. (SINAT, 2020).

Logo para que isso ocorra é necessário que novas competências sejam aprendidas e aplicadas no trabalho.

5.2 Vantagens e Desafios

O Wood Frame é um método construtivo consolidado em diversos países do mundo, como Estados Unidos, Canadá, Alemanha e Japão. Nestes países, o método tem total aceitação por parte do público.

Este sistema construtivo possui vantagens que merecem destaque, como redução de 80% das emissões de CO₂ na fase de construção e diminuição de 85% dos resíduos da construção em canteiro. Por se tratar de uma construção em sua maioria industrializada, o tempo de construção é 25% menor que na alvenaria comum (PRIMI; MARTINS, 2013).

Calil Junior e Molina (2010) afirmam que o Wood Frame, por ser considerado um sistema leve, trata-se do método ideal para construção de até cinco pavimentos. Como é utilizada madeira reflorestada tratada, contribui-se para a manutenção do meio ambiente e também permite ainda a utilização em conjunto de vários outros materiais, acarretando em maior rapidez de montagem e

orçamento controlado na fase de projeto, onde não há aparecimento de gastos extras decorrentes da fase de finalização da obra e também pelo fato de ser um sistema industrializado.

Outras vantagens do Wood Frame são a sua durabilidade, pois mesmo em regiões onde ocorrem grandes rajadas de ventos ou variações sísmicas, há a possibilidade de adaptar e reforçar a estrutura pra resistir a esses esforços. E mesmo tendo o seu sistema construtivo em grande parte feito de madeira, ele consegue atender os requisitos de segurança contra incêndio e isolamento acústico, além de poder ser utilizado em diversos tipos de clima devido a sua capacidade de adaptação (CARDOSO, 2015).

Este método, conforme afirma Beier et al (2018) apresenta a vantagem de que quando bem projetado e posteriormente bem executada a construção, a estrutura pode ser renovada com facilidade além de ser durável, leve, fácil de ser esfriada e aquecida, adaptável para qualquer tipo de clima, além de atender a todos os requisitos de normalização com relação aos ruídos e segurança contra o fogo.

Entretanto, apesar dos benefícios, esse tipo de sistema necessita de elevados níveis de detalhamento em projetos, o que significa que são necessários profissionais bem qualificados (CASTRO, 2008).

Outros autores como Pizzo e Vasques (2014) citam também os desafios, como mercado resistivo a aceitar mudanças, necessidade de mão de obra especializada, limitação à cinco pavimentos e dificuldade em se obter ferramentas de uso específico. Portanto, é possível afirmar que o grande desafio do sistema Wood Frame é a adoção do mesmo no mercado.

5.3 Composição e Características do Sistema Wood Frame

A madeira, como material de construção, além de ser o mais antigo já utilizado, apresenta diversas vantagens, como bom isolamento térmico, versatilidade para diversos usos (estruturas, coberturas, fechamento, pontes, esquadrias, e outros), boa relação resistência / peso, é um material sustentável, etc. A tabela 5.1 demonstra algumas propriedades da madeira, concreto e aço (CARDOSO, 2015).

Tabela 5.1 – Propriedades da madeira, concreto e aço

Propriedade	Madeira	Concreto	Aço
-------------	---------	----------	-----

Densidade	Leves: mín. 600 kg/m ³ Duras: mín. 750 kg/m ³	2.000 a 2.800 kg/m ³	média 7.800 kg/m ³
Condutividade térmica (W/m.k)	máx. 0,29	1,40 ≤ 1,75	50
Resistência tração (MPa)	30 - 110	baixa	300 - 1200
Resistência compressão (MPa)	20-60	40	300 - 1200
Usos	Estruturas, coberturas, vedação	Estruturas, coberturas, vedação	Estruturas, coberturas
Custo médio (R\$)	800,00	210,00 – 270,00 / m ³	2.500,00 – 3.000,00

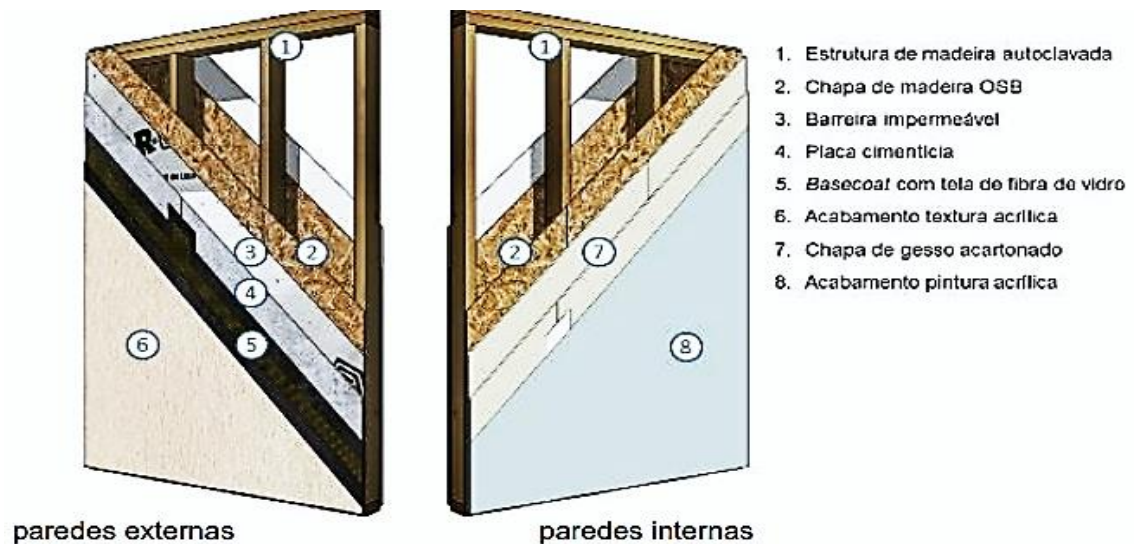
FONTE: Elaborado pelo autor, 2021.

No Wood Frame é possível utilizar diversas metodologias construtivas, que variam de acordo com fatores como tempo de execução, ferramentas e maquinário disponíveis, tamanho da obra, disponibilidade de mão de obra, etc. O sistema pode ser construído somente no canteiro ou na fábrica ou uma parte na fábrica e uma parte no canteiro. A montagem do Wood Frame também pode ser manual, parcialmente industrializada ou totalmente industrializada (CARDOSO, 2015).

A descrição da composição pode ser encontrada no DATec nº 20, que cita que as paredes externas e internas com função estrutural, são formadas por quadros estruturais em peças de madeira serradas autoclavadas (SINAT, 2020).

O fechamento da face externa das paredes de fachada é realizado em chapas de OSB com função de contraventamento, revestidas de placas cimentícias com tratamento de juntas aparentes. O fechamento da face interna das paredes de fachada e de ambas as faces das paredes internas é realizado em chapas de gesso acartonado para *drywall*. As paredes de geminação possuem núcleo em manta de lã de vidro. A cobertura é constituída de estrutura metálica, telhado em telhas cerâmicas, forro em régua de PVC e manta de lã de rocha posicionada sobre o forro. As especificações dadas neste documento podem ser vistas com maior detalhe na Figura 5.2. (SINAT, 2020).

Figura 5.2 - Especificações do Wood Frame pela TECVERDE.



Fonte: SINAT, 2020.

O SINAT (2020) especifica as espessuras de cada componente da parede do Wood Frame da empresa TecVerde. Nas paredes externas, os quadros estruturais são de madeira serrada com seção transversal de 38 mm X 140 mm, as chapas de OSB possuem espessura de 9,5 mm, colocadas nas duas faces. O acabamento externo é feito com uma placa cimentícia de 8 mm de espessura, argamassa cimentícia do tipo “base coat” com espessura de 5 mm e textura acrílica com 3 mm de espessura. No acabamento interno utiliza-se duas camadas de chapas de gesso, com 12,5 mm de espessura. A parede externa tem uma espessura total aproximada de 20 cm.

Já as paredes internas são compostas pelos mesmos quadros estruturais das paredes externas com seção transversal de 38 mm X 89 mm e chapas de OSB de 9,5 mm nas duas faces. O acabamento interno para áreas secas é de duas placas de drywall de 12,5 mm de espessura. Em áreas molhadas, são acabadas com a placa de gesso do tipo RU (resistente à umidade) revestida com placas cerâmicas assentadas com argamassa colante. As paredes internas possuem espessura aproximada de 15,8 cm (SINAT, 2020).

5.4 Propriedades físicas da madeira

Como o principal componente do Sistema Wood Frame é a madeira. No tópico são citadas algumas características importantes que contribuem com o desempenho estrutural do wood frame.

Sotsek e Santos (2018) afirmam que o Sistema Wood Frame pode ser produzido a partir da madeira de reflorestamento, das espécies pinus e eucalipto, que tratam-se de coníferas de crescimento acelerado. Além disso, o Brasil possui potencial e grande área de reflorestamento, tornando a produção deste tipo de madeira, viável.

De acordo com Bauer (1994) as principais características físicas da madeira, examinadas para sua caracterização, são: o teor de umidade, a retratibilidade, a densidade, a condutibilidade térmica e elétrica, o isolamento acústico e a resistência ao fogo. Elas caracterizam o comportamento do material e as alterações em seu estado físico conforme variações no ambiente.

Conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 48), que encontra-se em processo de revisão atualmente, “o teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa de água nela contida e a massa de madeira seca”. A norma divide quatro classes de umidade, com porcentagens da umidade do ambiente variando entre 12%, na classe I até acima de 85%, na classe IV e da umidade de equilíbrio da madeira variando entre 12% na classe I e 25% na classe IV. A condição padrão de referência para projetos de estruturas de madeira considera sempre a umidade padrão de equilíbrio da classe I, ou seja, 12%.

Segundo Bauer (1994) a retratibilidade é a propriedade das fibras da madeira de sofrer alterações de volume e dimensões, quando há alteração no seu teor de umidade, entre o ponto de saturação do ar e o ponto de seca em estufa. É uma consequência da perda de água pelas células do tecido lenhoso. Portanto, para o uso da madeira é importante observar cuidados, como utilização da peça com teores de umidade compatíveis com o ambiente, desdobro adequado e se necessário, impregnação da peça com óleos ou resinas impermeabilizantes.

Em relação à condutibilidade elétrica, Bauer (1994) afirmou que a madeira bem seca é um excelente isolante, porém, úmida, torna-se um bom condutor. Para otimizar as características isolantes da madeira, pode-se utilizar a impregnação sob pressão de resinas, baquelita, entre outras. Já em relação à condutibilidade térmica, a madeira é um mau condutor, sendo utilizada justamente por este fator, tornando-se um isolante térmico. O coeficiente de condutibilidade das madeiras em geral é de 0,1.

A madeira também é considerada um material com mau isolamento acústico, quando utilizada sozinha, sendo necessário preencher o meio da parede com algum material mais isolante, como concreto, areia ou isopor. Entretanto, a madeira é um material com boa absorção acústica, o

que promove uma boa distribuição sonora. Este efeito pode ser influenciado pelo tipo de acabamento utilizado nos painéis de madeira (BAUER, 1994).

Bauer (1994) ressalta ainda a propriedade de resistência ao fogo da madeira. Esta é um material naturalmente inflamável, podendo, em seu estado natural, segurando o fogo em temperaturas até 275°C. Porém, o incêndio na madeira ocorre inicialmente de forma superficial, formando uma camada de “carvão”, que perde as propriedades físicas originais, mas não possui mais gases para favorecer o incêndio. O fogo se interrompe quando a espessura de madeira carbonizada atinge uma faixa de 10 milímetros. Estima-se que, em um incêndio normal, a velocidade de combustão da madeira seja de 10 mm a cada 15 minutos. Mesmo com a continuidade do incêndio, peças estruturais de madeira não se rompem rapidamente, podendo conservar suas propriedades em uma faixa de temperatura de 1000 °C a 11000 °C, enquanto uma viga metálica pode colapsar em temperaturas na faixa de 300 °C.

A densidade da madeira é a concentração de tecido lenhoso pelo volume. A mesma característica influencia nas características mecânicas, pois quanto maior a massa específica, maior será a resistência da madeira aos esforços solicitantes que atuam sobre ela.

5.5 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas da madeira consistem nas características de resistência da madeira aos esforços mecânicos aos quais pode estar submetida. Dentre elas, cita-se a compressão, tração, cisalhamento, embutimento, fendilhamento, flexão e torção.

Bauer (1994) afirmou que as propriedades podem ser também classificadas em propriedades principais, que são exercidas no sentido paralelo às fibras da madeira (compressão, tração, flexão) e propriedades secundárias, exercidas no sentido normal das fibras (compressão e tração normais, torção, cisalhamento e fendilhamento).

A resistência à compressão axial é determinada por meio de ensaios com corpos de prova, retirados de toda a extensão da tora de madeira. Eles devem ser isentos de defeitos e possuírem a maior dimensão na direção das fibras. Os corpos são submetidos à carregamento de compressão por prensa até o rompimento, determinando-se a tensão de resistência à compressão. É importante salientar que as madeiras em geral apresentam maior resistência máxima à compressão quando estão no ponto de secas em estufa, que a resistência é diretamente proporcional à umidade no ponto

de seco ao ar e que possuem resistência mínima, quase constante, quando verdes, com ponto de saturação ao ar das fibras (BAUER, 1994).

Bauer (1994) cita que em relação ao Módulo de Elasticidade, a madeira comporta-se como um material elástico para tensões até $\frac{3}{4}$ da sua tensão de resistência à compressão. O Módulo de Elasticidade é calculado dividindo-se a tensão no limite de proporcionalidade pela deformação unitária.

Em peças longas, a resistência à compressão axial é chamada de resistência à flambagem. Para a determinação, utiliza-se corpos de prova com diferentes alturas e índices de esbeltez crescentes. Para cada índice de esbeltez será determinada uma tensão crítica de flambagem. Em peças longas em estabilidade elástica, a flambagem ocorre dentro do limite de elasticidade do material. Em peças médias, ocorre comportamento elastoplástico do material e em peças curtas, a tensão limite é a mesma da tensão de resistência da peça (BAUER, 1994).

Em relação à resistência à tração da madeira, raramente as peças se rompem por tração pura, se rompendo quando solicitadas em tração axial, combinada com ação de esforços secundários ou parasitas. Também podem ocorrer esforços resultantes das ligações, pois elas interrompem as fibras, reduzem a seção resistente e geram esforços de compressão normal, cisalhamento ou fendilhamento. (BAUER, 1994).

Bauer (1994) cita ainda que em relação à flexão estática, ocorrem esforços tanto de tração quanto de compressão na madeira e o material apresenta resistências diferentes aos esforços.

O diferente comportamento do material aos dois tipos de solicitação determina, para tensões que ultrapassam o limite de resistência à compressão no bordo comprimido, um início prematuro de rupturas ali localizadas. O resultado é uma redução da seção resistente e uma migração da linha neutra em direção ao bordo tracionado. As peças terminam rompendo-se por ruptura e estilhaçamento das fibras do bordo tracionado, quando a tensão limite de resistência à tração é ultrapassada. Esse comportamento é acentuado nas peças de grande altura de seção que conduzem a cargas mais elevadas de ruptura (BAUER, 1994, p. 477).

Já em relação à flexão dinâmica, ou seja, à resiliência ou capacidade de absorção de impactos ou choques pela madeira pode-se classificar as madeiras como frágeis, utilizadas em móveis, medianamente resilientes, para peças submetidas à choques e vibrações e resilientes, que suportam grandes solicitações dinâmicas.

O fendilhamento é um esforço típico que ocorre em materiais fibrosos como a madeira. É um deslocamento ao longo das fibras decorrente do esforço de tração normal, ocorrendo de forma excêntrica em relação à seção analisada. O fendilhamento é uma informação relevante quando se analisa o tipo de ligação entre as peças de madeira. Uma solução para atenuar os efeitos do esforço trata-se de utilizar furação prévia, despontamento de pregos em ligações pregadas, colagem ou associação de peças a contrafio e emprego correto de conectores, cavilhas e blindagens (BAUER, 1994).

Ainda, de acordo com Bauer (1994) a resistência ao cisalhamento trata-se da capacidade da peça resistir aos esforços que causam deslizamentos de um plano sobre o outro, que podem ocorrer em peças de madeira de forma paralela, oblíqua ou normal às fibras. Quando o cisalhamento ocorre de forma paralela, a resistência é mínima.

Em geral são encontrados maiores valores de resistência da madeira quando o esforço mecânico ocorre na direção paralela às fibras, e são encontrados menores valores quando ocorre esforço mecânico na direção perpendicular às fibras. (BAUER, 1994).

Outros fatores interferem diretamente na resistência mecânica da madeira, e não apenas o teor de umidade e a densidade, como a presença de medula, grã inclinada e nós, que influenciam de forma negativa no material (CALIL JUNIOR; LAHR; BRAZOLIN, 2010).

5.6 Tratamentos e durabilidade do sistema

Quanto à durabilidade desse sistema, Felipe (2013) afirma que ele está diretamente ligada à sua exposição às intempéries, como variações de temperatura, de umidade, ação de insolação e de ventos, fatores esses que contribuem para a degradação prematura dos materiais que compõem o Wood Frame, resultando dessa forma no decaimento da vida útil de projeto.

Apesar da sua durabilidade depender da sua exposição a intempéries, Villanueva (2015) afirma que todo artefato produzido pela ação humana possui depreciação, ou seja, tem desgaste ao uso ou pela influência dos condicionantes climáticos, das reações químicas, dos agentes biológicos, da intervenção dos usuários., enfim, há desgaste independente do mesmo estar sendo utilizado com frequência ou não.

A Vida Útil de Projeto – VUP de um imóvel pode ser conceituada como o tempo entre o início da operação e uso até o momento em que seu desempenho não atende mais às necessidades

do usuário. A durabilidade de uma edificação se acaba quando ela não cumpre mais as funções que foram atribuídas, por degradação ou obsolescência funcional (PIZZONI; VALLE, 2017).

Porém, o tempo de VUP depende muitas vezes de fatores externos aos controlados por técnicos, como a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local, trânsito de veículos, mudanças no entorno ao longo do tempo, rebaixamento do nível do lençol freático, entre outros. Pizzoni e Valle (2017) demonstram na Tabela 5. 2 a durabilidade de vários tipos de sistemas baseado em opiniões de projetistas, construtores e incorporadores, podendo ser confirmado por meio de atendimento às normas brasileiras, regionais ou internacionais.

Tabela 5.2 - Vida útil de projeto (VUP) dos diversos métodos construtivos

Sistema	Vida útil mínima (anos)
Estruturas	≥ 50 (ABNT NBR 8681:2003)
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Sistema hidrossanitário	≥ 20

Fonte: Pizzoni; Valle, 2017

Cardoso (2015) afirma que a durabilidade do Wood Frame está diretamente relacionada com sua aplicabilidade. Apesar do autor afirmar também que há uma boa durabilidade em regiões sujeitas a ventos extremos e abalos sísmicos, uma vez que o Wood Frame possibilita reforço e se adapta as cargas geradas nestas situações.

A maior preocupação com relação a durabilidade do Wood Frame é a sua proteção contra ataques biológicos, visto que a madeira é sujeita à ataque de xilófagos. Os autores afirmam que: “a utilização de tratamento preservativo protege a madeira contra fungos e insetos e garante a longevidade da madeira por mais de 30 anos contra apenas 5 anos quando não se utiliza o tratamento preservativo (GEHRING JUNIOR; MOLINA, 2014, p.04.)”.

Com relação ao tratamento da madeira, Neves (2013) diz que deve ser primeiramente analisada a espécie da madeira e a sua durabilidade natural. Se o tratamento preservador tiver como objetivo a sua resistência mecânica, o autor cita que o mais indicado é analisar as normas ABNT

para a classificação de madeiras para estruturas ou pela indicação de uma classe de resistência, pois dessa forma não haverá erros quanto à durabilidade da madeira utilizada.

Após definida a espécie ideal, poderá ser feito algum tipo de tratamento para a sua preservação ser prolongada. Os produtos utilizados para a preservação devem apresentar as seguintes propriedades: elevada toxicidade aos organismos xilófagos; baixa toxicidade ao homem e ao meio ambiente; elevado poder de penetração e permanência no interior da madeira; não alteração das características da madeira ou de outros elementos que com ela contactem; inodoro; de baixo custo e fácil aquisição (CLAUSEN; YANG, 2007).

Apesar de todos esses fatores serem importantes para a preservação nem todos são necessários para algumas espécies. Desse modo, como já mencionado, deve-se analisar primeiramente a função da situação de serviço do elemento a tratar, do tipo de madeira e natureza do tratamento, existindo produtos mais adequados que outros a determinado campo de aplicação (NEVES, 2013)

Molina e Calil (2010) citam que o tratamento preventivo mais recomendável para a madeira utilizada no Wood Frame é o tratamento em autoclave com produtos hidrossolúveis, para tornar a madeira imune ao ataque de fungos e cupins. Basicamente, não há norma brasileira que especifique um tratamento preservante para o Wood Frame. Entretanto, os profissionais brasileiros utilizam como base as normas americanas e canadenses. Dentre os produtos mais recomendados para o tratamento do Wood Frame no Brasil estão o CCA (Cobre – Cromo – Arsênio) e o CCB (Cobre – Cromo – Boro).

Importante salientar que, sempre que se verifique o ataque biológico, as intervenções devem incluir medidas para evitar a progressão da degradação, sob pena de repetição das anomalias a curto prazo. Para o efeito, existem processos biológicos ou bioquímicos, como a introdução na madeira infestada de espécies inimigas, parasitas ou microrganismos, bem como o uso de feromonas. Existem também produtos químicos eficazes como é o caso dos fumigantes, os produtos absorvedores de oxigênio, a modificação química e os preservadores líquidos, em pó ou em pasta (CRUZ, 2011).

Da Silva (2017) afirma que com o sistema Wood Frame é possível construir edificações com peso estrutural leve, com peso aproximado de 600 kg/m³ de madeira utilizada, mas que são tão resistentes quanto estruturas construídas com concreto. As mesmas ainda permitem qualquer tipo de acabamento interior e exterior.

5.7 Comparação de geração de resíduos

Portanto, mesmo conhecendo os benefícios ambientais e sociais do sistema wood frame, são necessárias mudanças nos setores para alavancar os avanços tecnológicos necessários para a redução dos impactos gerados ao meio ambiente.

Os gastos e o uso de materiais utilizados na construção são previstos, portanto é possível reduzir a geração de resíduos em até 85% e a de utilização dos recursos hídricos em até 90%, além de acelerar o sistema construtivo em até 3x, logo que por ser um sistema industrializado não sofre com as condições climáticas para a sua produção (CALIL JR; MOLINA, 2010).

Segundo o estudo realizado por Santos et al (2015) a construção de uma residência popular de padrão baixo, com 43 m² de alvenaria gera aproximadamente 6,5 m³ de resíduos por metro quadrado construído, enquanto o Wood Frame gera 0,65 m³ por metro quadrado de construção, o que comprova a redução de até 90% na geração de resíduos quando se utiliza o Sistema Wood Frame.

5.8 Normas NBR 15575 e NBR 16936

A normatização do sistema wood frame é determinada no Brasil, por normas internacionais e normas nacionais, ditadas pela ABNT e pelo SINAT, além de ser necessário o atendimento às especificações da Caixa Econômica Federal, em casos de financiamentos ou de órgãos especializados para situações específicas.

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica é uma iniciativa de mobilização da comunidade técnica nacional para dar suporte à operacionalização de um conjunto de procedimentos reconhecido por toda a cadeia produtiva da construção civil, com o objetivo de avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção. A meta que mobiliza a comunidade técnica é o estímulo à inovação tecnológica, aumentando o leque de alternativas tecnológicas disponíveis para a produção habitacional, sem aumentar, todavia, o risco de insucesso no processo de inovação. Em resumo, busca-se aumentar a competitividade do setor produtivo. O escopo do SINAT pode ser sintetizado na harmonização de procedimentos para a avaliação de novos produtos para a construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto. A harmonização de procedimentos é necessária para assegurar que todos os aspectos relevantes ao comportamento em uso de um produto de construção sejam considerados no processo de avaliação. Também é necessária a harmonização de procedimentos para que haja uma convergência de resultados da avaliação de um mesmo produto, quando submetido a processos de avaliação por instituições avaliadoras distintas, ou por uma única instituição avaliadora em tempos diferentes.

O SINAT é proposto para suprir, provisoriamente, lacunas da normalização técnica prescritiva, ou seja, para avaliar produtos não abrangidos por normas técnicas prescritivas.

A operacionalização do SINAT representa, efetivamente, a criação de uma infraestrutura fundamental para o desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil. (SINAT, 2020, p. 01).

Após a regulamentação do Wood Frame em 2011 foi visto também a criação de normas a serem seguidas para a sua fabricação, como a norma NBR 15575 (ABNT, 2021). Esta norma, de acordo com Rocha, Pereira e Yokoyama (2016) surgiu com o comprometimento à segurança, estética, durabilidade e utilização das edificações.

A estanqueidade é citada na norma como:

“[...] a exposição à água da chuva, à umidade proveniente do solo e aquela proveniente do uso da edificação habitacional devem ser consideradas em projeto, pois a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído” (NBR 15575, ABNT,2021, item 10).

A NBR 15575 (ABNT, 2021), propõe dois critérios quanto a estanqueidade: estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação e a estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação. A primeira está relacionada a edificação e deve trazer estanqueidade de umidade externas as fontes do sistema, seguindo o que já foi dito com relação a estanqueidade à água de chuva e à umidade do solo e do lençol freático.

A segunda também está relacionada a edificação, da qual a mesma deve assegurar que a água utilizada nas operações de operação e manutenção do imóvel não possua vazamentos em condições normais de uso, seguindo os critérios de estanqueidade à água utilizada na operação, uso e manutenção do imóvel (NBR 15575, ABNT, 2021).

Com relação ao desempenho térmico do Wood Frame a norma afirma que a habitação deve possuir desempenho térmico, considerando as condições bioclimáticas do local a ser construída a residência (NBR 15575, ABNT,2021). Sobre o desempenho térmico a norma explora dois procedimentos possíveis: o procedimento informativo e o procedimento normativo. Quanto ao primeiro a norma diz que é:

[...] para casos em que a avaliação 29 de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios estabelecidos nas ABNT

NBR 15575-4 e NBR 15575-3 resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme 11.2 (NBR 15575, ABNT, 2021, item 11).

O modelo Wood Frame já foi modificado e aprovado para a realidade brasileira. Na seção de desempenho térmico há ainda um requisito referente ao verão e ao inverno, informando que a edificação precisa apresentar condições térmicas no interior da residência iguais ou até mesmo melhores do que às do ambiente externo em local de sombra em um dia típico de verão. Os testes de temperatura, conforme afirma as normas, devem ser feitos em dias típicos de inverno e verão (NBR 15575, ABNT, 2021).

Com relação ao desempenho acústico a norma afirma que:

“a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes” (NBR 15575, ABNT, 2021, item 11).

Ao afirmar isso ela se subdivide em três requisitos:

- a) Isolação acústica de vedação externa;
- b) Isolação acústica entre ambientes;
- c) Ruídos de Impacto.

A primeira, sobre isolamento acústico de vedação informa que a edificação deve, da mesma forma que o desempenho térmico, ter condições mínimas de vedação interna melhores do as externas das normas (NBR 15575, ABNT, 2021).

Sobre a isolamento acústico entre ambientes a norma afirma que as edificações devem promover condições de isolamento acústico entre as áreas comuns, entre as unidades habitacionais seguindo os critérios de isolamento ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas das normas (NBR 15575, ABNT, 2021).

Com relação ao desempenho lumínico a norma afirma que:

“[...] durante o dia, as dependências da edificação habitacional listadas na tabela 1 devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes. Para o período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para a ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança” (NBR 15575, ABNT, 2021, item 13).

Sendo subdividida em iluminação natural e iluminação. No subitem de iluminação natural a norma prevê que durante o dia algumas dependências habitacionais precisam receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente (NBR 15575, ABNT, 2021).

No subitem iluminação artificial a norma considera que toda edificação precisa ter condições de iluminação artificial interna, de forma que seja garantida o conforto e a segurança dos recintos quando houver a circulação de pessoas no ambiente (NBR 15575 - 4, ABNT, 2021).

Com relação a saúde, higiene e qualidade do ar a norma determina que os e “[...] os requisitos à saúde devem atender à legislação vigente” (NBR 15575, ABNT, 2021, item 13), sendo subdividido em dois subitens requisitantes:

- a) Proliferação de micro-organismos;
- b) Poluentes no ambiente de garagem.

No subitem sobre proliferação de micro-organismos a norma afirma que a edificação deve ter boas condições de salubridade dentro da edificação, levando em consideração com isso, boas condições de umidade e de temperatura no interior das unidades habitacionais (NBR 15575, ABNT, 2021).

Com relação ao subitem sobre poluentes no ambiente de garagem a norma prevê que quando houver escapamento de gases de veículos e de equipamentos, os mesmos não devem invadir áreas internas da habitação. Sobre o mesmo subitem a norma também afirma que garagens internas precisam ter um sistema de exaustão ou ventilação para a liberação de gases poluentes gerados por veículos e equipamentos (NBR 15575, ABNT, 2021).

Com relação a funcionabilidade e acessibilidade a NBR 15575 (ABNT, 2021) possui quatro requisitos:

- a) Altura mínima de pé-direito;
- b) Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação;
- c) Adequação para pessoas com deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida;

d) Possibilidade de ampliação da unidade habitacional.

O primeiro subitem com relação a funcionalidade e acessibilidade dos locais de acordo com a norma afirma que a edificação deve apresentar uma altura mínima de pé-direito dos ambientes internos de habitação compatíveis com as necessidades humanas (NBR 15575, ABNT, 2021). O segundo subitem sobre a disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação afirma que a edificação precisa ter espaços mínimos dos ambientes da habitação conforme as necessidades humanas.

O subitem sobre adequação dos espaços para pessoas com deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida pede que:

“A edificação deve prever o número mínimo de unidades para pessoas com deficiência física ou com mobilidade reduzida estabelecido na legislação vigente, e estas unidades devem atender aos requisitos da ABNT NBR 9050/2004. As áreas comuns devem prever acesso a pessoas com deficiência física ou com mobilidade reduzida a idoso” (NBR 15575, ABNT, 2021).

O penúltimo subitem sobre a possibilidade de ampliação da unidade habitacional afirma que:

“Para as unidades habitacionais térreas e assobradas, de caráter evolutivo, já comercializadas, com previsão de ampliação, a incorporadora ou construtora deve fornecer ao usuário projeto arquitetônico e complementar juntamente com o manual de uso, operação e manutenção com instrução para ampliação da edificação, recomendando-se utilizar recursos regionais e os mesmos materiais e técnicas construtivas do imóvel original” (NBR 15575, ABNT, 2021).

Sobre o conforto tátil e antropodinâmico, trata dos requisitos para os sistemas de pisos e dos requisitos para sistemas hidrossanitários é visto na norma que edifícios destinados para habitação de pessoas com deficiências físicas e pessoas com mobilidades reduzida devem ter dispositivos internos e externos de manobra, apoio, alças, entre outros equipamentos, conforme as prescrições da norma ABNT NBR 9050 (NBR 15575, ABNT, 2021). Ampliando suas especificações para mais dois subitens, sendo esses:

- a) Conforto tátil e adaptação ergonômica;
- b) Adequação antropodinâmica dos dispositivos de manobra.

O primeiro trata de empecilhos que causem desconfortos ao se tentar caminhar, apoiar, limpar, brincar e ações semelhantes. Além de especificar que a habitações não tenham:

“[...] rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades nos elementos, componentes, equipamentos e quaisquer acessórios ou partes da edificação. E ainda estabelece o critério de “adequação ergonômica de dispositivos e manobras” (NBR 15575, ABNT, 2021).

O subitem sobre adequação antropodinâmica dos dispositivos de manobra informa que os dispositivos de manobra devem ser compatíveis com a anatomia humana, assim como também não devem requerer esforços físicos excessivos para movimentação e manobra de pessoas com deficiências físicas ou com mobilidade reduzida. O mesmo, seguindo o que afirma no mesmo tópico sobre a força necessária para acionamento de dispositivos de manobra (NBR 15575, ABNT, 2021).

Em janeiro de 2021 foi a consulta pública um documento normativo, que está para ser aprovado que é a NBR 16936 (ABNT 2021). A mesma traz as diretrizes para o sistema construtivo Wood Frame, como também um método de avaliação, condições de desempenho, condições de aceitação e a manutenção pelos usuários da edificação, para garantir a performance esperada pela edificação. Este documento normativo é voltado apenas para edificações térreas ou assobradas, isoladas ou germinadas de até dois pavimentos.

Quanto ao projeto executivo, a NBR 16936 (ABNT 2021), afirma que:

“Devem ser elaborado considerando os limites da madeira serrada, podendo fazer o uso de outros materiais que possam superar as limitações da madeira serrada, como as madeiras laminadas e vigas de aço. Para definição da espessura das paredes e das alturas dos entrespisos, é importante ter um pré-dimensionamento e a definição dos materiais serem aplicados nas camadas e suas espessuras. As paredes devem ser definidas em “paredes longas” e “paredes curtas” através do padrão de canto da parede escolhido. Os cortes devem ter as indicações, cotas de todas as alturas relevantes como paredes, entrespisos portas, janelas, coberturas e entrespisos da caixa d’água ou área técnica. Todos os pontos críticos devem ser detalhados em escala adequada para interpretação sem deixar dúvidas e de acordo com esta norma” (NBR 16936, ABNT, 2021).

O item 6.2 da NBR 16936 (ABNT 2021), sobre projeto estrutural, descreve que para o cálculo dos esforços dos elementos estruturais, e recomendado utilizar os critérios de avaliação da

norma ou utilizar meios computacionais, sendo este tendo que atender os requisitos de segurança e confiabilidade da verificação estrutural.

“A partir dos esforços encontrados, a verificação dos elementos estruturais deve ser realizada de acordo com a ABNT NBR 7190. Para essa verificação, deve-se considerar para as resistências de cálculo e módulos de elasticidade o coeficiente de modificação referente á qualidade da madeira...” (NBR 16936, ABNT, 2021).

Quanto a fundação, a NBR 16936 (ABNT 2021), afirma que as mesmas devem ser executadas considerando as dimensões da estrutura, de acordo com o que foi projetado. Para a fixação dos pontos de ancoragem da estrutura, também é necessário seguir o projeto estrutural, pois são considerados as cargas negativas geradas pela força do vento e baixo peso próprio da estrutura, demandando uma maior atenção. As cargas de tração devem ser transferidas para os montantes verticais e não apenas nas guias horizontais inferiores.

O item 6.4 da NBR 16936 (ABNT 2021), que trata da cobertura, cita que as coberturas de edificações em light wood frame pode ser em painéis de diafragma horizontais ou em estruturas treliçadas. No segundo caso, a norma afirma que:

“O dimensionamento da estrutura pode ser feito conforme a ABNT NBR 7190 para estruturas treliçadas de madeira, porém, deve-se assegurar a rigidez do conjunto da estrutura de cobertura suficiente para transferir os esforços horizontais de vento das paredes barlavento e sotavento para as paredes resistentes ao cisalhamento. Essa rigidez pode ser conseguida por meio de chapas de compensado estrutural fenólico ou OSB, ou por meio de contraventamento apropriado. Também deve-se atentar, nesses casos, para o travamento da guia superior da parede que fornece suporte ao telhado, evitando-se grandes distâncias entre pontos de fixação que permitam o deslocamento horizontal dessa guia quando receber pressão de vento” (NBR 16936, ABNT, 2021).

Quanto ao contraventamento, instalações e fechamentos nos painéis a NBR 16936 (ABNT 2021), cita que após a aplicação dos painéis para contraventamento, a segunda fase é o acabamento sempre respeitando os projetos estruturais e executivos. Para a instalação do painel de maneira definitiva, o autor do projeto, tendo conhecimento antecipado do grau de industrialização do painel e conhecendo sua massa, deve indicar os pontos de içamento do mesmo, e também a forma correta de ancoragem dos elementos de içamento, assim como especificar todas as cargas.

Os painéis horizontais entrepisos, de acordo com a NBR 16936 (ABNT 2021), são geralmente compostos por vigas da mesma seção, podendo incluir elementos nas vigas de forma há evitar a perda da estabilidade lateral e também servir de ancoragem com elementos de parede.

O item 6.7 da NBR 16936 (ABNT 2021), sobre projeto de produção, afirma que:

“Para a execução do projeto de produção, é recomendada a utilização de um software BIM específico para estrutura de madeiras que se comunique por meio do formato IFC, um formato de dados que tem a finalidade de permitir um intercâmbio de informações com os projetos complementares ” (NBR 16936, ABNT, 2021).

A NBR 16936 (ABNT 2021), afirma, quanto a impermeabilização que a impermeabilização das fachadas se dá pelo conjunto formado pela manta de impermeabilização de base da parede, pingadeira e barreira hidrófuga. A manta tem que ser um material impermeável e deve contornar a base da parede até a fundação e também deve ser aplicada ate 200mm sobre a chapa que faz o fechamento externo da estrutura, e a mesma deve ser fixada utilizando-se adesivos ou fixação mecânica até alturas maiores que 100mm.

A proteção da base do quadro estrutural deve se utilizar mantas ou membranas de modo a proteger a base do quadro estrutural e sua lateral externa na altura mínima de 200mm Quando da utilização de contrapiso de base cimentícia moldado “in loco”, o mesmo tem que ter espessura mínima de 40mm (NBR 16936, ABNT, 2021).

De acordo com a NBR 16936 (ABNT 2021), no item 7, sobre prevenção e combate ao incêndio, a mesmo afirma que:

“De acordo com a legislação vigente, para desenvolvimento do projeto de prevenção e combate contra incêndio, o profissional deve consultar as disposições contidas no código de segurança contra incêndio do local onde a obra é edificada. Nas construções em light wood frame, em geral, a madeira estrutural (montantes e barrotes de piso) não está exposta diretamente á chama, pois está protegida por revestimentos que retardam a ação do fogo na madeira.” (NBR 16936, ABNT, 2021).

5.9 Projetos

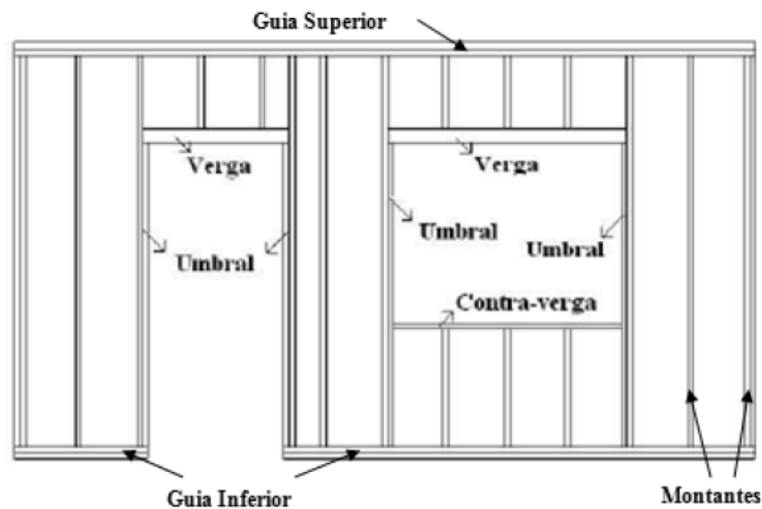
Segundo Calil e Molina (2010) a concepção dos projetos em Wood Frame, principalmente em ambientes industriais, reduz o desperdício e aumenta a produtividade. O sistema industrializado permite não somente a realização de edificações padronizadas, mas também a concepção de projetos personalizados desde casas populares até residências de alto padrão, tendo como limitante somente a altura máxima de até cinco pavimentos. Os projetos devem ser realizados nos mesmos padrões de projetos de estruturas de concreto, contando com todos os projetos complementares e

detalhamentos necessários, como projeto arquitetônico, estrutural, hidráulico, sanitário, instalações elétricas, detalhamento de ligações entre peças, acabamentos, paginação de painéis, etc.

Calil e Molina (2010) citam ainda que o dimensionamento dos painéis de Wood Frame pode ser realizado baseado nas normas americanas ou europeias, considerando-se as diversidades sísmicas e climáticas de cada região. Basicamente, o dimensionamento considera o comportamento das paredes e pisos como placas ou chapas, que recebem carregamentos de forma perpendicular e em seu plano. As peças estruturais individuais podem ser dimensionadas segundo os padrões da NBR 7190, da ABNT.

As paredes são compostas por placas estruturais que segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021) são “formados por peças de madeira maciça serrada, denominadas montantes, travessas, bloqueadores, umbrais, vigas, caibros, ripas e sarrafos, com alta resistência natural ao ataque de organismos xilófagos ou tratadas quimicamente sob pressão”. Já o contraventamento geralmente é composto por peças de madeira como travessas e montantes e posteriormente é fechado por compensados, chapas de madeira ou OSB. Para a fixação dos mesmos, pode ocorrer utilizando vários materiais como: prego, chumbadores, grampos, pinos e encaixe. A seguir na Figura 5.3 segue o quadro estrutural da parede.

Figura 5.3 - Nomenclatura e localização das peças componentes das paredes



Fonte: Martins (2014).

5.10 Fabricação

Segundo Velloso (2010), existem vários tipos de industrialização para a fabricação dos painéis, existindo o *Panelized Homes* ou casas panelizadas, em que para reduzir o tempo de realização da obra são produzidas coberturas pré-fabricadas e painéis de parede. Esse sistema traz garantias das dimensões corretas devido ao processo ser realizado em fábricas especializadas e acaba auxiliando no momento de execução, pois evita ajustes nas peças.

Os pre-cut homes ou Kits pré-cortados são compostos literalmente por conjuntos com os elementos de madeira pré-cortadas de acordo com as dimensões descritas no projeto e todas as etapas seguintes são realizadas no canteiro. Modular homes ou casa modulares são parecidas com as casas panelizadas, exceto que as peças têm maior grau de industrialização pois apresentam módulos tridimensionais da edificação e geralmente já possuem as esquadrias das instalações. Por último tem-se as *manufactured homes* ou casas industrializadas que são edificação totalmente prontas que são transportadas direto para o local da obra. Na Figura 5.4 observa-se a mesa de montagem dos painéis da parede.

Figura 5.4 - Mesa de montagem dos painéis de parede.



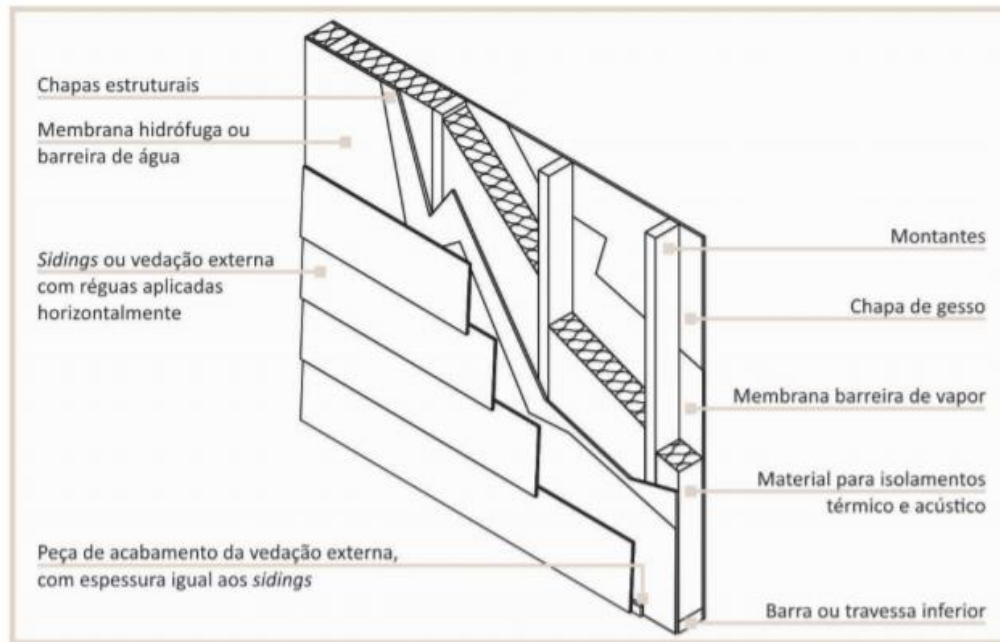
Fonte: FIEP (2013).

5.11 Execução de Obras

Na construção pelo sistema construtivo Wood Frame, são utilizados painéis estruturados com montantes, travessas e soleiras de madeira, com pequeno espaçamento e seção transversal pequena, porém o conjunto da estrutura tem resistência suficiente para receber os esforços solicitados pelas edificações. Estes painéis substituem as vigas e pilares de concreto, no lugar das

paredes de alvenaria. Para as vedações utiliza-se placas de gesso acartonado ou placas cimentícias para as áreas internas. Já para as áreas externas são usadas placas cimentícias, chapas de OSB ou compensado revestidas com estuque, como pode ser observado na figura 5.5. (PAESE, 2012)

Figura 5.5 - Principais camadas das paredes



Fonte: Adaptado de APA, 2015.

Quanto às etapas construtivas, inicialmente é feita a fundação, utilizando concreto armado. Porém, vale ressaltar que os esforços solicitantes que a estrutura de madeira recebe são bem menores que uma mesma estrutura em alvenaria. Como no sistema Wood Frame as paredes servem para transmitir esforços, as fundações mais utilizadas são em sapata corrida ou em radier, para que as paredes possam ser apoiadas (SALGADO, 2009).

Em relação à cobertura do Sistema Wood Frame, ela é realizada da mesma maneira que o sistema convencional, porém usa-se estruturas mais leves, pois geralmente é utilizado telhas bem mais leves. De acordo com Campos (2006) “As treliças são os elementos estruturais mais utilizados, cujo espaçamento deve coincidir com a modulação dos quadros estruturais com o objetivo de coincidir os montantes com o eixo das treliças”

De acordo com o mesmo autor, geralmente são utilizadas chapas dentadas para fazer as conexões das treliças devido a boa fixação da mesma e para não ficar aparente, pois as tesouras

ficam escondidas no forro. A cobertura é o elemento estrutural realizado no fim da obra ou em etapas anteriores, contribuindo com o contraventamento, pois também é responsável pelo travamento e contraventamento da estrutura.

Quanto às instalações hidrossanitárias e elétricas, podem ser considerados parâmetros semelhantes aos de construções convencionais com o diferencial das tubulações sendo embutidas nos vãos internos das paredes entre seus montantes, possibilitando maior praticidade e agilidade em eventuais manutenções.

Quanto ao revestimento de paredes no Sistema Wood Frame, pode ser aplicado qualquer tipo tanto interno como externo, porém devem ser respeitados os cuidados que o sistema construtivo exige. De acordo com Campos (2006) normalmente na parte externa são fixadas chapas cimentícias ou EPS e na parte interna placas de gesso, porém também podem ser utilizados cerâmica, tijolos e porcelanatos como no sistema convencional de alvenaria.

Uma demonstração de uma obra finalizada nesse sistema construtivo é o Residencial Haragano, que pode ser visualizado na Figura 5.6, situado na cidade de Pelotas, no Rio grande do sul. O residencial possui 500 unidades habitacionais, onde todas foram construídas a partir do Programa Minha Casa Minha Vida (LP Brasil, 2014).

Figura 5.6 - Residencial Haragano



Fonte: LP Brasil , 2014

A empresa TecVerde, empresa licenciada em Wood frame no Brasil, fez uma casa de alto padrão chamada Casa Space, localizada em Curitiba, Paraná. A edificação possui uma área de 309 m² e é mostrada na figura 5.7.

Figura 5.7 - Fachada Casa Space



Fonte: TECVERDE, 2016.

A Casa Space é toda construída em Wood Frame e foi construída entre 20 e 30 dias, com uma geração de resíduos aproximadamente 85% menor que o método tradicional. O interior da residência recebeu acabamento de gesso e pintura, como mostrado na Figura 5.8.

Figura 5.8 - Interior da Casa Space



FONTE: TecVerde, 2016.

A TECVERDE também construiu em Suzano, São Paulo, a Casa Supreme Village, também de alto padrão, e fez no total 86 unidades, sendo que todas tem uma área de 120 m², sendo uma fachada mostrada na figura 5.9.

5.9 - Casa Supreme Village



Fonte: TecVerde, 2016.

6. METODOLOGIAS DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CONSTRUÇÕES NO SISTEMA WOOD FRAME

Por ser um sistema que traz conforto, segurança, durabilidade e economia e visto que é possível prever com maior exatidão os gastos para a construção de uma residência por ser um sistema que possibilita a industrialização, o Wood Frame vem se popularizando e se tornando uma boa alternativa para a construção civil no Brasil (ESPINDOLA; INO, 2014).

Conforme afirma Milléo (2012) este sistema construtivo colabora com a redução de mão de obra o que não significa que por conta disso o custo total será menor. O sistema também diminui o desperdício com materiais, o que também colabora com a sustentabilidade, visto que toda madeira utilizada vem de reflorestamento.

De acordo com Souza (2012), afirma que o sistema Wood Frame mostrou-se mais vantajoso, quando relacionado ao custo da edificação comparado com a madeira de lei e alvenaria convencional. Desta forma, para uma edificação de 51 m², os custos levantados foram: R\$ 1168,00/m² para construção com madeira de lei, R\$ 1153,00/m² para construção em alvenaria e R\$

962,00/m² para construção em Wood Frame, comprovando que o Sistema Wood Frame é o mais vantajoso em relação aos outros.

Como o Brasil necessita de um sistema construtivo sustentável, as novas tecnologias podem fazer o país se tornar mais competitivo, logo, o Brasil com suas condições favoráveis tem tudo para ser um mercado promissor. (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010)

Os autores afirmam que essas são novas oportunidades para o setor madeireiro neste momento de crise atual, logo que traz soluções de construções eficientes que podem diminuir o custo de produção. Entretanto, conforme afirma o mesmo autor, para isso ser viável no cenário atual é necessário que os produtores de madeira se preparem previamente para as exigências técnicas desse mercado (RIBASKI; DUDEK, 2017).

Apesar da viabilidade econômica do projeto envolver ser definida pela viabilidade deste um projeto como um todo, neste trabalho não será focada a viabilidade do projeto, visto que ele abrange aspectos como: a viabilidade técnica; previsão orçamentária; e sua rentabilidade, isto é, se trará lucros. Enes (2015) define que a viabilidade econômico-financeira, operacional, técnica, legal, social são diretamente ligadas ao projeto. Também afirma que a viabilidade econômica de um projeto colabora para a tomada de decisão de investimento em um projeto, visto que através dele também é possível analisar a capacidade de geração de remuneração. Neste trabalho considerou-se analisar os aspectos econômicos em seus aspectos gerais.

De acordo com Leite (2017), os critérios econômicos para a construção de uma residência em Wood Frame podem ser analisados através de duas metodologias: modelo de negócio e estudo de mercado. Já os critérios financeiros são analisados por meio da técnica conhecida por “análise de investimentos” (ENES, 2015).

O primeiro, o modelo de negócio, precisa oferecer ao cliente um produto ou serviço de qualidade, lucrativo e competitivo com os do mercado atual. De acordo com Soares (2015), o *Business Model Canvas* é a metodologia mais atual utilizada para o planejamento de um modelo de negócio. Essa metodologia é baseada em nove reflexões que auxiliam na criação ou não de um empreendimento. São essas:

A - Proposta de valor: o que é oferecido aos clientes e é único no mercado? Que problemas são resolvidos?

B - Segmento-alvo: para quem a empresa gera valor?

C - Atividades-chave: quais as atividades essenciais para criação e entrega do produto ou serviço ofertado?

D - Parcerias-chave: quais as parcerias imprescindíveis? Quais empresas (terceiros) ajudam a compor melhor essa oferta? Fontes de receita: quais as fontes de renda do projeto? Quando e como os clientes pagam?

E - Estrutura de custos: quais os custos de maior importância na operação?

F - Recursos-chave: quais recursos físicos, intelectuais, humanos e financeiros exigem a proposta de valor?

G - Canais: quais serão os canais de distribuição, comunicação e vendas?

H - Relacionamento: como estabelecer e manter as relações?

Já o estudo de mercado tem como finalidade a possibilidade de previsão da demanda de um determinado produto, nesse caso, imobiliário, por meio da identificação de necessidades dos clientes e avaliação do posicionamento da empresa, diante de seus concorrentes (CHWARTZMANN, 2005).

O mercado imobiliário exige edifícios e residências que atendam as novas realidades, ou seja, há sempre a necessidade de desenvolvimento de novos projetos com as novidades do mercado.

A Caixa Econômica Federal (2011) também possui uma metodologia para a estimativa da demanda potencial do ambiente de mercado baseado em fatores demográficos e condições habitacionais. Ou seja, é possível sempre ver quando há uma nova demanda de mercado através da utilização dessas metodologias.

Visto a demanda por utilização de Wood Frame através de alguma dessas metodologias ou através da procura de algum cliente que já conhece essa técnica de fabricação de residências é preciso verificar a possibilidade de financiamento para esse tipo de construção.

Para construções em madeira, quando não há a possibilidade de pagamento à vista pela construção, a Caixa Econômica Federal, como principal instituição financiadora do Brasil, pode auxiliar no financiamento de uma residência, desde que esta atenda aos critérios de desempenho da NBR 15575 (ABNT, 2013) e do PBQP-H, como critérios de desempenho estrutural (estabilidade, resistência, Estado Limite Último, deformações, fissurações, ocorrência de falhas e Estado Limite de Serviço), desempenho de segurança contra incêndio, segurança em uso e operação, estanqueidade da edificação, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho

lumínico, durabilidade e manutenibilidade, funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico.

Além dessas normativas, a Caixa Econômica Federal também possui seus próprios critérios para o financiamento de uma residência em madeira. Os critérios podem ser visualizados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Orientações para financiamento de habitações em madeira da Caixa Econômica Federal.

Casas térreas e sobrados	A construir	Novo	Usado
Prazo máximo	15 anos	15 anos	15 anos
Valor limite para financiamento (com áreas molháveis em alvenaria)	100%	100%	100%
Valor limite para financiamento (sem áreas molháveis em alvenaria)	80%	80%	80%
Termo de ciência	Sim	Sim	Sim
Termo de responsabilidade do responsável técnico	Sim	Sim	Sim
Termo do fornecedor	Sim	Sim	Sim
Vistoria sem patologia CAIXA	Não	Sim	Sim
ART de cálculo estrutural	Não	Não	Não
Comprovação de desempenho (Relatório Técnico de Avaliação - RTA)	Não	Não	Não
Manual do proprietário - manutenção	Sim	Sim	Não
*Comprovação de utilização de madeira extraída de floresta com manejo controlado			

Fonte: ELTZ, SPEGGIORIN (2012).

Esses critérios podem variar de estado para estado para financiamento de construções em madeira como um todo. Ou seja, antes da procura por um financiamento para uma construção em Wood Frame é preciso analisar esses critérios para cada região.

Além dessa questão do financiamento do sistema Wood Frame no Brasil, outra ponderação importante trata-se da provável dificuldade para a construção de uma residência nesse modelo, devido à necessidade de qualificação de profissionais de engenharia civil para a realização deste projeto. A capacitação ainda tímida e onerosa, também pode implicar no custo final da construção, visto que ainda há pouca concorrência no mercado.

Enfim, apesar que o Sistema Wood Frame é mais caro do que o sistema convencional, esse método construtivo tem condição de ser executado amplamente em território brasileiro, já que

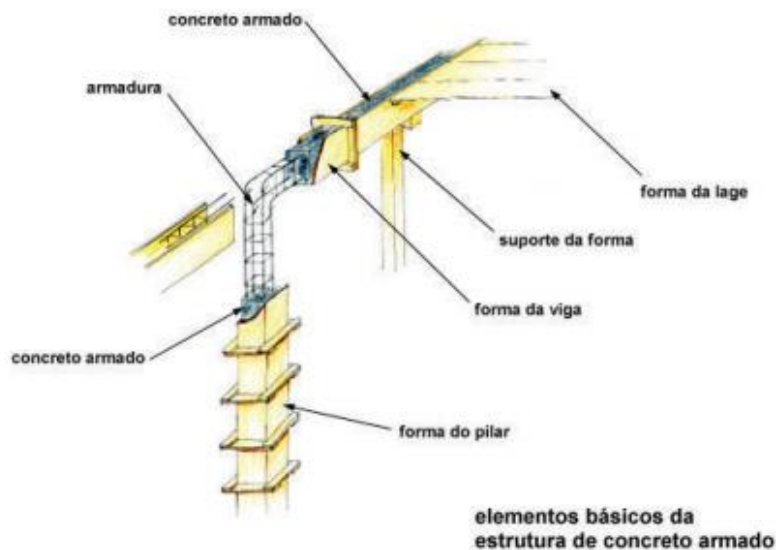
matéria prima e mão de obra disponível o Brasil tem de sobra, apenas deve ocorrer a capacitação desses profissionais.

7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A VEDAÇÃO DE ALVENARIA E PAREDES DE WOOD FRAME

O método mais utilizado para a construção de residências no Brasil hoje é a alvenaria convencional, apesar de também ser utilizado com uma menor frequência sistemas construtivos como a alvenaria estrutural, steel frame, wood frame e paredes de concreto (ESCOLAENGENHARIA, 2018).

A alvenaria convencional é aquela produzida com uma estrutura de vigas, pilares e lajes de concreto armado moldados no local (BARROS; MELHADO 1998). Este tipo de construção é muito utilizado e conhecido na região sul do Brasil (KLEIN; MARONEZI, 2013). Na Figura 7.1 observam-se os elementos básicos dessa estrutura de concreto armado.

Figura 7.1 - Estrutura de concreto armado.



Fonte: Edifique (2020).

O sistema construtivo de alvenaria convencional de vedação é composto de concreto, armaduras, fôrmas e blocos cerâmicos vazados. O concreto, que nada mais é do que uma mistura homogênea de cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo e ar, podendo também conter adições e aditivos químicos com a finalidade de modificar suas propriedades básicas (BASTOS, 2006).

Também é composto de armaduras que possuem a função de absorver as tensões de tração e cisalhamento e aumentar a capacidade resistente das peças comprimidas. De fôrmas, que tem como função básica de moldar o concreto e sustentá-lo (ARAÚJO; FREIRE, 2004). E de blocos cerâmicos que podem ser encontrados em diversos tamanhos (KLEIN; MARONEZI, 2013).

Todavia, apesar de extremamente úteis para a construção de uma residência em alvenaria, grande parte desse material utilizado é descartado. Ou seja, há uma grande perda de material. Lordsleem (2000) afirma que a alvenaria tradicional é conhecida pela ausência na padronização do processo de produção e de planejamento prévio à execução, causando, assim, inúmeros desperdícios marcados por soluções construtivas adotadas no canteiro de obra.

A durabilidade desse tipo de sistema, quando comparado com o sistema Wood Frame deixa a desejar. Desde que sejam realizadas as manutenções necessárias, conforme a NBR 15.575, na sua parte 1, a vida útil de projeto (VUP) para as vedações foi estabelecida conforme pode ser visto na Tabela 7.1.

Tabela 7. 1 - Vida útil de projeto de vedações

Sistema	VUP mínima
Vedação vertical externa	≥ 40 anos
Vedação vertical interna	≥ 20 anos

Fonte: NBR 15.575-1

Quanto ao custo do metro quadrado de alvenaria, pode-se utilizar a Tabela do Sistema Nacional de Pesquisas e Custos e Índices (SINAPI), que é indicado pelo decreto do governo federal 7983/2013, que estabelece regras e critérios para elaboração de orçamento de referência de obras e serviços de engenharia (CAIXA, 2020).

A seguir na Tabela 7.2 são mostrados os custos dos insumos necessários para a composição da alvenaria e a quantidade de insumos necessários para a produção, com o preço final. Ressalta-

se que os insumos são compostos por: blocos, cimento, areia, cal, argamassa e valores de mão de obra.

Tabela 7.2 - Insumos necessários para a composição da alvenaria.

CODIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	VALOR
7267	Bloco cerâmico de vedação 6 furos - 9x14x19	UM	0,59
1379	Cimento Portland composto CP-II - 32	KG	0,59
1106	Cal Hidratada CH-I para argamassas	KG	0,65
370	Areia média - Posto Jazida - Sem Frete	M ³	69,17

CODIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	VALOR UNITARIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
88309	Pedreiro com encargos	H	22,09	1,2	26,51
88316	Servente com encargos	H	15,71	1,2	18,85
7267	Bloco cerâmico de vedação 6 furos - 9x14x19	Uni	0,59	31	18,29
88631	Argamassa cimento/areia 1:4 preparo manual	M ³	439,59	0,014	6,15

CODIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	VALOR UNITARIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
88309	Pedreiro com encargos	H	22,09	0,7	15,46
88316	Servente com encargos	H	15,71	0,7	11,00
87369	Argamassa traço 1:2:8 (cimento,cal e areia sem peneirar) - preparo manual	M ³	478,04	0,025	11,95

CODIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	VALOR UNITARIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
88316	Servente com encargos	H	15,71	10	157,10
370	Areia média - Posto Jazida - Sem frete	M ³	69,17	1,216	84,11
87369	Cimento Portland composto CP-II- 32	KG	0,59	365	215,35

CODIGO SINAPI	DESCRIÇÃO	UNIDADE	VALOR UNITARIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
88316	Servente com encargos	H	15,71	10	157,10
370	Areia média - Posto Jazida - Sem frete	M ³	69,17	1,216	84,11
1106	Cal Hidratada CH-I para argamassas	KG	0,52	182	94,64
87369	Cimento Portland composto CP-II - 32	KG	0,59	182	107,38

FONTE: SINAPI, modificado pelo autor, 2021.

Quanto ao impacto ambiental, o sistema convencional de alvenaria gera muitos impactos devido a fabricação dos materiais que são utilizados. Segundo Santos (2012), na fabricação da cal ocorre a extração das rochas calcárias e posteriormente a desidratação das mesmas através de processos de aquecimento sobre altas temperaturas, logo o impacto ambiental é muito grande devido a extração e da liberação de vários gases na atmosfera, decorrentes do processo de desidratação.

Na produção do cimento, também ocorre extração em jazidas de calcário e também ocorre a extração de argila que afeta diretamente o meio ambiente devido a mudança do ecossistema em que ela é retirada. Na produção do clínquer é necessário processos com alta temperatura e consequentemente maior emissão de gases na atmosfera (SANTOS, 2012).

Outro material utilizado em grande escala no sistema de alvenaria é a areia, que de acordo com Santos (2012), tem grande impacto no ecossistema pois a areia é um recurso não renovável, devido a sua formação demorar um grande período de tempo.

Já no sistema de Wood Frame, Espindola (2014) cita que em relação ao custo do sistema, deve - se fazer uma estimativa considerando os seguintes materiais: gesso acartonado 12mm (119x 271,7), travessas (4x9) cm, chapas OSB parede 12mm (119,7x271) cm, montantes (4x9) cm, conforme mostra a Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Custos dos insumos para a composição de um painel em Wood Frame.

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO (RS)	UNIDADE	PREÇO TOTAL (RS)
Montante 4cm x 9 cm	10,87	M	5,50	M	59,77
Travessa 4cm x 9cm	2,40	M	5,50	M	13,17
Chapa OSB parede 12 mm 119,7cm x 240cm	1	UN	11,90	M ²	38,70
Gesso acartonado 12 mm 119cm x 240 cm	1	UN	9,50	M ²	30,90

Fonte: Espindola (2014).

Segundo Lima et al (2020) em estudo realizado, foi realizado um levantamento do Custo Unitário Básico – CUB para uma edificação do tipo casa térrea, de padrão baixo – R-1. O estudo comparou a utilização da alvenaria convencional com o Wood Frame, que utiliza madeira de Pinus ou Eucalyptus, provenientes de reflorestamento. O CUB por metro quadrado de cada sistema construtivo foi subdividido nas seguintes categorias: mão de obra direta e encargos, materiais, despesas administrativas e equipamentos. Os valores são apresentados na Tabela 7.4 a seguir.

Tabela 7.4 - CUB da alvenaria e Wood Frame

Parâmetro	Alvenaria – em R\$	Wood Frame - em R\$
Mão de obra e encargos	847,21	857,92
Materiais	554,43	610,09
Despesas administrativas	154,14	212,55
Equipamentos	2,73	38,63

FONTE: Lima et al, 2020, p. 12.

O custo dos materiais que são utilizados no sistema Wood Frame é um pouco maior que o do sistema convencional, porém, como este sistema funciona com materiais pré-fabricados e de rápida montagem, utilizam-se menores quantidades de materiais, espaço e mão de obra, e obtêm-se maior produção e qualidade (WOMACK et al, 1992).

Portanto o sistema Wood Frame pode ser mais caro, porém pela rapidez e qualidade da edificação que ele pode proporcionar, ele acaba sendo, mas vantajoso. Pode-se também citar que ele pode ser muito vantajoso para as construtoras, pois o controle da produção da edificação acaba sendo melhor, as obras são entregues mais rápido e conseqüentemente se têm uma maior rotação de obras, logo isso acaba gerando lucro para as mesmas.

No sistema Wood Frame, tem-se as placas cimentícias, que geram impacto principalmente por serem compostas de cimento, e devido a fabricação do mesmo, agridem ao meio ambiente (GOMES, 2007).

O próximo componente a ser verificado é a chapa OSB, cuja produção é industrializada, porém o impacto gerado é na extração da matéria prima. Logo, essa matéria prima normalmente vem de florestas plantadas, ou seja, madeiras reflorestadas e o impacto gerado é reduzido. Lima et al (2020) aponta que a utilização do sistema Wood Frame pode reduzir a emissão de gases em até 73% e o desperdício em até 85%, além da economia de recursos hídricos.

Outro material muito utilizado no Wood Frame é a lã de rocha, muito utilizada para fazer o isolamento interno, é seu impacto se deve a sua fabricação, inicialmente pela extração do basalto e posteriormente pelos processos de aquecimento do mesmo (BRESSA, 2010).

E por último tem-se as placas de gesso acartonado, que seu impacto ambiental gerado na produção dessas chapas vem desde a extração da gipsita até sua transformação em gesso, onde ocorre a calcinação e são misturados aditivos no mesmo para que ocorra o endurecimento. (MUNHOZ; RENOFIO, 2007).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a construção de um sistema em Wood Frame há uma série de normas regulamentadores a serem seguidas pela empresa que possua tal interesse. Entretanto, é preciso verificar a viabilidade econômica do projeto e isso vai variar conforme a região, interesse, além de alguns fatores demográficos.

O financiamento de uma residência em Wood Frame além de levar esses parâmetros em questão, também leva em questão critérios próprios que variam de estado para estado. De modo geral, indica-se a contratação ou o orçamento de um projeto em Wood Frame com um engenheiro civil que conheça a técnica de construção, apesar desse fator também estar relacionado diretamente com o preço final, visto que esses são sistemas relativamente novos no Brasil e por conta disso, ainda são poucos os profissionais que saibam montar um projeto com ele na prática.

O Sistema Wood Frame pode causar menos danos, como uma redução de 85% na geração e resíduos, pode ter uma maior durabilidade, e também pode gastar menos materiais de forma desnecessária por ser pré-fabricado conforme a necessidade de cada cliente, além de utilizar madeira de reflorestamento, ou seja, o material mais utilizado neste tipo de construção é advindo de uma produção em massa, o sistema é pensado e projetado para não ocasionar ainda mais danos ao meio ambiente.

O sistema Wood Frame possui diversos benefícios tanto para quem procura construir uma residência de forma sustentável como para a empresa que pode projetar e calcular todo o custo e trabalho do projeto de forma exata. Espera-se que com a sua popularização o custo de produção diminua, dessa forma será possível realizar construções no Brasil de forma mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ACR. **Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina**. Associação Catarinense de Empresas Florestais: Lages, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 48 p.

APA. **Advanced Framing Construction Guide**. Tacoma, WA, 2012.

APRE (Paraná). **Ampliar consumo da madeira no Brasil é desafio do setor**. Curitiba, 2017. Disponível em: <https://apreflorestas.com.br/noticias/ampliar-consumo-da-madeira-no-brasil-e-desafio-do-setor/>. Acesso em: 5 nov. 2021.

ARAÚJO, Luís O. C. de; FREIRE, Tomás M. **Tecnologia e gestão de sistemas construtivos de edifícios**. São Carlos: UFSCAR, 2004.

ARAÚJO, V. de et al Woodframe: light framing houses for developing countries. **Revista de la Construcción**, v. 15, n. 2, p. 78-87, 2016.

BAUER, L. A. Falcão (coord.). **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. p. 437-935. v. 2.

BARROS, Mercia M. S. B. de; MELHADO Silvio B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1998. Departamento de engenharia civil. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf Acesso em: 20 nov. 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Crédito e Financiamento. Financiamento para produção de Imóveis. Apoio à Produção**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/empresa/credito-financiamento/imoveis/financiamento-para-producao-imoveis/apoio-a-producao/Paginas/default.aspx> . Acesso em: 20 de novembro de 2020.

SINAPI, **Sinapi**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em abr. 2021

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. **Cobertura em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. São Paulo: PINI, 2010.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. Rocco; BRAZOLIN, S. Madeiras na construção civil. In: ISAIA, Geraldo C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de**

materiais. 2. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON), 2010. cap. 37, p. 1209-1239. v. 2.

CAMPOS, Rubens J. A. **Diretrizes de Projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Edificação e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

CARDOSO, Larriê. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. Trabalho de Conclusão de Curso, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

CASTRO, Silvana Correia Laynes de. **O Uso da Madeira em Construções Habitacionais: a Experiência do Passado e a Perspectiva de Sustentabilidade no Exemplo da Arquitetura Chilena**. 180f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

CHWARTZMANN, N. **Modelagem do Processo de Incorporação Imobiliária de Edifícios Residenciais, a preço fechado, na cidade de Porto Alegre/RS**. Porto Alegre: 2005.

CLAUSEN, C. & YANG, V., **Protecting wood from mould, decay, and termites with multicomponent biocide systems**. Em: International Biodeterioration & Biodegradation . pp. 20-24, 2007.

CRASTO, R.C.M. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados: Light Steel Framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CRUZ, H., **Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira - 1ª Jornadas de Materiais na Construção**. Porto, FEUP, 2011.

DA SILVA, Valdir Ribeiro et al. **Sistema construtivo inovador: Light wood frame a sustentabilidade ao seu alcance/Innovative construction system: Light wood frame sustainability within reach**. Brazilian Journal of Development, v. 2, n. 2, p. 99-107, 2017.

DREYER, Jackeline *et al.* Parâmetros Na Seleção De Espécies Florestais Madeireiras Com Potencial De Uso Na Construção Civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. 2017.

EDIFIQUE. **Estrutura de concreto armado**. Disponível em: <http://www.edifique.arq.br/images/estconc.gif> . 2020. Acesso em: nov. 2020.

ENES, Marcos. **O que é Viabilidade? – Parte 1**. Projetos e TI. 2015. Disponível em: <http://projetoseti.com.br/o-que-e-viabilidade-parte-1/>. Acesso em: nov 2020.

ESCOLAENGENHARIA. **Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil**. 2020. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas->

LORDSLEEM Jr., A. C. **Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada**. 1ª ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

LP BRASIL. **Governo autoriza expansão de construção de casas com Wood Frame**. Site institucional. Disponível em: www.lpbrasil.com.br/materia/governo-autoriza-expansao-deconstrucao-de-casas-com-wood-frame.html. Acesso em: jan. 2021.

MARTINS, Taienne Winni Paiz Ecker Valdemar. **Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social**. 2014. 153 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MEYER, J. F. P. **Adoção de métodos de análise de mercado imobiliário nas decisões de projeto**: estudo de caso dos incorporadores residenciais no bairro de Pinheiros no período de 1994-1999. São Paulo: FAU USP, dissertação de mestrado, 2000 in MEYER, J. F. P. *Demanda Residencial: adequação da Análise de Mercado Imobiliário – o caso de São Paulo*. São Paulo, 2008.

MILLÉO, A. **Não só de tijolo e cimento se faz a casa**. Caderno Construção. Gazeta do Povo. 2012. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/imoveis/nao-so-de-tijolo-e-cimento-se-faz-a-casa-35bfp2jyodp63kswp4yzlbiha>. Acesso em: nov 2020.

MOLINA, J. C. CALIL JR, C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

MOLINA, Julio Cesar; JUNIOR, Carlito Calil. Sistema construtivo em " wood frame" para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MONICH, C.R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social préfabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MUNHOZ, F.C. RENOFIO, A. **Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: 2007.

NEVES, André Emanuel Paulos Santiago das. **Avaliação, tratamento e consolidação de madeira em edifícios antigos**. 2013. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

OLIVEIRA, J. T. S. **Características da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1997.

PAESE, M. C. B. **Análise de sistemas construtivos em madeira implantados na região de Curitiba-Paraná**. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2012.

- PIZZONI, Candida Pasini; DO VALLE, Ângela. **Vida Útil Das Construções Wood Frame No Brasil: Durabilidade E Desempenho.** In: CLEM CIMAD, 2017. Buenos Aires: 2017
- PRIMI, Lilian; MARTINS, Rosele. **Obra seca e rápida: conheça sistemas construtivos muito eficientes.** Abril. Nov. 2013. Disponível em: Acesso em: mai 2020.
- RIBASKI, Nayara Guetten; DUDEK, Letícia Caroline; ROTTA, Carlos Eduardo. **O sistema wood frame e o setor madeireiro paranaense/The wood frame system and the timber sector of Paraná.** Brazilian Applied Science Review, v. 1, n. 2, p. 35-42, 2017.
- ROCHA, Felipe Negrão Antunes; PEREIRA, Gustavo Bittencourt; YOKOYAMA, N. O. **Análise de viabilidade técnica do sistema wood frame na construção de unidades unifamiliares no Brasil.** XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência Universidade do Vale do Paraíba, 2016.
- SANTOS, L. C. F. D. **Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em wood light frame.** 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Construções Sustentáveis) – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- SANTOS, Alexandre et al. Estudo de Implantação de Projeto Sustentável Utilizando Wood Frame. **Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR**, p. 1-15, 2015. Disponível em: [https://revista.facear.edu.br/artigo/\\$/estudo-de-implantacao-de-projeto-sustentavel-utilizando-wood-frame](https://revista.facear.edu.br/artigo/$/estudo-de-implantacao-de-projeto-sustentavel-utilizando-wood-frame). Acesso em: set. 2021.
- SALGADO, Julio C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificações.** 2ed. São Paulo: Érica, 2009.
- SINAT (Brasil). **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas.** Brasília, 2020. Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: set. 2021.
- SHIGUE, Erich. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, Ações e Produtos.** 2018. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- SOARES, A. C. **5 ferramentas para criar seu modelo de negócio.** Endeavor. 2015. Disponível em: <https://endeavor.org.br/endeavor-recomenda/ferramentas-modelo-de-negocio/> . Acesso em: nov. 2020.
- SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. de P. L. Panorama do sistema construtivo light wood frame no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 309-326, jul./set. 2018.
- SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame.** Florianópolis, SC. Instituto de Pós Graduação IPOG. 2013.

TECVERDE. **Homepage**. 2016. Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/datec-020A.pdf> . Acesso em: nov. 2020.

THE ROYAL HOUSE OF NORWAY. **Stiftsgarden**. 2021. Disponível em <https://www.royalcourt.no/artikkel.html?tid=28705>. Acesso em set 2021.

VASQUES, Caio Camargo Penteado Correa Fernandes. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS, v. 1, n. 1, 2014.

VELLOSO, Joana G. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. 2010, 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica (Rio de Janeiro, 2015).

WOMACK, J.P., JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**, Campus, Rio de Janeiro, 1992