

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA DA SILVA WELINSKI

**A SUSTENTABILIDADE APLICADA NO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD*
*FRAME***

CAMPO MOURÃO

2022

GABRIELA DA SILVA WELINSKI

**A SUSTENTABILIDADE APLICADA NO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD*
*FRAME***

Sustainability applied in the wood frame construction system

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

**CAMPO MOURÃO
2022**



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

GABRIELA DA SILVA WELINSKI

**A SUSTENTABILIDADE APLICADA NO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD*
*FRAME***

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

Data de aprovação: 27/Outubro/2022

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Adalberto Luiz Rodrigues De Oliveira
Mestre em Métodos Numéricos em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Vera Lucia Barradas Moreira
Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

CAMPO MOURÃO

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aquele que me concede o folego todos os dias e me trouxe até aqui, o qual vejo e sinto toda vez que observo a natureza.

À minha mãe e professora, Rosalire, que lutou a vida toda para que eu tivesse uma ótima educação. Agradeço por todo esforço, amor e incentivo que sempre me deu para estudar e seguir uma profissão, me ensinando que a educação é o melhor caminho. Sem você, eu jamais chegaria aqui.

Aos meus irmãos, Marcos e Everton, que sempre me incentivaram e ajudaram no que foi preciso, desde uma calculadora no primeiro dia de aula, até ensinamentos de engenharia, obrigada pelo apoio e amor. Agradeço a toda minha família: cunhadas, sobrinhas, tios, tias, primos e primas, que sempre me amaram e torcem por mim.

Ao meu namorado, Gabriel, que esteve comigo durante quase toda minha graduação, me incentivando, aconselhando e tendo paciência. Obrigada por cada palavra e atitude.

Aos meus amigos, que me viram entrar na faculdade e passar por todo este processo. Agradeço também aos amigos que conheci na faculdade e levarei para sempre no coração. Obrigada por me apoiarem, ouvirem e por estenderem seus ombros.

A todos os meus professores e professoras que contribuíram para a minha formação, agradeço por todos os ensinamentos e por me ajudarem a crescer como profissional.

A Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira, que sempre admirei como profissional, e que se mostrou uma pessoa incrível, compreendendo minhas dificuldades, tendo paciência e me ajudando na realização do trabalho, muito obrigada professora, pelo carinho e por me aceitar como orientanda, me proporcionando poder escrever sobre um tema que amo e sonhava desde o início da faculdade.

À UTFPR e a Campo Mourão, onde conheci pessoas especiais, vivi diversas experiências e amadureci. Se tornaram lugares que sempre estarão vivos no meu coração e nas minhas lembranças.

Obrigada a todos, sozinha não se chega a lugar nenhum.

“A sustentabilidade consiste em construir
pensando no futuro.”
(PIANO; ZABALBEASCOA; MARCOS, 1998).

RESUMO

Na década de 60, diante das diversas influências e problemas que o ser humano tem gerado à natureza, alvoreceu uma preocupação com o meio ambiente e como preservá-lo. Dentre os setores que mais intervém no meio ambiente, está a construção civil, logo, fez-se necessária a busca por meios onde este setor pudesse mitigar suas interferências ao meio ambiente, foi neste cenário que o sistema construtivo *wood frame* começou a ganhar seu espaço, evoluindo de técnicas construtivas em madeira utilizadas no período medieval na região central e norte da Europa e se tornando o sistema tecnológico que é empregado e consagrado hoje em diversos países como: Japão, Canadá, Estados Unidos e outros países europeus. O *wood frame* possui diversas qualidades que tornam o setor construtivo mais eficiente em produtividade e sustentabilidade, entres elas estão: obras limpas e secas produzindo menos resíduos e usando pouca água, captação e retenção de CO₂, manejo de florestas, produtividade e agilidade construtiva, qualidade fabril, eficiência energética, conforto, entre outros aspectos. Quando comparado com o sistema tradicional e artesanal de alvenaria brasileiro, o *wood frame* se destaca em várias áreas como a sustentabilidade e eficiência, entretanto no Brasil ainda existe certo receio com relação às construções em madeira, grande parte devido à falta de conhecimento, tanto de leigos quanto dos profissionais, isso implica em um setor construtivo ainda em crescimento no país e com carecimento de divulgação. Por meio de revisões literárias de obras voltadas à sustentabilidade, madeira e *wood frame*, foram separadas informações a respeito das vantagens ecológicas do sistema construtivo, bem como suas características, benefícios e método de construção, para contribuir com a difusão do conhecimento do sistema.

Palavras-chave: madeira; sustentabilidade; construções sustentáveis.

ABSTRACT

In the 60's, in face of the different influences and problems that the human being has generated to nature, a concern with the environment and how to preserve it arose. Among the sectors that most intervene in the environment is civil construction, so it was necessary to search for ways in which this sector could mitigate its interference to the environment, it was in this scenario that the wood frame constructive system began to gain its space. , evolving from wood construction techniques used in the medieval period in central and northern Europe and becoming the technological system that is used and established today in several countries such as: Japan, Canada, the United States and other European countries. The wood frame has several qualities that make the construction sector more efficient in productivity and sustainability, among them are: clean and dry works producing less waste and using little water, capture and retention of CO₂, forest management, productivity and constructive agility, quality manufacturing, energy efficiency, comfort, among other aspects. When compared to the traditional and artisanal system of Brazilian masonry, the wood frame stands out in several areas such as sustainability and efficiency, however in Brazil there is still some fear regarding wooden constructions, largely due to the lack of knowledge, both in terms of laymen and professionals, this implies a constructive sector still growing in the country and lacking publicity. Through literary reviews of works focused on sustainability, wood and wood frame, information about the ecological advantages of the construction system was separated, as well as its characteristics, benefits and construction method, to contribute to the dissemination of knowledge of the system.

Keywords: wood; sustainability; sustainable buildings

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipologias de casas indígenas.....	18
Figura 2: Casa Pereira em São Mateus do Sul/PR com lambrequins e ornamentos.....	20
Figura 3: Representação da montagem das tramas estruturais	25
Figura 4: Paredes externas das edificações em enxaimel	25
Figura 5: Estruturas das paredes internas, piso e cobertura das edificações em enxaimel.....	25
Figura 6: Diferentes composições e preenchimentos das tramas	26
Figura 7: Estrutura do sistema balloon frame	28
Figura 8: Estrutura do sistema platform frame.....	28
Figura 9: Componentes de uma edificação em <i>wood frame</i>	33
Figura 10: Processo de tratamento da madeira na autoclave	34
Figura 11: Construção de fundação em radier	35
Figura 12: Corte de detalhes da construção de fundação em radier.....	36
Figura 13: Basement wall: (a) arranques de aço; (b) Vigas apoiadas sobre o basement.....	37
Figura 14: Composição do subsistema piso.	38
Figura 15: Ossatura do painel de parede com abertura de janela	39
Figura 16: Membrana hidrófuga: (a) sendo colocada sobre painel; (b) painel montado com parte de chapeamento cimentício	40
Figura 17: Painéis Estruturais Tecverde do tipo Parede	40
Figura 18: Instalações hidráulicas: (a) Detalhes do kit hidráulico; (b) Kit hidráulico instalado	41
Figura 19: Instalações elétricas: (a) conduítes e quadro de distribuição; (b) caixa elétrica na parede com revestimento interno; (c) organização dos conduítes	42
Figura 20: Painéis içados para a montagem da edificação no canteiro de obras	42
Figura 21: Trelças pré-fabricadas com chapas-prego	43
Figura 22: Trelças pré-fabricadas de grande porte utilizando equipamentos para montagem.....	44
Figura 23: Primeiro prédio em wood frame no Brasil	45
Figura 24: Residencial Dardanelos.....	45
Figura 25: Obras hospitalares: (a) Centro de atendimento médico; (b) Hospital de Retaguarda	45
Figura 26: Variedade arquitetônica de obras residenciais em wood frame: (a) Casa Amelie; (b) Casa Villa;	46
Figura 27: Casa executada em wood frame pela empresa Tecverde	47
Quadro 1: Impactos ambientais significativos e não significativos da alvenaria: tijolo e argamassa para conexão de tijolos	49
Quadro 2: Aspectos ambientais do sistema construtivo em WLF: Pinus, OSB, lâ de PET, lâ de vidro, membrana hidrófuga, placa cimentícia, gesso acartonado.....	50
Quadro 3: Análise comparativa entre os sistemas construtivos: alvenaria convencional e wood frame	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo de custos diretos e indiretos de construção para os sistemas construtivos analisados	53
Gráfico 2: Horas necessárias para o levantamento da parede pelos dois sistemas	54
Gráfico 3: Desempenho térmico: (a) condutibilidade térmica; (b) resistência térmica	54
Gráfico 4: Custo total para a construção de 339 residências	55
Gráfico 5: Comparação entre LSF, LWF e alvenaria: (a) tempo de finalização; (b) quantidade de trabalhadores para finalização em 12 meses	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACQ	Alkaline Cooper Quaternary
AF&PA	American Forest & Paper Association
AQUA	Alta Qualidade Ambiental da Edificação
AWC	American Wood Council
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CA	Cooper Azole
CAA	Arseniato de Cobre Cromatado
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CO ₂	Dióxido de Carbono
CWC	Canadian Wood Council
DaTEC	Documento de Avaliação Técnica
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IRC	International Residential Code
ITA	Instituição Técnica Avaliadora
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LSF	Light Steel Frame
LVL	Laminated veneer lumber
LWF	Light Wood Frame
MLC	Madeira laminada colada
NBR	Normas Brasileiras
OSB	Oriented Strand Board
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
WFCM	<i>Wood frame construction manual</i>
WWPA	Western Wood Products Association
WLF	Wood Light Frame

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	14
4.1	Sustentabilidade	14
4.1.1	Humanidade e sustentabilidade	14
4.1.2	Impactos da construção civil no meio ambiente	15
4.1.3	Certificações.....	16
4.1.4	Materiais e sistemas construtivos.....	17
4.2	Madeira	18
4.2.1	História da madeira como material construtivo no Brasil.....	18
4.2.2	Vantagens do uso da madeira na construção civil	21
<u>4.2.2.1</u>	<u>Aspectos sustentáveis da madeira</u>	<u>22</u>
<u>4.2.2.2</u>	<u>Versatilidade</u>	<u>23</u>
<u>4.2.2.3</u>	<u>Eficiência</u>	<u>23</u>
4.3	Wood Frame	24
4.3.1	História do <i>Wood Frame</i>	24
4.3.2	<i>Wood frame</i> como método construtivo	31
<u>4.3.2.1</u>	<u>Madeira Utilizada</u>	<u>33</u>
<u>4.3.2.2</u>	<u>Fundação</u>	<u>34</u>
<u>4.3.2.3</u>	<u>Pisos</u>	<u>37</u>
<u>4.3.2.4</u>	<u>Paredes</u>	<u>38</u>
<u>4.3.2.5</u>	<u>Cobertura</u>	<u>42</u>
4.3.3	Versatilidade.....	44
4.3.4	Aspectos ambientais do sistema <i>Wood Frame</i>	46
4.3.5	Desenvolvimento da construção civil por meio do <i>wood frame</i>	52
4.3.6	Comparativo entre métodos construtivos	53
4.3.7	Ponderações em relação ao <i>Wood Frame</i>	56
5	METODOLOGIA DE PESQUISA	57
6	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A concepção de sustentabilidade vem sendo aprimorada nas últimas décadas, o início deste interesse decorreu da preocupação com questões referentes ao meio ambiente e o possível esgotamento dos recursos naturais não renováveis. Os primeiros passos desta atenção à sustentabilidade ocorreram nos anos de 1960, reparou-se naquele momento que o sistema econômico sempre trabalhou com a ideia de que a natureza possui recursos inesgotáveis e capacidade de reter os dejetos das produções. Diante desta perspectiva errônea e dos impactos ambientais já existentes na época, diversos movimentos sociais surgiram com o intuito de discutir os problemas que o sistema econômico vinha causando ao meio ambiente (GONZALEZ, 2018).

Dentre os aspectos da economia, a construção civil e sua cadeia produtiva tem sido um dos maiores contribuintes para os impactos ambientais, segundo a CBCS (2007), há alguns anos o setor já consumia cerca de 75% dos recursos naturais extraídos, gerando aproximadamente 80 milhões de toneladas por ano de resíduos, os edifícios chegavam a consumir perto de 18% da energia total produzida no Brasil e 50% da energia elétrica, e ainda, por meio dos processos de queima de combustível fóssil e descarbonatação do calcário, ocorre a liberação de gases de efeito estufa (como o CO₂), entre outros impactos provenientes deste ramo.

Diante deste cenário consternador, buscou-se alternativas que tivessem a capacidade de atenuar os transtornos causados pela indústria da construção civil ao meio ambiente, paralelamente ao crescimento tecnológico, logo, um desenvolvimento sustentável. O *wood frame* foi um dos sistemas construtivos que se desenvolveu durante esta busca por métodos e sistemas que favorecessem os dois parâmetros, unindo aspectos sustentáveis como: a utilização de matéria-prima natural e renovável proveniente de florestas corretamente manejadas, a captura e retenção de dióxido de carbono (gás de efeito estufa), utilização de pouca energia e água, geração de menos resíduos e capacidade de reutilização (ESPINDOLA, 2017), conjuntamente aos aspectos de desenvolvimento da construção civil como: produção em larga escala, rapidez, qualidade do produto, trabalhadores especializados e eficiência dentro do canteiro de obras e em todo o processo de construção (RAMOS, 2019).

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos da pesquisa, indicando as características e o direcionamento deste trabalho de conclusão de curso.

2.1 Objetivo geral

Explorar conhecimentos acerca do sistema construtivo *wood frame* e seus benefícios em relação à sustentabilidade dentro da construção civil e demonstrar a relevância do mesmo para construções mais limpas e eficientes.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar informações a respeito dos impactos ambientais causados diretamente pela construção civil;
- Expor os benefícios da madeira, como material construtivo, e do sistema *wood frame* para o meio ambiente;
- Compilar informações a respeito do uso da madeira e do sistema *wood frame* na indústria da construção civil.

3 JUSTIFICATIVA

Os gases de efeito estufa em sua maioria são lançados naturalmente no meio ambiente, entretanto as atividades humanas proporcionaram um aumento das emissões. A concentração destes gases na atmosfera influencia a frequência e intensidade de eventos climáticos como: inundações, secas, queimadas e furacões. Dentre os principais GEEs (gases de efeito estufa) está o dióxido de carbono (CO₂) que pode perdurar na atmosfera por até mil anos (UNEP, 2022). Segundo o UNEP (2020), a construção civil é responsável por 38% destas emissões relacionadas à energia, por este motivo os governos devem priorizar edifícios de baixo carbono. Além da emissão de gases, a indústria da construção civil tem requerido há muitos anos recursos naturais. No Brasil, a construção convencional ainda é realizada de forma artesanal, utilizando mão de obra por vezes deficiente de qualificação, demandando um grande consumo energético e gerando demasiada quantidade de resíduos. (OLIVEIRA, 2014).

As construções em madeira permitem mitigar grande parte dos problemas ambientais causados pelo setor da construção civil. Ao utilizar um material natural e renovável, evita-se o uso de recursos limitados da natureza. Além disto a madeira tem a qualidade de extrair e reter CO₂, sendo uma parceira na minimização de emissões de gases de efeito estufa (RAMOS, 2019). O *wood frame*, consequência evolutiva das construções em madeira, tem todas as vantagens do uso da madeira, bem como outros advindos do desenvolvimento desta tecnologia. Dentre estas contribuições sustentáveis está a utilização de espécies de reflorestamento com crescimento rápido, o constante desenvolvimento de tecnologias derivadas da madeira, construção limpa e seca minimizando a geração de resíduos e uso de água, de rápida execução e mais leve que as construções convencionais.

O Brasil, apesar de possuir um potencial florestal para o desenvolvimento desta tecnologia, permaneceu estagnado por muito tempo neste setor (OLIVEIRA, 2014). Por este contexto, o presente trabalho visa expor o crescimento da tecnologia no Brasil, seu já consolidado uso em outros países de primeiro mundo e as características e vantagens do sistema construtivo *wood frame* em relação ao desenvolvimento sustentável, sendo esse capaz de contribuir com a preservação do meio ambiente tão quanto contribuir para o crescimento, em qualidade e eficiência, do setor construtivo brasileiro.

4 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Neste item serão explorados conhecimentos, por meio de revisões literárias, a respeito de sustentabilidade, madeira aplicada como material de construção e sistema construtivo *wood frame*.

4.1 Sustentabilidade

A sustentabilidade é um termo que tem sido conceituado em consequência das discussões realizadas em relação ao meio ambiente. A expressão é presente em diversos contextos: empresarial, social, econômico e ambiental, este tendo como intuito a conservação e manutenção do meio ambiente.

A ideia de preservar a natureza simultaneamente ao crescimento tecnológico carrega consigo o que muitas vezes é visto como um dilema, o desenvolvimento sustentável, que visa utilizar os recursos naturais para o progresso, mas sem esgotá-los.

4.1.1 Humanidade e sustentabilidade

De acordo com Suzuki (2003, apud Castro, 2008, p. 17), o ser humano é o único ser capaz de transformar características biológicas, físicas e químicas do planeta Terra. Isto ocorre devido ao desenvolvimento social e tecnológico, como a criação de seus próprios espaços, que são as cidades. Estas capacidades e evolução da espécie humana gera uma consciência de que a natureza não é necessária, pensamento errôneo que leva a sociedade acreditar que o meio ambiente é algo distante e que deve ser alcançado, entretanto o homem é o próprio meio ambiente, não existe a distinção entre raça humana e natureza, todos são partes de um mesmo sistema, cujos elementos explorados constantemente são finitos.

A preocupação com o meio ambiente começou por volta da década de 60, alguns grupos de intelectuais foram criados com o intuito de discutir sobre política, sociedade, economia e desenvolvimento sustentável. No ano de 1968 foi criado um dos mais conhecidos, o Clube de Roma. Em 1972 foi publicado pelo grupo o relatório “Os limites do crescimento”, que por meio de estudos matemáticos chegaram à conclusão de que apesar da evolução tecnológica, o planeta Terra não possuiria a

capacidade de suportar o crescimento populacional e a exploração que ele gera dos recursos naturais e energéticos do meio ambiente. (LEICHT NETO, 2011).

A finitude dos recursos da Terra emparelhada à evolução tecnológica humana traz consigo preocupações de como lidar com o desenvolvimento e a sustentabilidade. Um dos grandes pilares do desenvolvimento humano é o setor da construção civil, logo, estas preocupações se estendem às obras, materiais e todos os aspectos da cadeia construtiva, visto que estes afetam diretamente as características do meio ambiente. É essencial que haja o interesse e busca de meios que façam o setor da construção se adaptar à preservação do meio ambiente, atendendo as demandas de evolução da raça humana, concomitantemente à preservação da natureza, visando a não exploração dos recursos naturais de forma prejudicial a todo o planeta.

4.1.2 Impactos da construção civil no meio ambiente

A construção civil é uma causadora de inúmeras categorias de impactos ambientais, visto que, uma das características desse ramo é a transformação do espaço no qual atua, bem como a exploração de recursos materiais e energéticos do mesmo, gerando resíduos e emitindo gases de efeito estufa (GEEs), segundo a UNEP (2021) a indústria da construção civil é responsável por 38% do total das emissões globais de CO₂.

Diante das adversidades enfrentadas com relação à sustentabilidade do meio ambiente, tem-se buscado formas de minimizar os impactos negativos causados pelo ramo da construção, principalmente os vinculados com a emissão de gases. A partir deste interesse, houve a procura e avaliação de materiais que durante a construção, tratamento e todo seu ciclo de vida, pudessem esmaecer o lançamento dos gases na atmosfera.

Estudos apontam que o uso da madeira na construção civil tem reduzido as emissões de CO₂ no ambiente quando comparado a outros métodos construtivos que utilizam materiais com maior intensidade de carbono e energia incorporados. Estes estudos possuem variações de acordo com os métodos utilizados e locais onde foram operados, portanto, não eliminam as demais literaturas sobre o assunto nem podem ser considerados como único artifício para atingir o interesse de corroborar com o abrandamento dos impactos que a construção civil acarreta ao meio ambiente, conquanto, ainda que com as variabilidades, desempenham uma tarefa importante

como direcionadores da viabilidade da madeira atuando como possível recurso estratégico de ação para atingir os objetivos de preservação e mitigação dos impactos ambientais. (ROVARIS, 2019).

Por conta dos impactos causados pelo setor construtivo no meio ambiente, diversos materiais, métodos construtivos, tecnologias e certificações foram elaborados para conciliar o desenvolvimento e a sustentabilidade na construção civil.

4.1.3 Certificações

Foram criados sistemas que classificam edifícios de acordo com o nível de sustentabilidade empregado nos métodos construtivos e materiais utilizados, esses sistemas emitem certificações e pontuações de acordo com uma série de critérios preestabelecidos, entre eles estão: tamanho do terreno construído, redução no uso da água, desempenho energético, minimização de desperdícios e qualidade dos ambientes. Os benefícios das certificações se alastram por três principais campos: ambiental, social e econômico. (DARDENGO, 2017).

Entre os certificados mais utilizados e conhecidos está o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), tendo algumas versões e tipologias, é o sistema de classificação de edifícios verdes mais usado no mundo, onde há uma estrutura que as construtoras ou equipes de projetos podem aplicar em suas edificações para que sejam mais sustentáveis e recebam o selo. Sobre a certificação LEED, Bundy e Pedrozo (2021) explicam:

O selo LEED de sustentabilidade em projetos consiste em certificar que uma determinada edificação está comprometida com princípios de sustentabilidade seguidos por uma série de critérios e indicadores que podem ser relacionados a ações tomadas em várias etapas de um projeto, sua construção e operação. A certificação se dá por meio de pontuações, que variam de acordo com o grau de atendimento de cada um dos itens (uso racional da água, qualidade do ar interno, conforto ambiental, relação harmônica do edifício com seu entorno, dentre outras) e os níveis de certificação são concedidos com base no acúmulo dos pontos. (SILVA; BUDNY; PEDROZO, 2021, p. 104).

Existem ainda outras certificações dentro da construção civil brasileira, como por exemplo, a AQUA (Alta Qualidade Ambiental da Edificação) que é dividida em 14 categorias de preocupações com a qualidade ambiental do edifício, a BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) que é uma certificação internacional que foca no processo de desenvolvimento do edifício e

possui um sistema de pontuação, o PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) que é exigido pela Caixa Econômica Federal e outras instituições financeiras no processo de financiamento, entre outras certificações. (IBEC, 2019).

4.1.4 Materiais e sistemas construtivos

Alguns materiais estão sendo aplicados nas construções afim de diminuir gasto energético, poupar água, minimizar desperdícios, entre outros aspectos que favorecem o meio ambiente. O tijolo ecológico por exemplo é composto por cimento, água e areia, dispensando a fase da queima, há também os elementos construtivos em bambu que é um material renovável, de baixo custo e possui ótimas características físicas e mecânicas, além de uma boa resistência à compressão. Outros meios são: o reaproveitamento de agregados das construções, o uso da madeira plástica que ajuda a diminuir a quantidade de plástico no meio ambiente e outros materiais usados para minorar os impactos ambientais causados pela construção civil. (SANTOS; SANTANA, 2017).

De acordo com Campos (2014), mais uma forma de melhorar a relação da construção civil com o meio ambiente tem sido o desenvolvimento e disseminação de métodos construtivos, um deles é o LSF (Light Steel Frame), um sistema construtivo seco, ou seja, minimiza o uso da água durante a construção, sendo usada apenas na fundação e assentamento de revestimentos cerâmicos. Outras características do sistema são: a diminuição de resíduos, o reaproveitamento e reciclagem, e serem obras leves, pois assim o material usado para fundação é reduzido. Além do LSF, as construções em container também possuem um grande potencial sustentável no âmbito do reuso.

Os componentes das edificações também possuem opções mais sustentáveis, como coberturas, revestimentos, acabamentos, entre outros. Estas inovações tecnológicas exemplificam como a construção civil anseia por uma nova forma de produzir suas obras, baseando-se no desenvolvimento sustentável e como ele pode ser alcançado por meio dos diversos métodos e materiais existentes e em constante desenvolvimento.

Na época em que o Brasil ainda estava se tornando uma colônia, a imigração dos portugueses trouxe outro método construtivo que era convencional nas terras dos colonizadores. Naquela época Portugal não utilizava madeira como principal material dentro das obras, o modo de construir dos portugueses era composto por fundações feitas em pedra, paredes de alvenaria, cobertura feita por telhas cerâmicas e a madeira era utilizada na forma de esquadrias, assoalhos, forros e na estrutura dos telhados. Essas obras eram marcadas pela baixa qualidade visto que a mão de obra empregada nas construções era escrava. (SHIGUE, 2018).

Segundo Habowski (2018), este período colonial foi marcado pela exploração predatória de espécies da mata atlântica, do cerrado e de coníferas presentes da faixa sul do país. Um exemplo desse aproveitamento abusivo foi o desmatamento das florestas de araucária no Paraná, estas foram anunciadas como infundáveis, ocasionando assim uma exploração desmedida no fim do século XIX e levando a espécie ao risco de extinção. A madeira procedente desta exploração era utilizada na indústria moveleira, naval e na construção civil.

Devido ao crescimento exponencial da população na Europa no século XIX, observou-se um problema social e a necessidade de redistribuição da população, esta foi realizada por meio de movimentos migratórios internos em busca de trabalho, entretanto a expatriação deu-se como a única escapatória para a sobrevivência de uma considerável parte da população europeia. Nos anos das emigrações europeias ao Brasil, ocasionadas principalmente pela Revolução Industrial na Alemanha e as tensões por ela acarretadas, entre 1824 e 1830 chegam os primeiros imigrantes na região sul do país, cerca de 5000 pessoas nesse período, sendo a maioria delas agricultores. Mais tarde houve uma grande onda de emigração também da Alemanha (entre 1846 e 1859) que trouxe aproximadamente 13.862 emigrantes para o Brasil, e na década seguinte (1860 até 1870) chegaram mais 16.740 europeus (CASTRO, 2008).

De acordo com Castro (2008), as colônias estabelecidas no Paraná no século XIX foram as de: poloneses, italianos, alemães, russos, argelinos, austríacos, suíços, ingleses, holandeses, espanhóis, alemães, que anteriormente viviam no interior e depois foram se movimentando em direção as cidades com números cada vez maiores de emigrantes e, portanto, sendo diretamente agentes do desenvolvimento dessas cidades.

As paisagens da arquitetura em madeira predominaram no Paraná até metade do século XX, essas construções variavam pelo tipo de madeira empregada e também por quem as construía. Os poloneses, que ocupavam o Sul e centro sul do Paraná, no final do século XIX, costumavam construir casas de pinho que possuíam telhado empinado, ou ainda aquelas com troncos sobrepostos, com presença de sótãos e lambrequins nos beirais, estas obras ficaram conhecidas como “casas de polacos”. Já na década de 1940 e 1950, nas ocupações no norte do estado, a maior parte das construções eram de peroba rosa, ricas em volumetrias e ornamentos (ZANI, 2013). Essa história de ocupação do Paraná foi documentada por meio da arquitetura de madeira trazida pelos europeus como mostra o exemplo da Figura 2.

Figura 2: Casa Pereira em São Mateus do Sul/PR com lambrequins e ornamentos



Fonte: Acervo C.P.H.A. (apud Zani, 2013, p. 17)

Segundo Zani (2013), as construções em madeira no Paraná não foram provisórias e nem transitórias, pelo contrário, serviu como habitação por várias décadas e, em alguns casos, continua perdurando como tal, porém esta arquitetura em madeira serrada não evoluiu, tendo seu ápice em 1950.

Apesar da presença da madeira na arquitetura paranaense, essa sofre com preconceitos e restrições por parte do poder público desde 1905. Cidades como Curitiba, Londrina, e outras de porte médio, possuem em seus Códigos de Posturas e Obras, leis que restringem o uso da madeira. Em Curitiba foram proibidas casas feitas de madeira nas principais ruas da cidade, e no ano seguinte esta limitação se estendeu para toda a área central. Em 1953, o código além de restringir os locais já mencionados, acrescenta restrições para as demais zonas da cidade. Londrina

também criou limitações em seu Código de Posturas e Obras em quase todo perímetro urbano, além de proibir a expansão destas obras e desautorizar reforma nas existentes. Esses códigos foram criados por acreditar-se que obras em madeira representavam o atraso tecnológico na cidade, enquanto a modernidade era representada por edifícios em alvenaria. (ZANI, 2013).

Um grande desafio para a difusão do uso de qualquer material na construção civil brasileira é a falta de normatização das tecnologias de sistemas construtivos e de legislação que incentive o uso do material. Em consequência, as iniciativas para a criação das normas acabam partindo de empresas e instituições interessadas no tema. (SHIGUE, 2018).

Um grande passo para as construções em madeira no Brasil, foi a criação da NBR 7190, que em 1997 foi reformulada a fim de trazer “profundas alterações nos conceitos relativos ao projeto de estruturas de madeira” (ABNT NBR 7190:1997, p. 1) e tem por objetivo:

Fixar as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbres. Além das regras desta Norma, devem ser obedecidas as de outras normas especiais e as exigências peculiares a cada caso particular (NBR 7190:1997, p. 2).

4.2.2 Vantagens do uso da madeira na construção civil

O uso da madeira na construção civil brasileira ainda não é comum e carrega sobre si um preconceito aliado à falta de conhecimento da população, dos profissionais qualificados (arquitetos e engenheiros) e por resultado de normas municipais. Sobre esta forma de enxergar a madeira na construção Aflalo (2020) aponta:

Por que madeira? Logo de saída, uma pergunta simples e com várias respostas que indicam a vida em um mundo complexo e multifacetado, no qual crenças, dogmas e orientação têm muito mais voz do que as evidências demonstradas. É curioso notar que um dos pontos de partida deste projeto foi o notório preconceito com o uso da madeira em construções urbanas e de grande escala. Entretanto a questão do preconceito encerra um axioma claro: o preconceito deriva do desconhecimento, logo a simples apresentação desse trabalho joga luz sobre questões básicas na formação dessas crenças e ideias pré-concebidas. Isso se dá não apenas com o público geral, mas também com arquitetos qualificados e pilares da nossa identidade cultural. (AFLALO, 2020, p. 10).

O país está habituado à forma de construir trazida pelos portugueses e outros imigrantes europeus que é baseada na alvenaria. Para que este preconceito diminua é necessário que as vantagens e propriedades da madeira sejam difundidas e conhecidas.

4.2.2.1 Aspectos sustentáveis da madeira

Uma das maiores vantagens do uso da madeira dentro da construção civil é o fato de ser um material renovável, visto que, o sistema construtivo mais usado no Brasil hoje, a alvenaria, faz uso de recursos naturais não renováveis.

Os vários tamanhos e dimensões que as peças de madeira possuem significam menos desperdício no canteiro de obras e menores custos em relação à perda de material. (APA, 2019).

O uso das madeiras em construções aumenta a quantidade da mesma no meio ambiente para este fim, isto faz com que a absorção de dióxido de carbono no meio ambiente aumente, pois, a madeira tem essa capacidade durante seu crescimento e retém este carbono até o final de sua vida (ROVARIS, 2019), segundo APA (2019), em edifícios já concluídos, é armazenado carbono e fornecido décadas de desempenho estrutural forte e confiável. Além disso, uma floresta jovem e em crescimento produz 1 tonelada de oxigênio e absorve 1,4 tonelada de CO₂ para cada 1 tonelada de madeira. Estas qualidades da madeira diminui os gases de efeito estufa e influência de forma positiva o clima se feito da forma correta. (ROVARIS, 2019).

Um estudo comparativo entre estruturas de madeira e estruturas de concreto armado revela que em termos de emissões de CO₂ no ambiente, a construção em concreto é 45% maior que a madeira e 22% maior no consumo de energia. A construção em madeira é mais eficiente que a de concreto nestes aspectos, sendo um material pouco utilizado, porém com grande potencial. (VARA, 2015).

Estudos realizados analisaram que durante o ciclo de vida da madeira, ou seja, desde sua extração como matéria prima até a demolição do edifício no final de sua vida útil, a madeira se apresenta mais benigna ao meio ambiente em relação ao uso da energia, emissões de GEEs, uso de água e geração de resíduos sólidos quando comparada com o aço e concreto. (APA, 2019).

4.2.2.2 Versatilidade

Em propriedades de força e flexibilidade a madeira cumpre com as necessidades para que seja utilizada como material estrutural, sua capacidade de absorver compressão e tração faz dela um material ótimo para tal fim, além disso, pode ser utilizada em pisos, janelas, escadas, painéis, portas e móveis. Entretanto a madeira possui alguns aspectos e peculiaridades que variam de acordo com seu corte, com as propriedades da espécie, seu modo de secagem e por ser um material biológico precisa de tratamento direcionado para seu uso, afim de aproveitar ao máximo suas qualidades, portanto, este material requer conhecimento apropriado para ser empregado corretamente de acordo com seus atributos (CASTRO, 2008).

Segundo Castro (2008), a madeira como material de construção possui alguns atributos importantes de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas: pode ter suas dimensões e densidade alteradas de acordo com a contenção de água devido à sua qualidade de absorção da mesma, esta mesma característica influência em aspectos mecânicos e de durabilidade e quando está completamente seca é um material isolante. Suas propriedades mecânicas são determinadas de acordo com ensaios que analisam a compressão normal e paralela às fibras, flexão estática, tenacidade, cisalhamento, tração paralela e normal às fibras, dureza e extração de pregos.

4.2.2.3 Eficiência

A eficiência dentro do canteiro de obras é essencial, a madeira, por conta do seu elevado nível de pré-fabricação, faz com que as construções sejam mais limpas, rápidas e produtivas, detendo vantagem sobre os métodos construtivos convencionais no Brasil. Segundo os atributos vantajosos da madeira na construção civil Shigue (2018) diz:

As tecnologias de *mass timber* têm apresentado excelentes características estruturais e desempenho térmico e acústico, o que possibilita a sua plena utilização em edificações de grande porte, como vem acontecendo em alguns países que já possuem exemplos de edifícios com mais de dez pavimentos de altura. (SHIGUE, 2018, p. 180).

Este material une dois aspectos importantes em suas características como material de construção, a sustentabilidade e seus processos industriais que lhe

conferem elevado grau tecnológico. Segundo Humerkoski (2015 apud Shigue, 2018, p. 180), “existem poucas alternativas à madeira engenheirada na construção civil que combinem tantas vantagens, tanto do ponto de vista técnico quanto ambiental”.

Sobre as qualidades sustentáveis e eficiência da madeira, Molina e Calil Jr. (2010) expõem:

A madeira é único material de construção renovável, que demanda baixo consumo energético para produção, e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore. Apresenta ainda fácil trabalhabilidade, excelente desempenho térmico (absorve 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolos) e acústico, além de elevada relação resistência/peso, o que faz da madeira um material adequado para a industrialização de elementos no sentido de facilitar o transporte das peças e posterior montagem na obra. (MOLINA; CALIL JR., 2010, p. 145).

4.3 Wood Frame

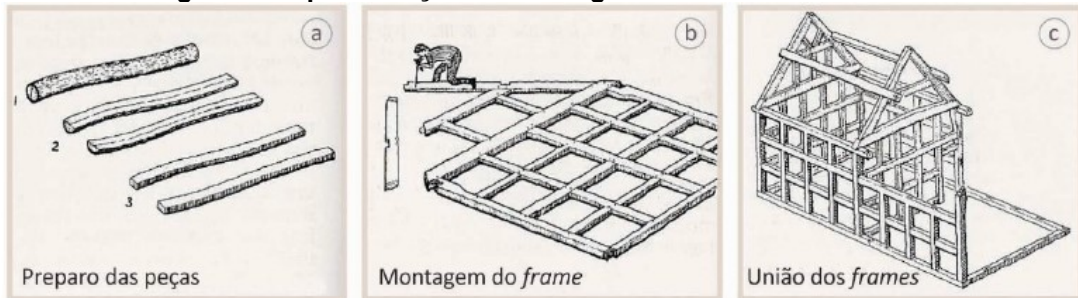
O *Light Wood Frame* não é uma tecnologia nova, ele vem se desenvolvendo há algum tempo em decorrência das construções de madeira e suas evoluções, entretanto sua disseminação no Brasil é recente. O conhecimento a respeito do sistema construtivo tem se expandido e ganhado mais espaço no setor da construção civil, toda via esta atividade de propagação necessita ser mais fomentada.

4.3.1 História do *Wood Frame*

A madeira está presente nas construções europeias, principalmente na região central e norte do continente, desde o período medieval, sendo aplicada como material estrutural nas edificações e produzida de forma artesanal por carpinteiros que falquejavam e entalhavam as peças para montagem das tramas estruturais. No Reino Unido, os entramados estruturais eram feitos pelos encaixes de peças preparadas, separadas e montadas em *frames*, mais tarde estes eram transportados até o canteiro para serem apenas erguidos e unidos como é apresentado na figura 3. Para as peças estruturais como vigas e pilares, apenas um ou dois homens eram necessários para o transporte, já para o levantamento da trama estrutural exigia-se mais homens e equipamentos. Os subsistemas (piso, paredes e cobertura) também eram realizados em *frames*. Os pisos compostos por vigas e barrotes que também serviam como base para serviços realizados nos níveis mais altos da edificação, as paredes eram divididas

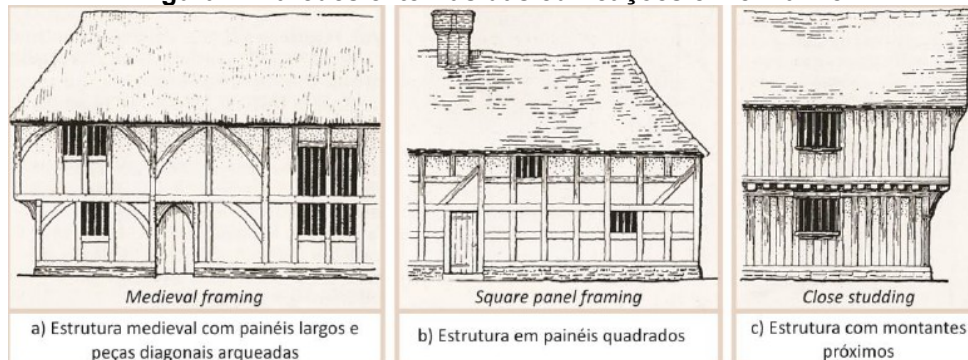
entre externas (*box frame*) que possuíam diversos desenhos, sendo os principais apresentados na figura 4, e internas que dividiam os ambientes da casa. Por fim os telhados eram compostos por tesouras. (HARRYS, 2013, apud ESPÍNDOLA, 2017). A figura 5 demonstra estes subsistemas.

Figura 3: Representação da montagem das tramas estruturais



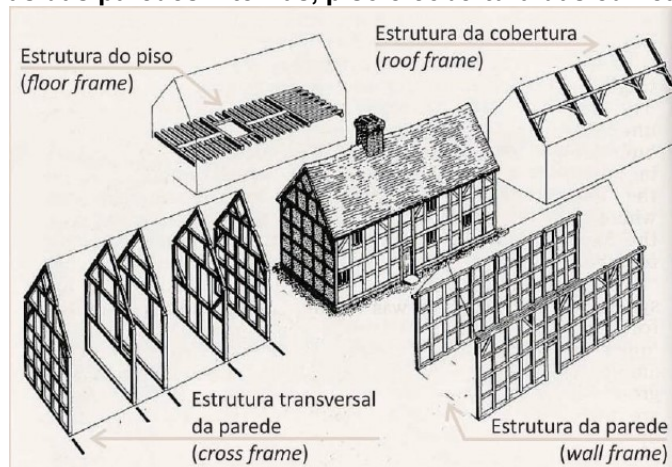
Fonte: Adaptação de Harris (2013, apud Espíndola, 2017, p. 100)

Figura 4: Paredes externas das edificações em enxaimel



Fonte: Adaptação de Harris (2013, apud Espíndola, 2017, p. 101)

Figura 5: Estruturas das paredes internas, piso e cobertura das edificações em enxaimel



Fonte: Adaptação de Harris (2013, apud Espíndola, 2017, p. 100)

Os entramados eram preenchidos por diversos tipos de enchimentos, que podem ser vistos na figura 6, entre os mais comuns estavam o pau-a-pique e a taipa

para os painéis quadrados (figura 4b), que depois eram cobertos por entrelaços de galhos, preenchidos com barro, estrume e palha picada e o acabamento era realizado com base de cal, por conta disso a arquitetura era muito marcada pelas cores preta e branca, vindas do contraste entre a madeira e a pintura feita com a cal. Nas demais estruturas com montantes de madeira mais próximos uns dos outros, o preenchimento era realizado com ripas pequenas na horizontal, ou ainda, lascas de pedras, e a finalização também era realizada com pintura de cal por cima de uma cobertura de estuque. (HARRYS, 2013, apud ESPÍNDOLA, 2017).

Figura 6: Diferentes composições e preenchimentos das tramas



Fonte: Adaptação de Harris (2013, apud Espíndola, 2017, p. 103)

Com o passar do tempo, notou-se que o peso das estruturas de madeira prejudicava e atrasava as obras, logo o desenvolvimento de novos métodos e tecnologias que tivessem maior eficácia unindo rapidez e leveza às construções tornou-se necessário. Com a revolução industrial, alguns materiais passaram a ser mais caros e outros mais acessíveis, a forma de construir foi então se adaptando ao cenário e criando novos métodos, podendo usar seções de madeira menores, pregos, alguns construíam com participação de alvenaria, outros com preenchimentos de lascas de pedras, e assim, diversas formas de construir foram utilizadas e testadas, desenvolvendo os métodos de construir com madeira. Um exemplo prático desta evolução foram as construções em enxaimel que utilizavam as peças falquejadas e robustas, que com o tempo se tornaram inviáveis dificultando a construção e o manuseio, logo, gradualmente as construções foram sendo realizadas com peças mais curtas, trazendo mais eficiência e agilidade às obras. (ESPÍNDOLA, 2017). Sobre o progresso destes sistemas, Espíndola (2017) diz:

Acredita-se que estas transformações antecederam e foram importantes na conformação dos sistemas com estruturas leves em madeira - *light wood frame* – iniciados entre os séculos XVIII e XIX, em especial no território norte-americano sob a influência de colonos franceses e ingleses. Neste novo período, destacaram-se os sistemas construtivos denominados: *braced frame*, *balloon frame* e *platform frame*, sendo os dois últimos os mais significativos entre os light frames. (ESPINDOLA, 2017).

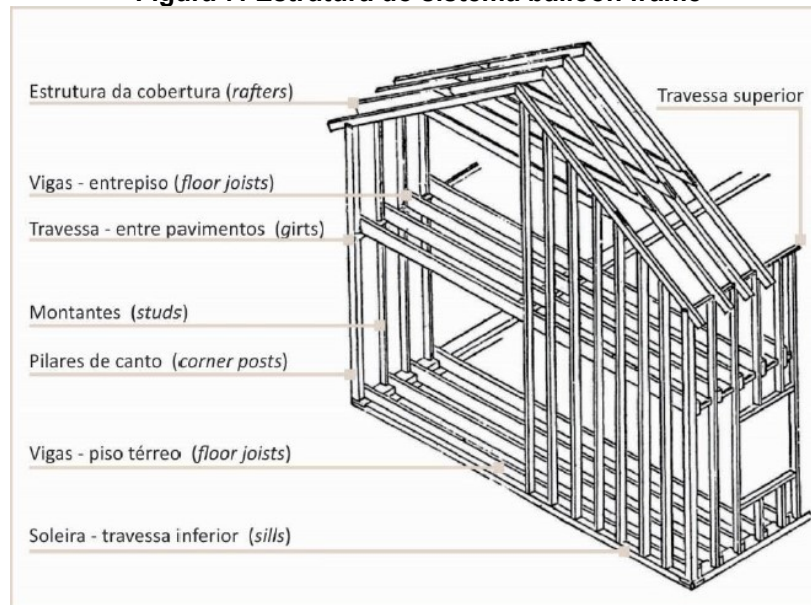
Segundo Allen e Thallon (2011, apud CARDOSO, 2015), nos Estados Unidos o *Wood Framing* foi introduzido pelos imigrantes europeus que chegavam na região no século XVI e enxergavam potencial para construção nas vastas florestas do país, iniciando-se assim as edificações para moradia feitas em madeira. A princípio o método utilizado foi o *Heavy Timber Frame* que utilizava peças grandes e pesadas como partes estruturais da construção.

Outros métodos utilizados e que precederam o *Wood Frame* foram o *balloon frame* e o *braced frame*, este a partir de 1800 foi muito utilizado na região de New England nos Estados Unidos, realizado com elementos de grandes seções utilizados como peças estruturais (vigas, pilares e travessas) com ligações ainda feitas por entalhes, juntamente com peças não estruturais mais esbeltas como os montantes que ficavam entre os pilares e os *braces* que se encontravam diagonalmente entre pilares e travessas, proporcionando mais rigidez à estrutura, este método é considerado uma transição entre as obras pesadas para as mais leves. Já o sistema de *balloon frame*, tido como o primeiro dentre as estruturas leves de madeira, utilizava ligações pregadas e peças serradas com dimensões pequenas que iam da soleira até a travessa superior da edificação, dispensando as grandes peças estruturais, estas peças menores do *balloon frame* eram posicionadas com espaçamentos menores, de 60cm entre si, e travadas diagonalmente por peças fixadas nos montantes ou por vedações de tabuas, para que assim tivessem propriedade estrutural para a edificação como mostra a figura 7. Na primeira metade do século XX, o sistema de plataformas (*platform frame*) sucedeu o *balloon*, sendo seu diferencial os montantes da obra, que eram mais curtos, delimitados pela altura dos pavimentos como representado pela figura 8. (BOCK, 1992, apud ESPÍNDOLA, 2017).

Sobre os aspectos do Sistema Plataforma, ABDI (2015), explica:

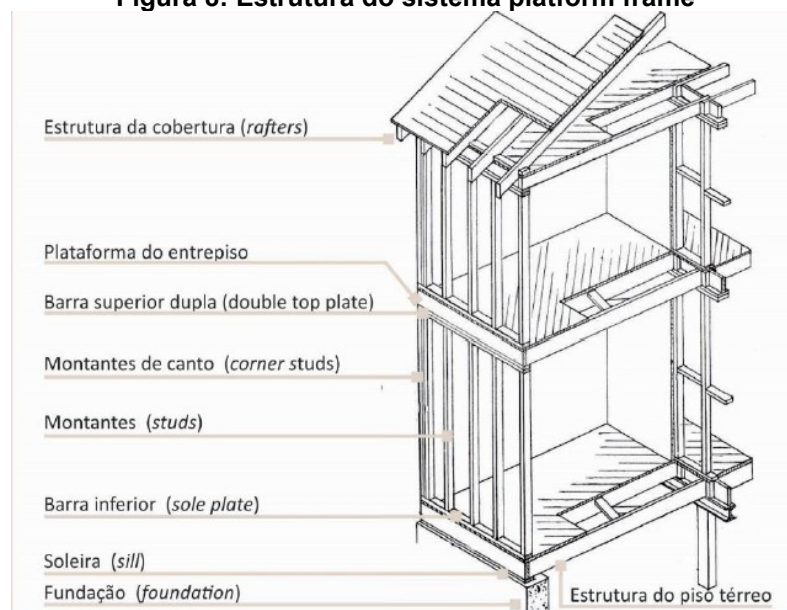
Por volta de 1920, o Sistema Balão evoluiu para o Sistema Plataforma, no qual peças curtas eram utilizadas no lugar de peças longas de madeira. Esse sistema nervurado, composto de planos horizontais formando o piso de cada pavimento, sobre os quais são sobrepostos os planos verticais formando as paredes, permitiu que a logística e a montagem das edificações fosse facilitada, além de tornar o uso de madeiras mais jovens viável. Salienta-se também que o Sistema Plataforma sobrepujou o Sistema Balão por apresentar um melhor desempenho em relação ao fogo. (ABDI, 2015, p. 176).

Figura 7: Estrutura do sistema balloon frame



Fonte: Bell (1858, apud Espindola, 2017, p. 107)

Figura 8: Estrutura do sistema platform frame



Fonte: Holtman (1921, apud Espindola, 2017, p. 108)

Com a experiência adquirida e visando adaptar o método construtivo ao clima norte americano, o *wood frame* se desenvolveu quando foi observado que os

elementos verticais com menor espaçamento, antes utilizados como vedação, eram capazes de suportar cargas, não sendo necessário os pilares e vigas robustos. No século XIX, paralelamente ao desenvolvimento na tecnologia da madeira serrada e a fabricação em massa de pregos, acontecia um crescimento vultoso nos Estados Unidos devido à chegada de imigrantes, e as primeiras casas de *wood frame* foram construídas, que por ser um método de maior facilidade construtiva, qualidade, realizado em menos tempo e que utilizava materiais abundantes na região, era muito mais vantajoso comparado aos outros métodos construtivos como o *heavy timber frame*. (CARDOSO, 2015).

Diversos conselhos e associações interessadas na difusão da tecnologia, na segunda metade do século XX buscaram evidenciar as características da tecnologia e os produtos derivados da mesma como por exemplo as chapas de compensado, OSB, MLC (madeira laminada colada), *Laminated veneer lumber* (LVL), entre outros. Entre as associações mais importantes estão: *Canadian Wood Council* (CWC), *American Wood Council* (AWC), *The Engineered Wood Association*, *American Forest & Paper Association* (AF&PA) e *Western Wood Products Association* (WWPA). Elas se preocupam em fornecer uma estrutura organizacional afim de que o uso da madeira na construção civil seja cada vez mais fortalecido, portanto, além do marketing da tecnologia, também realizam testes de qualidade e estabelecem padrões para produtos de madeira comerciais, esses estão presentes em formas de tabelas ou relatórios unidos aos produtos, além de fornecerem guias e manuais técnicos para os construtores e projetistas. O primeiro manual produzido afim de fornecer informações e detalhes para as construções em *wood frame* do tipo plataforma foi o *U.S. Department of Agriculture Handbook Nº 73*, também conhecido como “*wood frame house construction*” de 1955, escrito pelos cientistas O.C. Heyer e L.O. Anderson. Este guia foi amplamente utilizado por construtores e instituições educacionais e era atualizado de acordo com as evoluções tecnológicas do sistema. Alguns anos depois, em 1996, foi publicado pela AWC e AF&PA, o *Wood frame construction manual* (WFCM), revisado e editado de acordo com o *International Residential Code* (IRC). Estes manuais tiveram uma grande importância sobre a utilização dos sistemas leves em madeira nos países norte-americanos no século XX e também em países como Japão, Austrália e regiões da Europa central e nórdica. (ESPINDOLA, 2017).

A partir da madeira proveniente de florestas plantadas, o *wood frame* se desenvolveu no Brasil, sendo produto de um processo de industrialização de painéis estruturais para montagem de edificações. (ABDI, 2015).

De acordo com Espindola (2017), considerando que o *wood frame* é um entramado feito de montantes e travessas inferiores e superiores que são contraventados por placas de OBS ou compensado, as primeiras obras no Brasil do sistema construtivo em questão, foram realizadas pelas empresas: EPOTEC Paraná Indústria e Comércio de Casas Pré-Fabricadas, Battistella Indústria e Comércio Ltda, empresa Madezzatti e construtora Malacon. As obras em *wood frame* realizadas por essas empresas começaram no final da década de 1970, mais focadas em construções de vilas e alojamentos para obras grandes de infraestrutura (metrôs e hidroelétricas), voltando-se para construções residenciais apenas na década de 1990 pela empresa Battistella, estas destinadas às classes econômicas mais altas. Em meados de 2000 a construtora Malacon e o engenheiro Carlos Alves investiram na construção de unidades habitacionais no país por meio deste método construtivo.

Iniciativas acadêmicas em conjunto com empresas ligadas ao ramo da madeira proporcionaram experiências com o *wood frame* no início do século XXI, entretanto um dos momentos mais importantes para o sistema no Brasil, foi a criação da Comissão Casa Inteligente em 2010 na cidade de Curitiba dentro da FIEP (Federação das Indústrias do Estado do Paraná), composta por pesquisadores, empresas e fornecedores. Esta comissão buscou conhecimento e aprimoramento tecnológico na Alemanha em relação ao sistema construtivo, adaptando o aprendizado à realidade dos materiais e mão de obra brasileira. (ABDI, 2015).

Em 2010 a empresa alemã *Homang-Weinmann*, ajudou na implantação de fábricas de *wood frame*. A primeira foi montada em Pinhais na região metropolitana de Curitiba no Paraná e possuía 400m², já a segunda foi implantada em 2012 no município de Pelotas no Rio Grande do Sul, em conjunto com a construtora Roberto Ferreira, esta, com 1600m² e planejada para que o Residencial Haragano fosse produzido. Este residencial possui 270 sobrados de 47m² e 10 casas térreas que possuem acessibilidade e podem receber deficientes visuais. (ABDI, 2015).

Outro fator importante para a implementação e construções em escala de um sistema construtivo é a normatização do mesmo, com este fim foi elaborada a ABNT NBR 16936 no Comitê Brasileiro da Construção Civil com a participação do Comitê Brasileiro de Madeira e que se encontra em fase de análise. (ABIMCI, 2021).

Segundo a empresa TECVERDE (2020), como o sistema *wood frame* ainda não possui uma norma específica no Brasil, diversas normas são utilizadas para a construção de uma edificação em *wood frame*, entre elas: NBR 6123 para considerar cargas de vento, ABNT NBR 7190 e ABNT NBR 15575-2 para os deslocamentos horizontais no topo da edificação e para o tratamento da madeira utilizada (pinus) e os cálculos estruturais obedecem à NBR 6120, NBR 6123 e NBR 8681.

Como o *wood frame* é um sistema inovador no território brasileiro, foi necessário que o mesmo passasse por um processo de avaliação de normas técnicas internacionais e que houvessem estudos do processo e produto final, por conta disso foi desenvolvida a Diretriz SiNAT 005 em 2011, como é explicado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2015):

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SiNAT) é uma iniciativa da comunidade técnica brasileira para operacionalizar a avaliação de produtos inovadores na construção civil brasileira. Para um produto inovador ser aprovado pelo SiNAT, precisa apresentar um Documento de Avaliação Técnica (DATec) que deve ser redigido por uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA) que indica o atendimento do sistema às normas nacionais e cumprimento dos requisitos de desempenho (ABDI, 2015, p. 178).

4.3.2 *Wood frame* como método construtivo

O desenvolvimento das tecnologias e beneficiamento da madeira proporcionou a concepção de novos produtos, entre estes estão alguns que possuem grande aplicação no setor da construção civil, contemplando mais especificamente o sistema construtivo *wood frame*, os produtos mais importantes para este ramo são: a madeira serrada e o painel OSB. (OLIVEIRA, 2016).

O *Light Wood Frame* (LWF), pode ser compreendido como “estruturas leves feitas de madeira”, pois é produzido por partes estruturais feitas de peças de madeira, estas formam um esqueleto que é coberto por painéis de OSB que trabalham no contraventamento da estrutura e geram o *frame*. (MOREIRA; SOLDERA, 2016).

Sobre as características construtivas do sistema, Molina e Calil Jr. (2010) explicam:

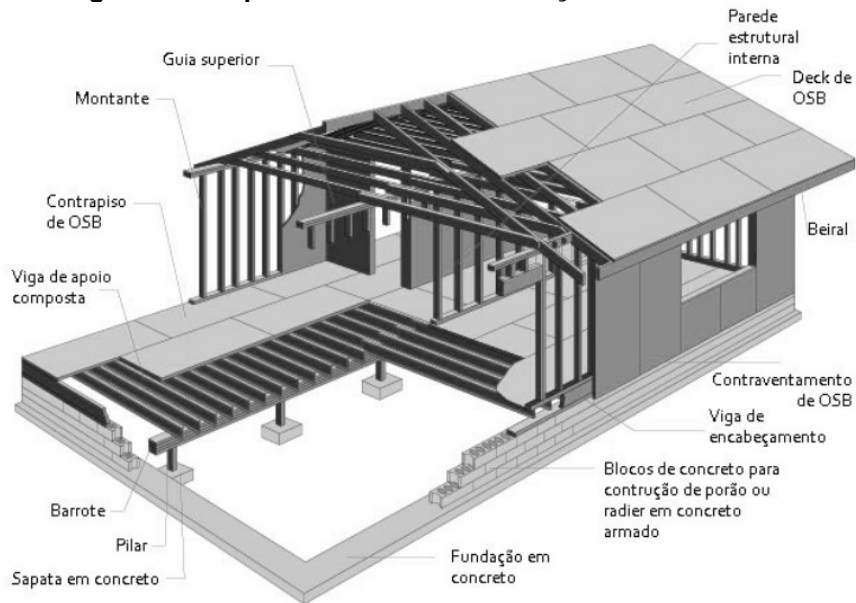
O *wood frame* para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o

fogo. Nos EUA a tecnologia *wood frame* é utilizada em 95% das casas construídas. (MOLINA; CALIL JR., 2010, p. 144).

Este método construtivo de estrutura leve tem como características principais a racionalização e processo de etapas. Os materiais e peças são fabricados em indústrias, portanto a maior parte da construção acontece no ambiente fabril, depois de pronto, o material é enviado até à obra na ordem de execução, ou seja, da infraestrutura até a cobertura (OLIVEIRA, 2016), sendo uma casa dividida em: telhado, estruturas, pavimentos, fundação e paredes (RAMOS, 2019). No canteiro de obras as partes da edificação são montadas com incomplexidade de forma seca e limpa. Por ser um processo industrial e precisar de mão de obra especializada, a supervisão dos operários é menor, bem como a qualidade da obra é superior (OLIVEIRA, 2016), além de sua vida útil, assim como as edificações de concreto, ser cerca de 50 anos. (RAMOS, 2019). Na Figura 9 são exemplificados os componentes de uma casa feita em *wood frame*.

Segundo Velloso (2010), nos Estados Unidos e no Canadá, onde o sistema já está consolidado, existem três formas de aplicar o método construtivo. Os kits pré-cortados, que é o método mais habitual e artesanal, onde toda a parte estrutural da casa é feita no próprio canteiro de obras. As *panelized homes*, onde os componentes da casa são todos industrializados (painéis de parede e treliças), por conta disso são as campeãs em quantidade nos Estados Unidos, que é um país onde a industrialização é avançada, e também possuem maior valor agregado devido a confiabilidade do produto. Existem também as *modular homes*, que são uma evolução das *panelized homes*, onde os módulos tridimensionais da casa são fabricados já com esquadrias embutidas e instalações introduzidas. E por fim existem as *manufactured homes* ou *mobile homes* que são transportadas prontas para o canteiro de obras e instaladas sobre um chassi metálico.

Figura 9: Componentes de uma edificação em *wood frame*

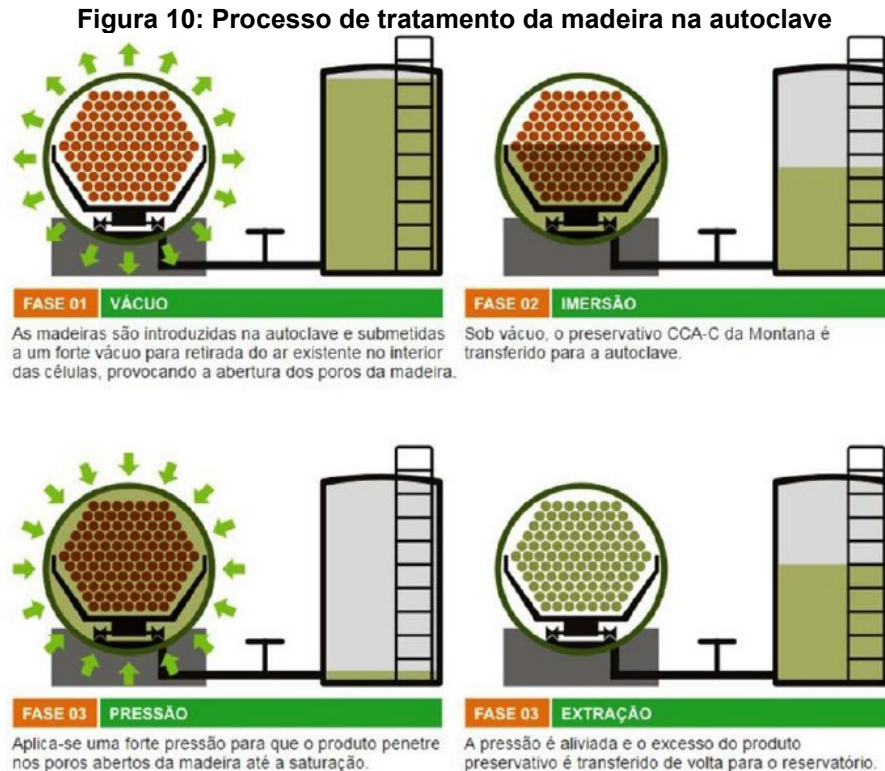


Fonte: Wood University (2015, apud Oliveira, 2016, p. 44)

4.3.2.1 Madeira Utilizada

Segundo Velloso (2010), a madeira utilizada para a construção das edificações em *wood frame* são em geral do gênero *Pinus sp.* por conta da boa trabalhabilidade e crescimento rápido, entretanto esta madeira possui uma durabilidade mais baixa por conta da sua baixa resistência biológica sendo necessário suprir essas carências por meio de tratamentos que a façam resistir aos agentes degradantes como fungos que apodrecem a madeira, insetos xilófagos, entre outros, garantindo seu desempenho durante toda a vida útil da edificação.

Entre os tratamentos mais utilizados para madeira de baixa densidade está a autoclave por vácuo-pressão, como mostra a figura 10. Este tratamento propicia a penetração do preservativo hidrossolúvel (Arseniato de Cobre Cromatado do tipo C - CAA) na madeira, este possui alta resistência à lixiviação (desgaste da madeira provocado pela percolação da água), garante durabilidade da madeira mesmo em contato com o solo e aumenta a resistência da mesma à cupins por mais de 30 anos. Mas de acordo com alguns estudos o CAA pode ser danoso para o ser humano e para a natureza no momento do descarte do material, por isso tem ocorrido o desenvolvimento de preservativos alternativos ao CAA, como por exemplo o ACQ e o CA que são à base de Boro, porém este produto é lixiviável. (VELLOSO, 2010).



Fonte: Moreira e Soldera (2016, p. 31)

Nos Estados Unidos as madeiras já são tratadas conforme seu uso, por exemplo, uma madeira que é usada na fundação precisa de mais preservativo do que aquela que não terá contato direto com o solo. No Brasil há carência de uma classificação que forneça um conhecimento mais específico das madeiras vendidas (como espécie, idade, condição climática na manufatura e desdobro e outras características que influenciam nas propriedades da madeira) para que a mesma possa ser empregada da melhor maneira de acordo com suas características e tratamento. No caso do *wood frame* é imprescindível que se conheça as características físicas e mecânicas da madeira utilizada, visto que, o sistema não utiliza vigas e pilares e é uma trama estrutural autoportante. (VELLOSO, 2010).

4.3.2.2 Fundação

As fundações do sistema construtivo *wood frame* são em geral executadas em *radier*, um tipo de fundação que se assemelha à uma laje de concreto armado, geralmente com 12cm, com armadura superior e inferior, por vezes é assentada sobre uma base de saibro e durante a fundação são previstas as esperas para instalações

elétricas e hidráulicas (MOREIRA; SOLDERA, 2016), na figura 11 é demonstrada uma fundação *radier* em construção.

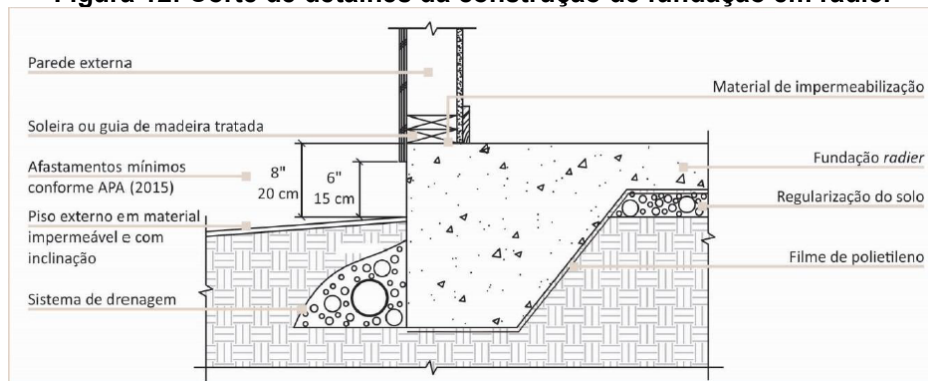
Para evitar futuras patologias relacionadas à umidade proveniente do solo, é essencial que medidas sejam tomadas para evitar que a água passe pela fundação e alcance a estrutura de madeira. Um meio para diminuir o acúmulo de água no solo é aplicar aterro granular, acima deste, dispor um solo menos permeável e regulariza-lo. No solo aplicar um *primer* e ainda durante o aterro é possível aplicar uma manta geotêxtil, um cano com pequenos furos para auxiliarem na drenagem do solo, sendo possível também a aplicação de manta asfáltica e filme de polietileno. Após a fundação realizada ainda é feita a impermeabilização da superfície da mesma por meio de materiais betuminosos antes de ser ancorada a soleira (similar a impermeabilização da viga baldrame que é realizada antes do assentamento dos blocos cerâmicos). Além das medidas já ditas, também é recomendado que os pisos externos sejam feitos com inclinação oposta à direção das paredes e respeitar um afastamento mínimo, pré-estabelecido pelo código de obras americano, entre o piso acabado e a estrutura de madeira. (ESPINDOLA, 2017). Estes aspectos e detalhes da construção do *radier* são representados pela figura 12.

Figura 11: Construção de fundação em radier



Fonte: Moreira e Soldera (2016, p. 20)

Figura 12: Corte de detalhes da construção de fundação em radier



Fonte: Espindola (2017, p. 118)

Segundo Moreira e Soldara (2016), no Sistema Construtivo Tecverde, quando os terrenos são mais acidentados ou com solo de baixa resistência, a fundação é definida a partir da análise do solo e planta topográfica, podendo ser realizadas soluções como: estacas, blocos, vigas baldrame, sapatas corridas, entre outras, contanto que a superfície da fundação seja homogênea, lisa e nivelada para receber os painéis de parede.

Existe ainda a técnica do *basement wall* que são estruturas de paredes subterrâneas que formam compartimentos abaixo do nível do solo com cerca de 60cm de altura, geralmente feitos de concreto mas também podendo ser realizados em madeira, é muito utilizada pelos norte-americanos, pois em países que possuem um inverno rigoroso é eficaz no aumento de temperatura das casas, pelo mesmo motivo são uma ótima opção para regiões mais quentes do Brasil, pois nestes casos a *basement wall* também otimiza o conforto térmico. Ela pode ser uma opção rápida e econômica visto que são utilizadas vigas de madeira para a distribuição das cargas ao invés de concentrá-las (MOLINA; CALIL JR., 2010). Na figura 13a são mostrados os arranques de aço onde se encaixam os painéis de parede e na figura 13b as vigas que se apoiam sobre o *basement*.

Figura 13: Basement wall: (a) arranques de aço; (b) Vigas apoiadas sobre o basement



(a) (b)
Fonte: Molina; Calil Jr. (2010, p.148)

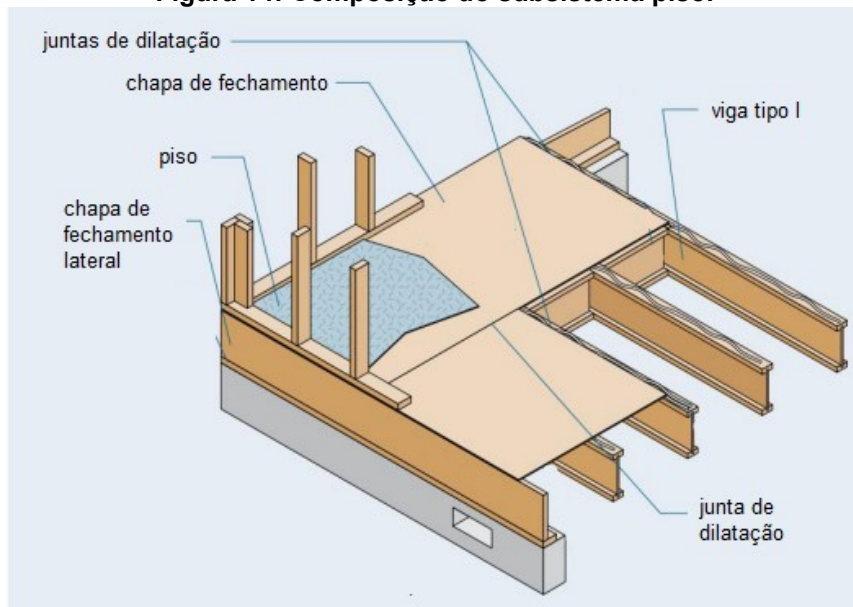
4.3.2.3 Pisos

Nos pisos das construções em *wood frame* são empregadas chapas de OSB (Oriented Strand Board) que são painéis utilizados e desenvolvidos para suprir a resistência mecânica para fins estruturais das edificações, diferentemente das chapas de madeira aglomerada e MDF que não possuem essa propriedade. Estas chapas são produzidas a partir da madeira de florestas plantadas, nesta fabricação as toras são descascadas e cortadas em tiras ao longo da fibra da madeira, depois elas são secas e misturadas com resinas de colagem à prova d'água, emulsão parafínica e anti-cupins, em seguida a composição é utilizada para criar as camadas orientadas que formam um colchão que vai para uma prensa de alta temperatura e pressão onde são fabricados os painéis e, logo após, estes são cortados. (LP BRASIL, 2016, apud MOREIRA; SOLDERA, 2016).

As placas de OSB que servem como contrapiso são apoiadas sobre vigas de madeira que possuem seções retangulares ou em I, estas são pré-fabricadas com mesas de madeira serrada e possuem alma de OSB coladas com resinas estruturais. As vigas em I são eficientes neste caso, pois possuem peso menor e maior resistência aos esforços de flexão advindos das cargas permanentes e acidentais. O *deck* formado por esta composição estrutural é geralmente revestido por carpetes ou pisos engenheirados com manta intermediária que proporciona um melhor isolamento acústico. No caso das áreas molhadas são utilizadas chapas cimentícias coladas que ficam diretamente sobre o contrapiso de OSB, elas são impermeabilizadas por meio de uma pintura com membrana acrílica impermeável, as juntas entre as chapas são preenchidas com fibra de vidro que atua como estruturante e por fim são aplicados os

pisos frios com argamassa colante. Existem casos em que também pode ser utilizado nas áreas úmidas chapas de compensado naval e impermeabilizantes à base de mamona ao invés de chapas cimentícias. Este conjunto, demonstrado na figura 14, pode ser tanto apoiado sobre uma estrutura de fundação, quando se trata do pavimento térreo, quanto sobre painéis de parede no caso de edificações com mais de um pavimento. (MOLINA; CALIL JR., 2010).

Figura 14: Composição do subsistema piso.



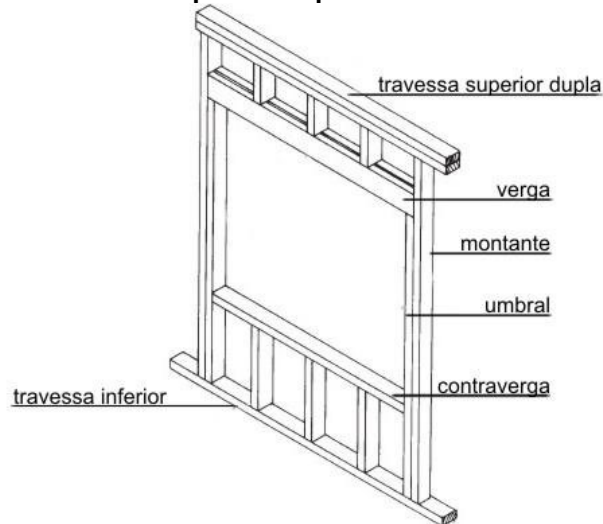
Fonte: Adaptado de APA (2019, p. 46)

4.3.2.4 Paredes

Os painéis de parede do *wood frame* são formados por uma ossatura de madeira maciça, no caso do sistema construtivo Tecverde, estas são autoclavadas e proveniente de florestas plantadas de *Pinus sp.*, com classe estrutural C25 conforme a norma brasileira NBR 7190, com tratamento à base de CAA seguindo as normas NBR7190 e NBR16143 (MOREIRA; SOLDERA, 2016). Esta ossatura é composta por montantes, travessas (inferiores e superiores) e as vergas e contravergas das esquadrias como demonstra a figura 15. Em conjunto às madeiras maciças estão as chapas de fechamento (*sheating*), geralmente de OSB, e os revestimentos internos e externos (VELLOSO, 2010). As ligações entre as peças estruturais são realizadas por meio de pregos, geralmente do tipo ardox ou anelados, pois dificultam o arrancamento de madeiras macias como o Pinus, e eles devem se galvanizados para que tenham

uma vida de serviço longa. Também é possível a utilização de grampos para a fixação entre os elementos que compõem o painel, como acontece no Chile. (MOLINA; CALIL JR., 2010).

Figura 15: Ossatura do painel de parede com abertura de janela



Fonte: Velloso (2010, p.49)

Sobre as chapas de OSB são aplicados revestimentos, onde normalmente são usadas placas cimentícias externamente e chapas de gesso internamente, sobre estas podem ser utilizados diversos tipos de acabamento como: pintura, grafiato, cerâmicas, porcelanatos, pastilhas, pedras, etc. (MOREIRA; SOLDERA, 2016). Segundo Molina e Calil Jr. (2010), em áreas molhadas, como banheiros e cozinhas, é empregado o uso de placas cimentícias conjuntamente à um selador acrílico anti-fungo e pintura de resina acrílica pura, sendo possível utilizar também placas de gesso acartonado revestidas com azulejos. Na parte externa, antes do revestimento, devem ser aplicadas membranas hidrófugas, ilustradas na figura 16, que geralmente são aplicadas durante o processo fabril, pois evitam que a umidade chegue até às chapas. Em seguida as placas cimentícias, ou os revestimentos *sidings*, podem ser colocadas diretamente sobre a superfície da membrana ou fixadas sobre ripas, neste caso, cria-se uma camada de ar que ventila a parede e salvaguarda-a da umidade do meio externo (SILVA, 2018). Na figura 17 são apresentados dois exemplos de painéis de parede do sistema construtivo *wood frame* realizado pela empresa Tecverde.

Figura 16: Membrana hidrófuga: (a) sendo colocada sobre painel; (b) painel montado com parte de chapeamento cimentício



Fonte: Moreira; Soldera, (2016, p. 18)

Figura 17: Painéis Estruturais Tecverde do tipo Parede



Fonte: Moreira e Soldera (2016, p. 15)

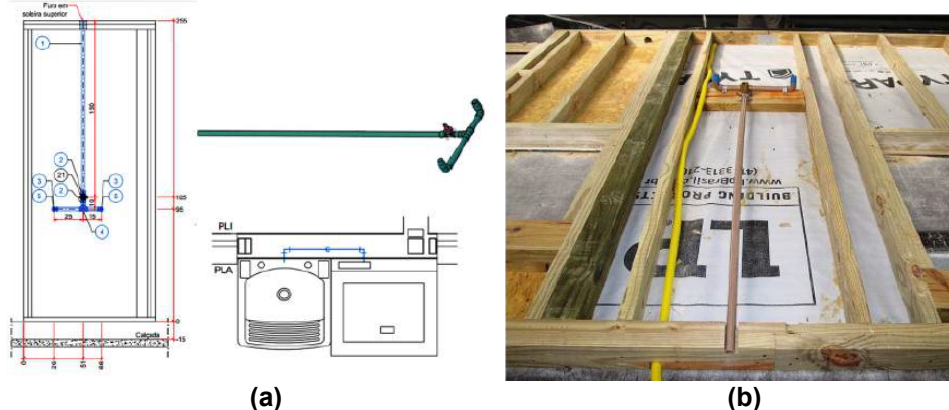
Segundo Velloso (2010), as paredes no *wood frame* possuem a responsabilidade de suportar as cargas verticais dos subsistemas de entepiso e cobertura, realizando a transferências destas cargas à fundação, inclusive recebe as cargas horizontais (furacões e terremotos), sendo importante neste âmbito o contraventamento por meio das chapas de OSB que são mais eficientes e resistentes do que diagonais de contraventamento na ossatura, oferecem proteção superior em relação à intempéries e maior incomplexidade na montagem. O comportamento das estruturas no *wood frame* é mais eficiente do que na alvenaria estrutural em peso, resistência, conforto térmico e acústico, e ainda, cada peça do conjunto recebe esforços de diferentes naturezas combinado com outros elementos, fazendo com que as estruturas em *wood frame* apresentem redundância e hiperestaticidade. (MOLINA; CALIL JR., 2010). Sobre propriedades físicas, mecânicas e construtivas do sistema *wood frame*, Molina e Calil Jr. (2010) apontam que:

Devido à rigidez das paredes e pisos nos seus planos o *wood frame* tem grande capacidade de resistir aos esforços de vento. Com os esforços horizontais, a parede frontal ao vento é solicitada perpendicularmente ao seu plano, resultando em esforços de flexão nos montantes e chapas de OSB. Essa parede transfere os esforços para os pisos superior e inferior que receberão esses esforços como carga distribuída. Admite-se, neste caso, por simplificação, o piso como sendo uma viga horizontal submetida ao esforço de flexão transferido pela parede. A cortante que surge nesta viga deve ser resistida pelo conjunto formado pelas chapas de OSB e as vigas que compõem o piso. A ligação entre esses elementos é definida em função dessa cortante. Essa viga horizontal de piso distribui as cargas nas paredes laterais que deverão ser dimensionadas pelo cisalhamento e por isso são chamadas de *shear wall*. (Molina; Calil Jr., 2010, p. 149).

Segundo Moreira e Soldera (2016), as instalações hidrossanitárias são embutidas entre os montantes das paredes, entre o forro e os barrote do entrepiso ou na cobertura durante o processo produtivo, sendo realizada em tubos de PVC. As instalações de esgoto, por serem de diâmetro maiores, não podem ser colocadas dentro dos painéis de parede, então são utilizados *shafts* para tais tubulações. Na figura 18 é possível observar detalhes de uma instalação hidrossanitária.

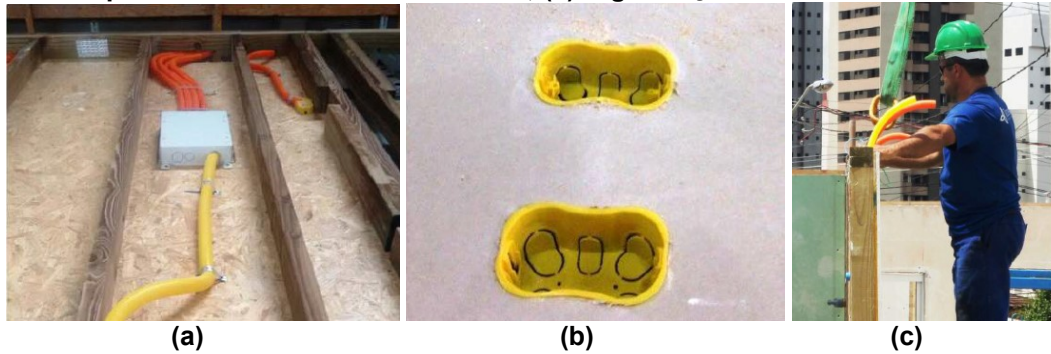
No caso das instalações elétricas, assim como nas obras convencionais, a fiação percorre dentro dos conduítes, com o projeto elétrico pronto, os furos são realizados nas soleiras conforme projetado e os conduítes são fixados no interior das paredes durante o processo fabril, após isso, as paredes são fechadas com OSB e revestidas internamente com a placa escolhida e, por fim, no canteiro de obras, os conduítes são fixados sobre o . (MOREIRA; SOLDERA, 2016). Parte dos processos das instalações elétricas podem ser vistos na figura 19.

Figura 18: Instalações hidráulicas: (a) Detalhes do kit hidráulico; (b) Kit hidráulico instalado



Fonte: Adaptado de Moreira e Soldera (2016, p. 28)

Figura 19: Instalações elétricas: (a) conduítes e quadro de distribuição; (b) caixa elétrica na parede com revestimento interno; (c) organização dos conduítes



Fonte: Adaptado de Moreira e Soldara (2016, p. 28)

Os painéis são enviados já prontos para o canteiro de obras, com instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas, faltando apenas o acabamento final, isso acarreta diversos benefícios: tempo de obra reduzido, controle de qualidade dentro do ambiente fabril, redução na quantidade de insumos transportados até a obra facilitando o processo logístico, redução nos riscos em relação aos prazos, já que, a construção é menos sujeita à intempéries e diminuição da mão de obra no canteiro, que também diminui custos no caso de habitações de interesse social que em geral são feitas em lugares mais isolados. A figura 20 ilustra um painel fechado durante a montagem da edificação.

Figura 20: Painéis içados para a montagem da edificação no canteiro de obras



Fonte: Fonte: Moreira; Soldara, (2016, p. 22)

4.3.2.5 Cobertura

A forma mais usual de se construir as coberturas no sistema *wood frame* acontece com o emprego de treliças pré-fabricadas que podem seguir a modulação

dos montantes dos painéis de parede, ou ainda, conseguem atingir espaçamentos maiores (SILVA, 2018), segundo Path (2000, apud Velloso, 2010), este espaçamento costuma estar entre 60cm e 120cm. A autora descreve que as seções das peças das treliças dependem do vão que se procura obter, visto que, elas são projetadas para que não haja necessidade de apoio intermediário da estrutura. Essas peças são pregadas por meio de conectores metálicos estampados (chapas-prego), como demonstra a figura 21.

As treliças pré-fabricadas podem ser manejadas e erguidas pelos próprios colaboradores durante o processo de montagem devido ao seu baixo peso, entretanto, em casos onde as treliças são projetadas para vencerem vãos maiores, faz-se necessário o uso de guindastes telescópicos acoplado (VELLOSO, 2010), como ilustra a figura 22. A autora acrescenta que este tipo de cobertura permite espaçamentos maiores entre as peças quando comparada com o sistema tradicional, proporcionando agilidade e redução de custos, segundo Thallon (2000, apud Velloso, 2010), para o dimensionamento das chapas de OSB utilizadas no contraventamento da composição do telhado, e a autora explica: “os espaçamentos entre as peças que compõe a ossatura devem ser de frações das dimensões das chapas para que as mesmas possam ser pregadas em toda a sua periferia” (Velloso, 2010, p. 53). O ideal é que as chapas da cobertura fiquem com sua maior dimensão perpendicular às treliças ou caibros. Por fim a fixação das treliças às paredes é realizada por meio de pregos cravados em ângulo e feito reforço com conectores metálicos, unindo o banzo inferior da treliça à travessa superior do painel de parede.

Figura 21: Treliças pré-fabricadas com chapas-prego



Fonte: Velloso (2010, p. 53)

Figura 22: Treliças pré-fabricadas de grande porte utilizando equipamentos para montagem



Fonte: Velloso (2010, p. 53)

Este tipo de cobertura pode reduzir até 40% do peso da estrutura de telhado devido as seções menores dos elementos que a compõem e também possui capacidade de receber diversos tipos de telhas. Quando se pretende utilizar telhas do tipo *shingle* é necessário um *deck* de OSB em cima das treliças para servir como base, porém em casos de telhas cerâmicas, metálicas, fibrocimento e asfálticas, são utilizadas ripas conjuntamente à uma manta de sobcobertura acima das treliças, essa é essencial para o garantir a estanqueidade. (MOLINA; CALIL JR., 2010).

4.3.3 Versatilidade

A arquitetura do *wood frame* possui uma variedade de formas, diferentemente do que é pensado por grande parte das pessoas quando se fala de obras em madeira no Brasil. No país existem diversas edificações que variam de padrão (baixo, médio e alto), arquitetura e tamanho. Segundo Bianchi (2016, p. 90), o diretor de engenharia e socio da empresa Tecverde, Pedro Moreira, salienta que: “qualquer projeto pode ser adaptado para o *wood frame*, desde que possua até quatro pavimentos, esse é o limite para a tecnologia disponível no Brasil”.

Os exemplos a seguir são construções em *wood frame* realizadas pela empresa Tecverde, pioneira no Brasil neste setor, a figura 23 mostra o primeiro prédio em *wood frame* no Brasil, realizado pelo programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Araucária no Paraná, com 3 pavimentos e montado em 64 horas. Na figura 24 é possível ver o Residencial Dardanelos que possui 161 residências, chegando à marca de produção de 15 casas semanais. Na figura 25 estão dispostas obras hospitalares, sendo a figura 25a uma parte dos 6 centros de atendimento médico com mais de 300 leitos realizados no enfrentamento ao covid-19, cada um deles levou em média 33

dias para serem executados, e a figura 25b o hospital de Retaguarda com 1500m² e finalizado em 36 dias. Além da variedade de pavimentos, tamanhos e funcionalidades, as edificações em *wood frame* também possuem uma variedade arquitetônica como ilustra a figura 26 com construções residenciais também realizadas pela empresa Tecverde Engenharia, sendo elas: a casa Amelie com 240m² (figura 26a) e a casa Villa com 208m² (figura 26b). (TECVERDE, 2021).

Figura 23: Primeiro prédio em wood frame no Brasil



Fonte: Tecverde (2021)

Figura 24: Residencial Dardanelos



Fonte: Tecverde (2021)

Figura 25: Obras hospitalares: (a) Centro de atendimento médico; (b) Hospital de Retaguarda



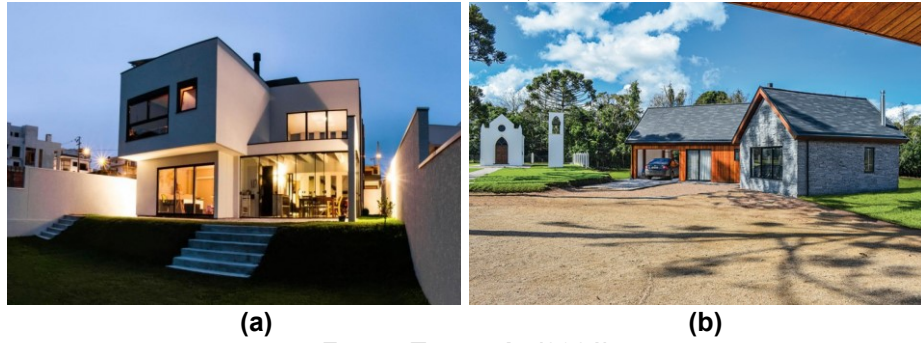
(a)



(b)

Fonte: Tecverde (2021)

Figura 26: Variedade arquitetônica de obras residenciais em wood frame: (a) Casa Amelie; (b) Casa Villa;



Fonte: Tecverde (2021)

4.3.4 Aspectos ambientais do sistema *Wood Frame*

O Brasil é uma terra produtiva e abundante em madeira, o clima propício e a grande extensão do território fazem com que o país tenha uma disponibilidade ampla desta matéria-prima.

Como já visto, a madeira além de ser um material natural e renovável tem a capacidade de reter dióxido de carbono em seu lenho durante todo o seu uso, portanto, não o libera no meio ambiente (RAMOS, 2019). O *wood frame* contribui neste aspecto visto que utiliza em geral pinus e eucalipto, madeiras de reflorestamento e rápido crescimento (MOLINA; CALIL JR., 2010), logo, este sistema permite a perpetuidade de espécies e o equilíbrio ambiental (ESPINDOLA, 2017), além da produção de oxigênio advinda das florestas plantadas.

Outras características construtivas que corroboram com a preservação do meio ambiente são: a dispensabilidade de aditivos poluentes em sua fabricação por ser um produto natural, o reuso, pois pode ser desmontada e reutilizada em outras construções, fabricação de moveis, etc., utiliza pouca energia durante o processo de construção e se enquadra nos princípios de construções enxutas, ou seja, a água utilizada no sistema é muito menor comparada com outros sistemas como o tradicional (ESPINDOLA, 2017), além disso cerca de 75% das edificações são produzidas em fábrica o que aumenta a precisão e qualidade, diminui o tempo no canteiro e reduz a produção de entulhos. (BIANCHI, 2016).

Como já foi explorado no trabalho, a madeira, também, quando comparada aos materiais mais usados como aço e concreto, possui um baixo consumo energético durante sua vida e seu ciclo de produção, entretanto esses não são os únicos

aspectos que devem ser observados quando se fala de vantagens ambientais. É importante saber a procedência da madeira utilizada, ou seja, se a mesma é certificada ou não, se as florestas em que estas madeiras estão sendo cultivadas são manejadas corretamente, ter controle sobre a idade e espécie da madeira visto que estas características influenciam diretamente o comportamento físico e mecânico do material, ter ciência de que a secagem pela qual a madeira passa precisa ocorrer da maneira correta, conhecer quais os tratamentos preservativos utilizados, entre outros aspectos. Já existem pesquisas e estudos sobre alguns destes aspectos como os preservativos de Cobre (que fazem mal à natureza e humanidade no momento de descarte) sendo substituídos por de Boro (VELLOSO, 2010), portanto a implementação do sistema favorece também à fiscalização da matéria prima e todo seu processo de fabricação.

Um exemplo de casa em *wood frame* integrando sustentabilidade e construção é apresentada pela figura 27. Esta casa foi realizada pela empresa Tecverde e projetada para receber alta incidência de luz solar, sendo complementada nos ambientes necessários por iluminação de LED, também foi planejada para captar luz solar e água da chuva para seu abastecimento. Possui 390m² e foi executada em apenas 10 meses, sendo que, caso fosse projetada no sistema convencional de alvenaria, levaria cerca de 2 anos para ser finalizada. (BIANCHI, 2016).

Figura 27: Casa executada em wood frame pela empresa Tecverde



Fonte: Bianchi (2016, p. 90)

Em um comparativo realizado por Bianchi (2016), entre a sustentabilidade do *wood frame* e *steel frame*, é ressaltado que este possui uma vantagem quanto ao *wood frame* devido ao fato de que o aço pode ser reciclável de forma diversificada, sendo montado e desmontado diversas vezes e produzido em qualquer tamanho ou forma, já a madeira, apesar de reutilizável, possui limitações quanto ao tamanho devido à dimensão das toras, entretanto há o contraponto de que a madeira é uma matéria-prima renovável e sustentável, sobretudo quando se trata de espécies certificadas proveniente de manejo florestal.

Como o método de construção convencional no Brasil é a alvenaria, se faz necessária a comparação destes dois métodos, principalmente nas questões ambientais, visto que, como já dito, existe grande preconceito com as construções em madeira, e um destes se refere à exploração da madeira ser indiferente ao meio ambiente e exploratória. Por conta destas concepções errôneas e pela falta de conhecimento a respeito das consequências ambientais geradas pelos métodos construtivos, são apresentados pelos quadros 1, 2 e 3, comparativos entre alvenaria e *wood frame* levando em consideração os impactos ambientais que ambos geram à natureza.

Quadro 1: Impactos ambientais significativos e não significativos da alvenaria: tijolo e argamassa para conexão de tijolos

Etapas	Consumo energético	Emissões atmosféricas e ruídos	Consumo de recursos hídricos	Geração de resíduos
Extração de matéria prima e fabricação de materiais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel maquinário de exploração → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tijolo e argamassa para conexão de tijolos: liberação de gases durante a mineração de matérias primas antes retidos nas jazidas → significativo. ▪ Ruídos do maquinário → significativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavagem dos veículos, coadjuvante na extração → significativo pois ocorre sempre que os veículos deixam o parque de extração na mineração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tijolo: cerâmica não adequada para compor massa do tijolo → significativo. ▪ Areia, cimento e cal: matéria prima não adequada para compor mistura da argamassa para conexão de tijolos → significativo.
Fabricação de produtos (indústria)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Queima para cura do tijolo → significativo; ▪ Queima para produção do clínquer → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tijolo e componentes da argamassa para conexão de tijolos (cimento e cal): emissões geradas nas caldeiras → significativo ▪ Ruídos do maquinário → significativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tijolo: para compor massa antes da cura → significativo ▪ Argamassa para conexão de tijolos: para dar o traço entre areia, cimento e cal → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdas do processo (tijolo: quebras; argamassa para conexão de tijolos: endurecimento) → significativo com possibilidade de redução.
Embalagem	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
Uso/ reuso/ manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Significativo: em construções em WLF há maior economia de energia por melhor isolamento térmico 	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
Descarte/ reciclagem/ tratamento	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não aplicável.
Transportes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel maquinário → significativo: entre todas as etapas do ciclo de vida do tijolo e da argamassa para conexão de tijolos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emissões da queima do diesel → significativo; ▪ Ruídos caminhões → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavagem dos veículos → significativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção dos caminhões e perdas durante transporte → significativo

Fonte: Santos (2012, p. 67)

Quadro 2: Aspectos ambientais do sistema construtivo em WLF: Pinus, OSB, lã de PET, lã de vidro, membrana hidrófuga, placa cimentícia, gesso acartonado

Etapas	Consumo energético	Emissões atmosféricas e ruídos	Consumo de recursos hídricos	Geração de resíduos
Extração de matéria prima e fabricação de materiais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel maquinário de exploração → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrutura em Pinus e OSB: como há seqüestro de carbono durante a silvicultura do Pinus, a emissão atmosférica é negativa; ▪ Ruídos do maquinário para extração das matérias primas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavagem dos veículos → menos significativo do que na alvenaria. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrutura em Pinus e OSB
Fabricação de produtos (indústria)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel, energia elétrica e sistema pneumático → significativo; ▪ Queima para cura da placa cimentícia → significativo; ▪ Combustível para secagem do gesso → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emissões geradas nas caldeiras → significativo; ▪ Ruídos do maquinário → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agregado na produção de placa cimentícia e gesso acartonado → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdas do processo → significativo com possibilidade de redução. ▪ Madeira em densidade e características técnicas não adequadas para uso na fabricação de tábuas de pinus e placas OSB → significativo.
Embalagem	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*
Uso/ reuso/ manutenção	Não significativo*	Não significativo*	Não significativo*	Placa cimentícia e gesso acartonado podem ser substituídos caso ocorram trincas ou por decisão do usuário → Não significativo*
Descarte/ reciclagem/ tratamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel ou energia elétrica trituradores OSB → significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emissão de substâncias perigosas durante a queima do Pinus por causa do CCA → significativo, tratável. 	Não significativo*	Não aplicável.
Transportes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diesel maquinário → significativo: entre todas as etapas do ciclo de vida do tijolo e da argamassa para conexão de tijolos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emissões da queima do diesel → significativo; ▪ Ruídos caminhões → significativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavagem dos veículos → significativo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção dos caminhões e perdas durante transporte → significativo

Fonte: Santos (2012, p. 69)

Quadro 3: Análise comparativa entre os sistemas construtivos: alvenaria convencional e wood frame

Aspecto	Sistema construtivo em alvenaria com tijolos cerâmicos	sistema construtivo em WLF
Mineração	Amplas áreas de exploração, alteração da paisagem, biodiversidade e microclima (muitas vezes tornando o local temporariamente inóspito grande quantidade de espécies vegetais e animais	Também há amplas áreas de cultivo, mas a alteração da paisagem é menos significativa e a alteração da biodiversidade local existe pela redução da diversidade de espécies animais e vegetais, mas não torna o ambiente inóspito.
Fabricação	Altos impactos pela queima necessária durante processos produtivos	Não existe queima durante o processo produtivo, mas há significativo impacto ambiental uma vez que o rendimento da produção de pinus é baixa em razão dos parâmetros a serem seguidos para assegurar uso para fins estruturais. Por outro lado, há menor desperdício durante a fabricação de painéis e a eficiência de produção é maior.
Embalagem	Existem poucas diferenças no processo de embalagem dos materiais, levando em consideração que são utilizados recursos recicláveis ou reutilizáveis, o que traduz a fase como de baixo impacto ambiental.	
Construção/ montagem	Há grandes impactos uma vez que os materiais que vão compor as diferentes peças da edificação (paredes, laje, fundações, etc) são utilizadas no local, o que significa maior geração de resíduos e maior tempo de duração desta fase do que no sistema construtivo em WLF.	Menores impactos por se tratar de um processo construtivo no formato montagem: a maioria das peças já vem prontas e corretamente dimensionadas de fábrica e são necessários poucos ajustes no local da edificação, em sua maior parte durante o acabamento (aspecto não incluído na avaliação de impactos).
Manutenção/ utilização	Sobre o aspecto de manutenção, não há significativas diferenças de impacto entre os dois sistemas construtivos por se tratar de trocas por componentes novos, o que remete uma extrapolação do escopo avaliado neste trabalho,.	
Manutenção/ utilização	Em relação ao processo construtivo em WLF, a alvenaria mostra desvantagens principalmente no quesito de isolamento térmico, o que reflete em maior consumo de energia durante a utilização da edificação, e, conseqüentemente, impacto ambiental significativo durante o ciclo da construção.	Neste sistema construtivo há menor consumo de energia, recursos hídricos e também na geração de resíduos durante a utilização,
Desmontagem	Há menor impacto ambiental quando opta-se pela desmontagem ao invés da demolição, mas isto não é praticado e as construções não são executadas prevendo uma desmontagem ao invés de demolição. Isto torna, neste aspecto, este tipo de construção mais impactante do que a em WLF	Este sistema construtivo leva vantagem porque é possível reutilizar o painel como um todo ou seus componentes em outro local, com exceção da estrutura em que possui CCA na composição, material perigoso que obriga o empreendedor a encaminhar a peça para incineração.
Transportes	São fonte significativa de impactos ambientais, especialmente por causa das emissões atmosféricas, fator que não altera significativamente entre os sistemas construtivos. No entanto, há grande potencial de diminuição de emissões no transporte de componentes de WLF na medida em que houver fabricação em larga escala: quando maior as quantidades transportadas, menor o impacto por unidade.	

Fonte: Santos (2012, p. 70)

4.3.5 Desenvolvimento da construção civil por meio do *wood frame*

Dentre as qualidades do método está o aprimoramento das técnicas construtivas no Brasil, que até então, possuem predominância de trabalhos artesanais. O sistema *wood frame*, gera construções produzidas industrialmente, proporcionando racionalização, qualidade do produto, produtividade e obras limpas e secas, sendo esta, uma grande vantagem, visto que os grandes centros urbanos possuem escassez de água. (ESPINDOLA, 2017).

As obras realizadas por meio deste sistema possuem um melhor emprego de materiais adequados para o isolamento acústico e térmico, produzindo casas confortáveis (MOLINA; CALIL JR., 2010), além de um sistema industrializado provocar uma melhor qualidade de trabalho aos colaboradores e maior facilidade em realizar mudanças ou reformas em obras já concluídas. (RAMOS, 2019).

Por se destacar em qualidade devido à produção fabril das peças, pela rapidez comparado com o método construtivo habitual do país (alvenaria) e por sua capacidade de construir empreendimentos em maior escala e padronizados, o sistema é de grande valia no empenho em superar o déficit habitacional do Brasil, principalmente quando aplicado aos programas nacionais para construções de habitações sociais. (ESPINDOLA, 2017).

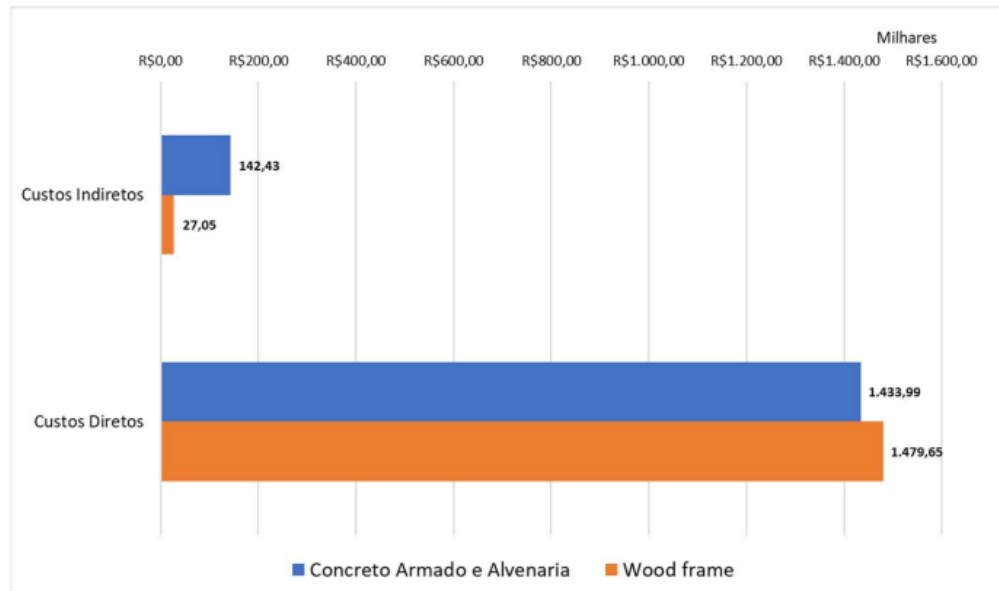
A otimização das casas em *wood frame* é superior à alvenaria tradicional, por exemplo, a compatibilização dos projetos é elevada quando comparado com o sistema tradicional, o controle sobre o projeto e seus detalhes diminui as margens de erros orçamentários e em listas de materiais e quantidade. Outra vantagem do método é a facilidade no processo de passagem e manutenção de instalações elétricas, de gás, hidrossanitárias, ar condicionado e etc. (BIANCHI, 2016).

O sistema construtivo *wood frame* não favorece somente o setor da construção civil, mas também impulsiona todos os setores ligados à indústria madeireira e seus derivados. O desenvolvimento tecnológico deste sistema incentiva o aumento do uso da madeira no país, promove a fiscalização e normalização dos produtos, gera edificações de qualidade, atendendo à demanda de moradias brasileiras com rapidez, possui custo competitivo e obras realizadas em uma escala maior. Em 2012 as indústrias ligadas à madeira processada e de base florestal foram responsáveis por 2,5% dos empregos gerados no país além de alcançarem um superávit de 43,5%. (ABDI, 2015).

4.3.6 Comparativo entre métodos construtivos

Segundo Viana (2020), em um comparativo de custos, entre *wood frame* e o concreto armado para um edifício de 3 andares com padrão de acabamento médio e valores cotados na cidade de São Paulo, utilizando BIM 5D, foi apresentado que o sistema construtivo de madeira reduziu em 4,4% o custo total da edificação, sendo um indicativo de que a ampliação do uso do sistema no Brasil deve ser fomentada. Este resultado se deve principalmente aos valores indiretos da obra, além de demonstrar que o tempo de execução de uma edificação é um fator de relevância para o orçamento final da mesma como ilustra o gráfico 1.

Gráfico 1: Comparativo de custos diretos e indiretos de construção para os sistemas construtivos analisados



Fonte: Viana (2020, p. 75)

Foram realizadas por Spaniol (2018), outras comparações, entre elas está a diferença de horas necessárias para o levantamento da alvenaria e montagem dos painéis de parede do *wood frame*, esta etapa obteve a maior diferença nos custos de serviços e o gráfico 2 demonstra que a discrepância, entre o tempo gasto nesta fase da obra em cada sistema, é considerável. Outra comparação realizada foi a de condutibilidade térmica, cujo resultado pode ser analisado no gráfico 3a, demonstrando que o *wood frame* possui um melhor desempenho térmico visto que sua condutibilidade é menor e assim menos calor é transferido para o ambiente interno, e no gráfico 3b onde o *wood frame* também é o que retêm mais o calor,

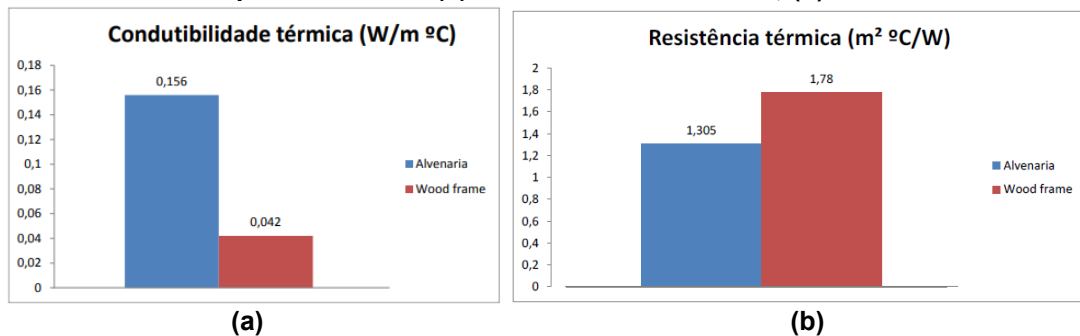
apresentando novamente um melhor desempenho térmico. Por fim, quando equiparados os isolamentos acústicos, ambos atendem os níveis de ruídos aceitáveis pela NBR 10152:1987, sendo que a alvenaria apresenta um CTSA (Classe de Transmissão de Som Áereo) de 44dB, e o *wood frame* um CTSA de 45dB, sendo este realizado com um painel de 90mm de espessura, revestido com duas placas de gesso acartonado de 12,5mm e isolamento realizado com lã de vidro com 75mm de espessura, já a alvenaria foi considerada uma parede de blocos cerâmicos de 175mm de espessura.

Gráfico 2: Horas necessárias para o levantamento da parede pelos dois sistemas



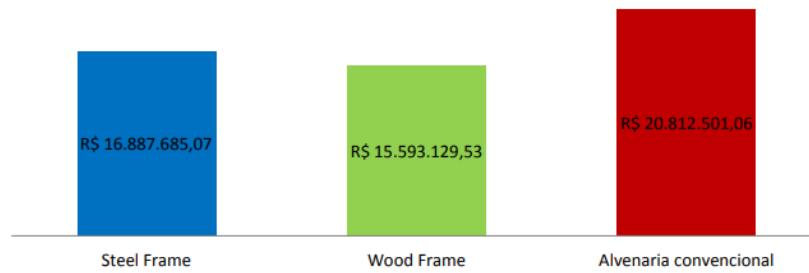
Fonte: Spaniol (2018, p. 62)

Gráfico 3: Desempenho térmico: (a) condutibilidade térmica; (b) resistência térmica



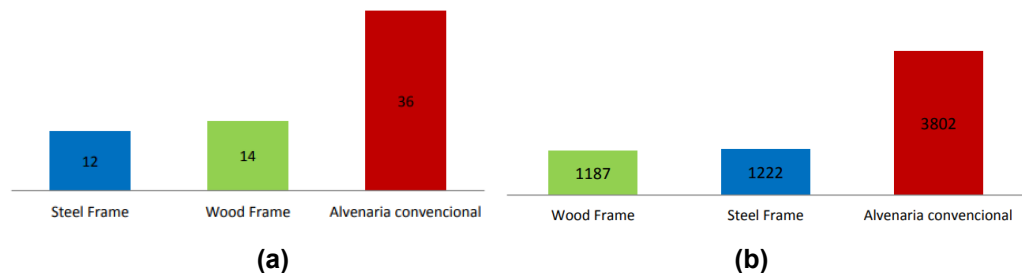
Fonte: Spaniol (2018, p. 64)

Em outro comparativo realizado por Ecker e Martins (2014), entre *wood frame*, *steel frame* e alvenaria convencional, sobre o mesmo projeto de casa popular, realizando um conjunto habitacional com 339 casas, o resultado obtido dos custos totais das edificações é exemplificado pelo gráfico 4.

Gráfico 4: Custo total para a construção de 339 residências

Fonte: Ecker e Martins (2014, p. 81)

Os autores também equipararam quanto tempo (em meses) cada sistema demoraria para finalizar a obra do conjunto habitacional como ilustra o gráfico 5a e a quantidade necessária de trabalhadores para que a obra, em cada método, fosse realizada no prazo de 12 meses, por meio do software MS Project, e o resultado obtido é representado pelo gráfico 5b.

Gráfico 5: Comparação entre LSF, LWF e alvenaria: (a) tempo de finalização; (b) quantidade de trabalhadores para finalização em 12 meses

(a)

(b)

Fonte: Ecker e Martins (2014, p. 75-76)

Segundo Bianchi (2016), o diretor de engenharia e socio da empresa Tecverde, Pedro Moreira, e o arquiteto da Atos Arquitetura, João Paulo, comparam o *steel frame* e *wood frame* e ressaltam:

“O *wood frame* é mais ecológico e gera maior conforto térmico e acústico. Também oferece mais resistência contra incêndio, pois a madeira é isolante e resiste a altas temperaturas”, defende Pedro Moreira, diretor de engenharia e sócio da Tecverde, que contabiliza mais de 100 mil m² construídos com esse sistema no país. Outro diferencial relevante, segundo João Paulo, “é a maior facilidade para comprar madeira do que aço no Brasil. A mão de obra também é mais acessível para o material”. O tempo de obra, no entanto, é o mesmo. (BIANCHI, 2016, p. 90).

4.3.7 Ponderações em relação ao *Wood Frame*

Segundo Molina e Calil Jr. (2010), apesar do preconceito relacionado à incêndios em obras de madeira influenciado por construções antigas onde não havia materiais retardantes, pinturas intumescentes e aditivos antichama, atualmente, além destes materiais, sabe-se que as peças estruturais de madeira carbonizam primeiramente em seu perímetro externo deixando seu interior intacto, fornecendo assim tempo para a evacuação de pessoas da edificação.

Outra vertente da falta de informação a respeito das construções em *wood frame*, é o pensamento de que um sistema industrializado é obrigatoriamente padronizado. O *wood frame* é uma opção tanto para construções de casas populares quanto para obras de alto padrão, sendo limitado, até então, apenas na sua quantidade de pavimentos. (MOLINA; CALIL JR., 2010).

As maiores desvantagens encontradas no sistema construtivo *wood frame* estão mais atreladas ao desenvolvimento construtivo do país do que ao método. Por ser um sistema industrial e projetado com especificações e detalhes, é necessária qualidade na mão de obra, algo ainda não abundante no Brasil. Outro fator prejudicial, por falta de infraestrutura, é a escassez de fornecedores e o tratamento qualificado da madeira, voltado para as características específicas que cada obra exige. Por fim, as construções em madeira, em especial o *wood frame*, não são tecnologias e conhecimentos aos quais profissionais da área (engenheiros e arquitetos) tem acesso em todos os cursos, e poucos destes são especializados na área. (RAMOS, 2019).

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

O método utilizado é a pesquisa bibliográfica, realizada por meio de referências teóricas já publicadas a respeito do tema selecionado, buscou-se informações e conhecimentos com finalidade de aprofundamento na temática e colhimento de material importante para o assunto.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas a partir de artigos, livros, teses, dissertações, monografias e notícias.

Efetuu-se levantamento bibliográfico sobre: os impactos ambientais que a construção civil ocasiona, como o desenvolvimento sustentável pode mitigar estes problemas e sua influência sobre a evolução dos sistemas construtivos.

Além disso, foram analisadas as características e história das construções em madeira, bem como as propriedades físicas e mecânicas desta matéria-prima, também como o sistema construtivo *wood frame* surgiu e evoluiu, suas características, como interage com a progressão do setor de construção civil e com a sustentabilidade do meio ambiente.

Logo, ocorreu nesta pesquisa, uma compilação de dados a fim de apresentar informações e conhecimentos pertinentes ao tema, levando a um aprofundamento, inclusive, auxiliando a expansão da compreensão a respeito das vantagens do *wood frame*, suas características e seu potencial em relação às construções sustentáveis e preservação do meio ambiente.

6 CONCLUSÃO

Como resultado desta pesquisa bibliográfica conclui-se que o Planeta Terra tem apresentado diversos sintomas dos impactos que a humanidade tem provocado, sendo o setor da construção civil um dos originadores destas degradações ambientais. É necessário que esse haja de forma responsável em relação à natureza, buscando e aplicando formas mais sustentáveis de produzir.

Diante destes fatos, a partir das informações compiladas sobre o assunto, entende-se que a madeira, como material construtivo, e o sistema *wood frame* possuem diversos benefícios e se encontram entre os métodos mais adequados para combater os impactos ambientais causados pela construção civil devido às suas qualidades como: matéria-prima renovável, racionalização de água, redução na produção de resíduos, plantação e manejo de florestas, produção de oxigênio, recolhimento e retenção de CO₂ por longo período devido à vida útil extensa das edificações, reutilização de material, entre outros.

O sistema construtivo *wood frame*, assim como a madeira nele empregada, trazem consigo, além de uma forma de construir mais sustentável, desenvolvimento para o setor construtivo brasileiro, que em sua maior parte é artesanal. As produções são rápidas e produtivas, dispõem de alto conforto térmico, a compatibilização dos projetos é eficiente, possuem qualidade advinda do processo fabril, geram empregos em diversos setores, bem como, a produção industrial proporciona um ambiente de trabalho melhor para os funcionários. Estas qualidades o fazem grande aliado no combate ao déficit habitacional do país, entre outras tantas colaborações do sistema para a evolução tecnológica e produtiva do setor construtivo brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABDI. **Manual da construção industrializada: conceitos e etapas**. Brasília, 2015. 187 p. v. 1. Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Manual-de-Construc%C3%A7%C3%A3o-Industrializada.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). **Norma técnica para sistema construtivo de casas com madeira em consulta pública**. 27 jan. 2021. Disponível em: <https://abimci.com.br/norma-tecnica-para-sistema-construtivo-de-casas-com-madeira-em-consulta-publica/>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). **Norma técnica para sistema construtivo de casas com madeira em consulta pública**. 3 mar. 2021. Disponível em: <https://abimci.com.br/encerrada-consulta-publica-da-norma-tecnica-para-o-sistema-construtivo-wood-frame/>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- AFLALO, M. **Estruturas em Madeira: forma e método**. 2020. 160 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.
- ALMEIDA, F. W., YAMASHITA, A. C. Arquitetura Indígena. **Revista de ciências exatas e da Terra**. UNIGRAN, v2, n.2, 2013.
- APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Engineered Wood: construction guide**. 2019. Disponível em: <https://osb.westfraser.com/wpcontent/uploads/2020/01/E30X.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro. Ago. 1997.
- BIANCHI, R. Adeus, tijolo. **Revista Arquitetura e Construção**. p. 88-91, Nov., 2016. Disponível em: http://www.tecverde.com.br/wpcontent/uploads/2016/11/ARQUITETURA-ECONSTRU%C3%87%C3%83O_nov2016.pdf. Acesso em: 14 ago. 2022.
- CAMPOS, P. F. **Light Steel Frame: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo do projeto e planejamento**. 2014. 196 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- CARDOSO, L. A. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. 2015. 78 f. TCC – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

CASTRO, S.C.L. de. **O uso da madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena.** 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável). **Sustentabilidade na construção.** 1 de jan. 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

DARDENGO, B. C. **Vantagens e impactos de certificações ambientais para a construção civil.** 2017. 81 f. Projeto de graduação em Engenharia Civil – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

ECKER, T. W. P.; MARTINS V. **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.

ESPINDOLA, L. R. **O wood frame na produção de habitação social do Brasil.** 2017. 331 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

GONZALEZ, M. E. T. **Sustentabilidade: da produção à operacionalização de um modelo de cidade.** 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2018.

HABOWSKI, D. **Estudo da viabilidade da utilização da madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte.** 2018. (trabalho de conclusão de curso) – Curso de engenharia civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco. Pato Branco, 2018.

IBEC (Instituto Brasileiro De Engenharia De Custos). **Você conhece as certificações necessárias na construção civil?.** 2019. Disponível em: <<https://ibecensino.org.br/blog/voce-conhece-as-certificacoes-necessarias-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

LEICHT NETO, E. H. **Sustentabilidade das edificações: do projeto à demolição.** 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2011.

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

MOREIRA, P. V.; SOLDERA, C. R. M. **Panorama do sistema construtivo Tecverde.** 2016. Disponível em: <<http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

OLIVEIRA, L. A. **Avaliação da aceitabilidade do sistema construtivo “wood frame”**. 2014. 61 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, E. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e o CO₂ embutidos no sistema construtivo wood frame**. 2016. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PIANO, R.; ZABALBEASCOA, A.; MARCOS, J. R. **Renzo Piano: sustainable architectures = arquitecturas sostenibles**. Section 3. Barcelona : G. Gili ; Corte Madera, CA : Gingko Press, 1998.

RAMOS, N. C. S. **Método de avaliação de desempenho técnico-construtivo (MADTEC) do sistema LIGHT WOOD FRAME (LWF) aplicado em habitações de interesse social no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

ROVARIS, C. **Estudo para ampliação do uso da madeira para a construção de habitações no Brasil**. 2019. 244 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

SANTOS, L. C. F. **Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em wood light frame**. 2012. 80 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, R. L.; SANTANA J. C. O. Materiais de construção sustentáveis em empreendimentos de habitação de interesse social financiados pelo PMCMV. **Mix sustentável**. Edição 7, v. 3, n. 3, 2017. Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1892/1312>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

SILVA, G. da; BUNDY, A.; PEDROZO E. C. Certificação LEED como Forma de Promover o Desenvolvimento Sustentável: Análise de Alguns Indicadores com Base no Sistema Construtivo Ecogrid®. **INGENIO revista de Ciencia Tecnología e Innovación**. ISSN 2618-5520, v. 3, n. 2, p. 102-111, jul./dez. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.03.02.008>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

SILVA, J. C. **Parâmetros construtivos para painéis verticais adaptados do sistema wood frame em madeira de eucalipto jovem**. 2018. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2018.

SHIGUE, E. K. **Difusão da construção em madeira no brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018. 249 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SPANIOL, N. C. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e wood frame para habitação de interesse social**. 2018. 96 f. TCC – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

TECVERDE. **Série Normas Técnicas: Desempenho Estrutural**. set. 2020. E-book. Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Ebook-normas-tecnicas_Desempenho_Estruturalv01-1.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2022.

TECVERDE. **Casa Amelie**. 2 de out. 2021. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/obras/casa-amelie/>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

TECVERDE. **5 obras marcantes da história Tecverde**. 14 out. 2021. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/2021/10/14/5-obras-marcantes-da-historia-tecverde/>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

TECVERDE. **Casa Villa**. 22 de out. 2021. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/obras/casa-villa/>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

TECVERDE. **Hospital de Retaguarda**. 22 de out. 2021. Disponível em: <<https://www.tecverde.com.br/obras/hospital-de-retaguarda/>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

UNEP - Nations United Environment Programme. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019 – relatório da ONU**. 16 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

UNEP - Nations United Environment Programme. **5 maneiras de tornar construções resilientes às mudanças climáticas**. 7 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/5-maneiras-de-tornar-construcoes-resilientes-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

UNEP - Nations United Environment Programme. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?**. 5 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

VARA, A. F. F. **Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas em Betão Armado**. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Évora, 2015.

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

VIANA, L. D. **Comparativo de custos dos sistemas construtivos wood frame e concreto armado para edifício utilizando bim 5d**. 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. Londrina, EDUEL, 2013. Livro eletrônico.
Disponível em:
<uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura%20em%20madeira_digital.pdf>.
Acesso em: 29 de abril de 2022.