

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Melissa Ribeiro da Rocha

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE
TINY HOUSES NO BRASIL: SUSTENTABILIDADE, CUSTO E
VIABILIDADE**

Porto Alegre
Agosto de 2024

MELISSA RIBEIRO DA ROCHA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS
DE *TINY HOUSES* NO BRASIL: SUSTENTABILIDADE,
CUSTO E VIABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Fernanda Lamego Guerra

Porto Alegre
Agosto de 2024

MELISSA RIBEIRO DA ROCHA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS
DE TINY HOUSES NO BRASIL: SUSTENTABILIDADE,
CUSTO E VIABILIDADE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 26 de agosto de 2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Fernanda Lamego Guerra (UFRGS)

Dra. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)

Dra. em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Enga. Civil Marciele Monique Lazzari Klein (UFRGS)

MSc. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais. Vocês são a razão de todas as minhas vitórias, e em cada conquista minha, há um pedaço do amor e da força que me deram.

Marisa Machado Ribeiro e
Ernesto Corrêa da Rocha (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Marisa, devo toda a força que me impulsionou a seguir em frente. Cada conquista, cada aprendizado, tem um pedaço do seu carinho e dedicação. O seu exemplo de força e coragem foram fundamentais para minha formação e crescimento, e cada conquista que este trabalho representa é um reflexo do seu sacrifício e amor. Dedico a senhora, mãe, cada vitória e realização que alcancei.

Ao meu pai, Ernesto (*in memoriam*), minha homenagem é carregada de orgulho e saudade. Em cada escolha e em cada caminho que trilhei, senti a sua presença. Seus conselhos e sua sabedoria continuam a me guiar trazendo conforto e força nos momentos em que mais precisei. Dedico ao senhor cada passo desta jornada, pois sua memória vive em cada realização minha, e a sua lembrança está gravada em cada vitória que celebro, o senhor é o meu farol de força e motivação que me guia a cada dia.

À minha família, especialmente aos meus irmãos, Cristiano, Eder, Cristiane e Patrícia, minha gratidão é imensa. Durante essa jornada, estive muitas vezes distante, abdicando de momentos em família para me dedicar aos estudos, mas em nenhum momento senti que estava sozinha. Ao meu noivo, Jonathan, que foi meu porto seguro, minha fonte de apoio e amor. A tua compreensão e incentivo foram essenciais para que eu pudesse manter o foco e alcançar meus objetivos. Sou imensamente grata por ter vocês ao meu lado, compartilhando cada etapa desta caminhada.

Aos meus amigos, agradeço a cada um de vocês por estarem presentes tanto nos momentos de alegria quanto de dificuldades. Em especial ao Rafael, com quem compartilhei muitos momentos, que por si só renderiam histórias e muitas risadas. E, também, para a minha amiga Neiva (*in memoriam*), que sempre acreditou em mim e me acompanhou de perto. Sua presença continua viva em minha memória, trazendo-me força para seguir em frente.

À minha orientadora, professora Fernanda Lamego. Sua orientação, paciência e dedicação foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Cada conselho e ensinamento contribuiu não apenas para o aprimoramento, mas também para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

À UFRGS, por proporcionar um ambiente de aprendizado com alta qualidade e crescimento.

RESUMO

Este trabalho realiza uma análise sobre a tipologia construtiva de *Tiny Houses*, que corresponde a habitações compactas, projetadas para maximizar a eficiência do espaço, atendendo aos requisitos de desempenho e a princípios da sustentabilidade. Considerando esta tipologia é feita a avaliação comparativa entre os métodos construtivos *Light Steel Frame* (LSF) e *Light Wood Frame* (LWF). Para análise foram considerados os aspectos de sustentabilidade, custo e viabilidade de implementação no contexto brasileiro. A pesquisa adotou como método uma abordagem com base em referencial teórico e em exemplos de aplicação em casos internacionais, considerando as características técnicas, ambientais e econômicas de cada método, destacando aspectos relacionados ao desempenho quanto à eficiência energética, a pegada de carbono, a durabilidade, a resistência e a manutenção das estruturas ao longo do tempo. O estudo também considera a disponibilidade regional de materiais e a infraestrutura logística. O LWF, caracterizado pelo uso de madeira proveniente de fontes renováveis e certificadas, apresenta vantagens em termos de impacto ambiental inicial e eficiência energética, especialmente em regiões com climas variados. Por outro lado, o LSF, baseado no uso do aço, destaca-se por sua durabilidade e adequação a áreas urbanas e regiões com condições climáticas adversas, embora tenha um impacto maior em termos de energia incorporada. A pesquisa também explora o potencial das *Tiny Houses* como uma solução ambientalmente amigável e acessível para a habitação, promovendo um estilo de vida mais consciente e alinhado aos princípios de sustentabilidade. Conclui-se que a escolha entre LSF e LWF deve ser orientada pelas características regionais, considerando aspectos como o clima, a disponibilidade de materiais, a infraestrutura e as necessidades específicas de cada projeto. A pesquisa sugere a necessidade de avanços em normatização específica para as *Tiny Houses* no Brasil e destaca a importância de uma abordagem integrada que considere os aspectos técnicos, ambientais e sociais na construção civil.

Palavras-chave: *Tiny Houses*. *Light Steel Frame*. *Light Wood Frame*. Sustentabilidade. Construção sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico da pesquisa.....	18
Figura 2 – Aspectos que motivam a escolha por Tiny Houses.....	20
Figura 3 – Modelo de soluções que podem ser adotados em uma Tiny House.....	21
Figura 4 – Ilustração da vila de Tiny Houses Dignity Village (EUA)	23
Figura 5 – Katie Mays, assistente social e o morador, Rick Proundfoot.....	23
Figura 6 – <i>Tiny Homes Village</i> (EUA)	24
Figura 7 – <i>Tiny House Siesta</i> (EUA)	24
Figura 8 – <i>Tiny House KODA</i>	25
Figura 9 – <i>Tiny house The Eco Capsule</i>	25
Figura 10 – A <i>Mineral House</i> , localizada no Japão	26
Figura 11 – Casa <i>Tiny</i> , no México.....	27
Figura 12 – Esquema das camadas verticais que compõem o LSF.....	33
Figura 13 – Esquema das camadas horizontais que compõem o LSF.....	37
Figura 14 – Esquema da estrutura dos elementos estruturais da cobertura.....	38
Figura 15 – Corte detalhado de fundação sapata corrida.....	40
Figura 16 – Mokki 35	42
Figura 17 – <i>NestHouse</i> em LWF localizada no Reino Unido	46
Figura 18 – Comparativo da quantidade de energia necessária para a produção de uma tonelada de madeira, cimento, vidro e aço.....	57
Figura 19 – Etapas do processo construtivo industrializado	59
Figura 20 – Planilha orçamentaria da estrutura de LSF	62
Figura 21 – Planilha orçamentária da estrutura de LWF.....	62
Figura 22 – Planilha orçamentária do revestimento de parede externo de LSF.....	63
Figura 23 – Planilha orçamentária do revestimento de parede externo de LSF.....	63
Figura 24 – Planilha orçamentária do revestimento de parede interna de LSF.....	64
Figura 25 – Planilha orçamentária do revestimento de parede interno de LWF.....	64
Figura 26 – Planilha orçamentária da cobertura de LSF	66
Figura 27 – Planilha orçamentária da cobertura de LWF.....	67
Figura 28 – Produção do Aço no Brasil	69
Figura 29 – Localização das 20 empresas com maior faturamento de steel frame do brasil em 2024.....	69

Figura 30 – Área Florestal Plantada com Pinus e Eucalipto no Brasil (2016)	71
Figura 31 – Localização das 6 empresas com mais faturamento de <i>woodframe</i> do Brasil	72
Figura 32 – Interesse ao longo do tempo nas buscas de " <i>tiny house</i> " de forma global desde 2004	74
Figura 33 – Interesse por região nas buscas de " <i>tiny house</i> " de forma global desde 2004	75
Figura 34 – Interesse ao longo do tempo nas buscas de " <i>tiny house</i> " no Brasil, com início considerado em 2013	75
Figura 35 – Interesse por sub-região nas buscas de " <i>tiny house</i> " de forma global desde 2004	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de perfis de aço formados a frio para uso em método construtivo LSF	32
Tabela 2 – Consumo de matérias-primas para a produção do aço	50
Tabela 3 – Consumo de matérias-primas na produção do aço	51
Tabela 4 – Emissões de GEE na produção do aço de acordo com a <i>Worldsteel</i>	51
Tabela 5 – Emissões de GEE na produção do aço de acordo com o IPCC.....	51
Tabela 6 – Índice de desempenho ambiental para projetos de paredes em construções residenciais (Minnesota e Geórgia)	56
Tabela 7 – Comparativo de custos diretos de LSF e LWF para uma casa de 50 m ²	61
Tabela 8 – Comparação dos isolamentos disponíveis no mercado nacional.....	65
Tabela 9 – Comparação dos materiais das esquadrias disponíveis no mercado nacional	66

LISTA DE SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AVB – Aço Verde Brasil

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CCA – Arsênio de Cobre Cromatado

CCB – Borato de Cobre Cromatado

CERFLOR – Programa Brasileiro de Certificação Florestal

CES – Construção Energitérmica Sustentável

EPS – Poliestireno Expandido

EUA – Estados Unidos da América

FSC – *Forest Stewardship Council*

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

LSF – *Light Steel Frame*

LWF – *Light Wood Frame*

NBR – Normas Brasileiras

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OSB – *Oriented Strand Board*

PET – Polímero Politereftalato de Etileno

RU – Resistente à Umidade

SGS – *Société Générale de Surveillance*

TH – *Tiny Houses*

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

UV – Ultravioleta

XPS – Poliestireno Extrudado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	DELIMITAÇÕES	16
2.2	LIMITAÇÕES	17
3	METODOLOGIA	18
4	<i>TINY HOUSES</i> (TH): CONCEITOS E TENDÊNCIAS	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS <i>TINY HOUSES</i>	21
4.2	CASOS DE <i>TINY HOUSES</i>	22
4.3	<i>TINY HOUSES</i> NO BRASIL	27
5	MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE <i>TINY HOUSES</i>	29
5.1	<i>LIGHT STEEL FRAME</i> (LSF).....	29
5.1.1	Componentes e materiais.....	31
5.1.2	Processo de construção	39
5.2	<i>LIGHT WOOD FRAME</i> (LWF).....	42
5.2.1	Componentes e materiais.....	44
5.2.2	Processo de construção	45
6	ANÁLISE DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS COM RELAÇÃO À SUSTENTABILIDADE, CUSTO E VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO	47
6.1	SUSTENTABILIDADE	47
6.1.1	Sustentabilidade do Aço	49
6.1.2	Sustentabilidade da Madeira.....	53
6.1.3	Análise comparativa entre LSF e LWF quanto à sustentabilidade.....	55
6.2	CUSTO	58
6.2.1	Análise comparativa entre LSF e LWF quanto ao custo	60
6.3	VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO	67

6.3.1	Disponibilidade dos materiais	68
6.3.2	Regulamentações locais.....	73
6.3.3	Mercado e investimento.....	74
6.3.4	Análise comparativa entre LSF e LWF quanto à implementação	77
7	CONCLUSÃO.....	78

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é reconhecida por sua relevância e impacto no desenvolvimento socioeconômico, desempenhando um papel crucial na dinâmica global. No entanto, as abordagens convencionais para a construção de moradias têm sido objeto de críticas crescentes devido seus altos custos, consumo excessivo de recursos naturais e contribuição para a expansão urbana descontrolada (Sá, 2022; Brasileiro, 2015; Nunes e Paula, 2016). É nesse contexto que surgem as *Tiny Houses*, traduzida como habitações pequenas e eficientes, oferecendo uma alternativa inovadora e promissora para os desafios habitacionais enfrentados atualmente.

As *Tiny Houses* tiveram início em 1997, quando o arquiteto e ativista norte-americano Jay Shafer se tornou pioneiro nesse movimento. Inspirado por ideias de simplicidade, sustentabilidade e liberdade e pelo conceito de “pequenas casas” de Henry David Thoreau (*Walden*, 1854, *apud* Durce, 2021) e outros pensadores minimalistas, Shafer projetou e construiu sua própria *Tiny House* em 1999, estabelecendo os fundamentos do que viria a se tornar um movimento global. Sua residência de apenas 9 metros quadrados foi um marco de como um espaço compacto poderia ser projetado de forma eficiente, oferecendo todas as comodidades necessárias para uma vida confortável. Suas criações, que ele chamou de “*Tumbleweed Tiny House Company*”, rapidamente despertaram interesse em uma comunidade crescente de entusiastas do estilo de vida minimalista e sustentável (Mangold; Zschau, 2019).

Desde então, as *Tiny Houses* têm evoluído e se diversificado, inspirando uma ampla gama de projetos e iniciativas em todo o mundo. O *Tiny House Movement* ganhou impulso através de programas de televisão (*Tiny House Nation*, 2014), documentários (*Small is Beautiful: A Tiny House Documentary*, 2015), livros e eventos que destacam os benefícios e a viabilidade desse modelo de moradia. Ao contrário da tendência predominante de construções maiores e mais espaçosas, as *Tiny Houses* são pequenas residências, com uma área de até 37m² (*International Residential Code*, 2018). Essa padronização da área de uma TH é sugerida pela *American Tiny House Association*, no qual, as TH norte-americanas apresentam entre 100 a 400 *square feet* (aproximadamente 9 a 37 m²), sendo caracterizadas por seu *design* compacto e eficiente. Essas moradias apostam na simplicidade e na utilização inteligente do espaço para proporcionar conforto e funcionalidade (Buss, 2021). Seus interiores são planejados para maximizar todo o

espaço, com soluções criativas de armazenamento, mobiliário multifuncional e aproveitamento de luz natural.

As *Tiny Houses*, em termos econômicos, podem ser uma alternativa acessível para aqueles que enfrentam dificuldades para adquirir moradias convencionais (Issonaga; Silva, 2020). Um estudo, realizado nos Estados Unidos, na Nova Zelândia, no Canadá e na Austrália, procurou entender a motivação da adesão a esse estilo de vida, destacando como principais fatores: redução de custos, a ampliação da liberdade e simplificação do modo de vida (Boeckermann, et. al, 2019). Seu tamanho reduzido implica em um menor consumo de materiais de construção, energia e água durante o processo de construção e ao longo da vida útil da residência (Lima, 2021). Ainda permite adotar práticas ecológicas, como a utilização de energias renováveis, sistemas de captação de água da chuva e compostagem, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a promoção de estilos de vida mais sustentáveis (Mingoya, 2015).

Apesar de seu potencial e de sua crescente popularidade, as *Tiny Houses* enfrentam uma série de desafios e obstáculos que limitam sua adoção em larga escala (Anson, 2014; Murphy, 2014; Perry, 2015; Priesnitz, 2014; William, 2015). Questões regulatórias, como código de zoneamento e restrições de tamanho mínimo de residências, podem dificultar a legalização e aceitação das *Tiny Houses* (Wilson; Boehland, 2005). Diante desse cenário, é preciso realizar uma análise das implicações das *Tiny Houses* na indústria da construção civil e no desenvolvimento socioeconômico para os diferentes contextos sociais.

Os métodos construtivos sustentáveis das *Tiny Houses* envolvem o uso de materiais leves e duráveis, como madeira ou aço, além de técnicas de isolamento eficientes e sistemas de energia renovável (Lima, 2021). Quanto ao isolamento térmico, devem ser empregadas técnicas para garantir o conforto durante todo o ano, sendo importante considerar o microclima das diferentes localidades (Lima, 2021). Podem ser utilizados materiais isolantes como a espuma de poliuretano e lã de vidro, bem como atributos do projeto arquitetônico com relação à orientação solar e ao layout da casa para maximizar o aproveitamento da luz natural e minimizar impactos relacionados ao conforto térmico. Um dos aspectos relevantes a esta tipologia construtiva é a adoção de esquadrias de alta eficiência energética, garantindo a vedação contra as trocas de calor com o ambiente externo (Pés Descalços, 2019d).

Considerando os métodos construtivos, uma das características mais relevantes das *Tiny Houses* é a aplicação da modularidade (Shearer, 2020). Assim, é possível a personalização flexível de acordo com as necessidades e preferências individuais dos moradores. Dentre os métodos de construção, destacam-se o *Light Steel Frame* e o *Light Wood Frame*, cujas características, de acordo com o projeto, podem proporcionar eficiência, sustentabilidade e flexibilidade.

O método construtivo *Light Steel Frame* (LSF), corresponde à utilização de perfis de aço leve com fechamento em chapas delgadas, para compor a estrutura principal da edificação (ABNT, 2022). Para os sistemas de vedação, cobertura e acabamento existem diferentes configurações e possibilidades. Externamente, podem ser usadas placas cimentícias (Saint-Gobain, 2011) ou sistemas de revestimento que protegem contra intempéries e garantem a estanqueidade e eficiência energética. Adicionalmente, barreira de vapor e isolantes térmicos são incorporados entre as camadas para otimizar a eficiência térmica e prevenir problemas relacionados à umidade e infiltrações.

Por outro lado, o *Light Wood Frame* (LWF), corresponde à utilização de perfis de madeira para compor a estrutura principal da edificação (ABNT, 2023). Internamente, pode ser adotado as mesmas especificações para o LSF, como: vedação, cobertura, acabamento, barreiras de vapor e isolantes térmicos são utilizados para assegurar o desempenho térmico e a resistência à umidade. Pode ser utilizado diferentes configurações para vedações, acabamento e cobertura. A escolha dos materiais e técnicas de vedação deve ser feita com base nas necessidades específicas do projeto e nas condições climáticas da região onde a construção será realizada. Em ambos os métodos construtivos, a seleção e a aplicação adequada das camadas de vedação são fundamentais para garantir a proteção estrutural, a eficiência energética e o conforto.

O estudo das *Tiny Houses* oferece uma contribuição significativa para o campo da construção civil e áreas correlatas, trazendo novas perspectivas sobre alternativas habitacionais sustentáveis e inovadoras. Estas moradias compactas não apenas representam uma resposta às demandas por soluções habitacionais mais econômicas e eficientes, mas também configuram um campo de análise acadêmica relevante, para investigar e compreender as implicações técnicas, econômicas e ambientais associadas a esse modelo habitacional.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos métodos construtivos de *Tiny Houses* no Brasil, com foco em *Light Wood Frame* e *Light Steel Frame*, avaliando aspectos de sustentabilidade, custo e viabilidade de implementação.

Os objetivos específicos são:

- a. analisar aspectos relativos à minimização de impactos ambientais, relativos ao uso de materiais, processos construtivos e durabilidade quanto aos métodos construtivos adotados no estudo;
- b. verificar viabilidade construtiva quanto ao custo e exequibilidade para a realidade brasileira;
- c. verificar a viabilidade de implementação do sistema, considerando aspectos como disponibilidade de materiais, regulamentações locais e aceitação no mercado.

Ao final da pesquisa, espera-se fornecer uma análise fundamentada dos métodos construtivos de *Light Wood Frame* e *Light Steel Frame* para *Tiny Houses*, contribuindo na tomada de decisão de profissionais, investidores e consumidores interessados em habitações sustentáveis.

2.1 DELIMITAÇÕES

A pesquisa se concentra nos métodos construtivos *Light Wood Frame* (LWF) e *Light Steel Frame* (LSF) para *Tiny Houses*, com ênfase na sustentabilidade, custo e viabilidade de implementação no contexto brasileiro. A avaliação é baseada exclusivamente em referencial teórico e na revisão de pesquisas internacionais, sem a realização de simulações a partir de projetos ou orçamentos em modelos específicos. A pesquisa visa oferecer uma compreensão detalhada das características dos métodos analisados, mas não fornece uma análise abrangente de todos os possíveis fatores influenciadores na construção de *Tiny Houses* no Brasil.

2.2 LIMITAÇÕES

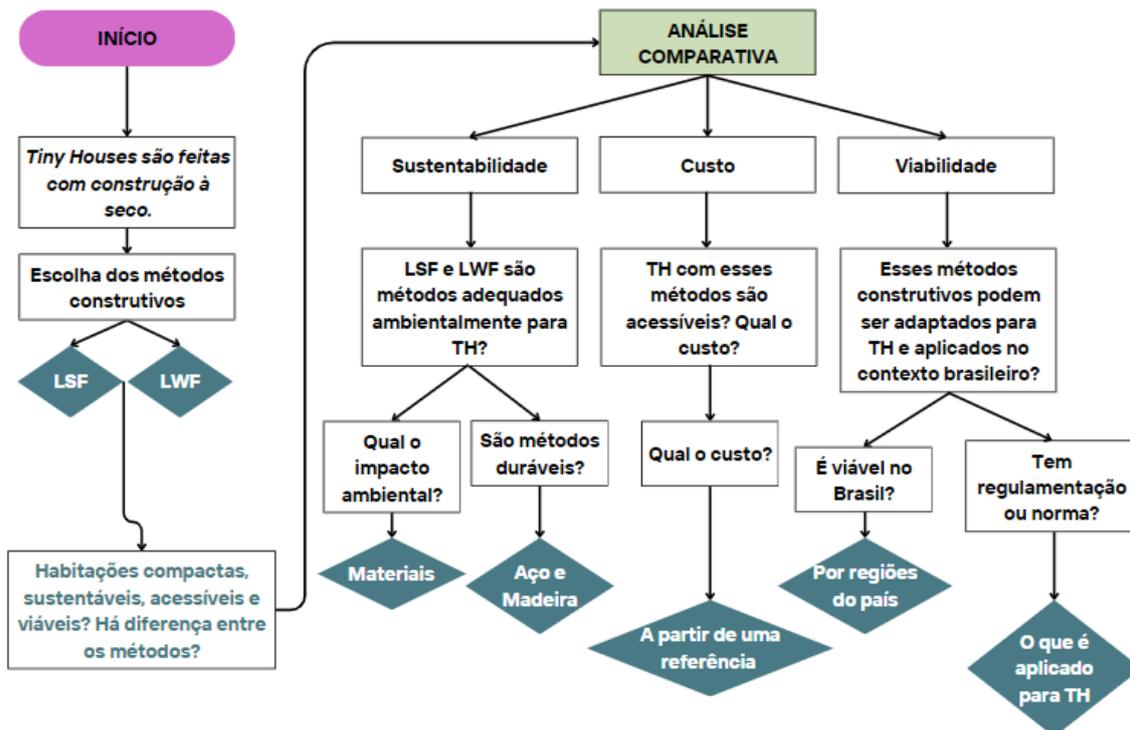
A pesquisa se baseia em dados e informações disponíveis até o momento da análise, o que pode não refletir mudanças recentes nas regulamentações, nas práticas de mercado ou nos avanços tecnológicos. Não foram abordadas dimensões socioculturais, como a aceitação e o impacto das *Tiny Houses* nas regiões do país, nem aspectos técnicos mais detalhados, como a eficiência dos sistemas em condições emergentes, ou com a integração de fontes de energia renovável. Além disso, a variabilidade regional no Brasil pode influenciar significativamente os resultados relativos ao custo e à viabilidade de implementação, uma vez que as condições específicas de cada local não foram integralmente consideradas. A análise da viabilidade de implementação é baseada em estimativas e dados atuais, que podem ser sujeitos a alteração em função de mudanças econômicas ou políticas públicas. Essas limitações devem ser consideradas ao interpretar os resultados da pesquisa.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo visa fornecer uma análise comparativa dos métodos construtivos *Light Steel Frame* (LSF) e *Light Wood Frame* (LWF) para *Tiny Houses* (TH), focando em aspectos de sustentabilidade, custo e viabilidade de implementação. A escolha dos métodos LSF e LWF foi motivada pela característica comum de construção à seco desses sistemas, o que é relevante para a construção de TH. A construção à seco é valorizada por sua rapidez de montagem e menor impacto ambiental, em comparação com métodos que utilizam processos úmidos, como a alvenaria.

A coleta de dados foi realizada através de uma revisão da literatura acadêmica e técnica, bem como estudos de caso internacionais pertinentes. A análise foi conduzida com base em informações secundárias. Foi elaborado um fluxograma que detalha as etapas desenvolvidas neste trabalho, tais como, definição dos critérios de avaliação, coleta de dados e análise comparativa. Este fluxograma (Figura 1) visa facilitar a compreensão do processo e dos critérios utilizados.

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico da pesquisa



Fonte: Autora, 2024

4 *TINY HOUSES* (TH): CONCEITOS E TENDÊNCIAS

O surgimento das TH ocorreu há cerca de duas décadas, mas foi nos últimos anos que essa tendência teve destaque e se transformou em um movimento cultural significativo. O conceito de habitações pequenas e eficientes existiu ao longo da história, comumente associado a necessidades específicas (Brandão, 2005), como habitações temporárias em áreas rurais ou urbanas densamente povoadas, gerando redução das áreas úteis das habitações (Digiacomio, 2004). No entanto, foi no século XXI que as TH surgiram como uma alternativa viável e atrativa para um número crescente de pessoas em busca de uma vida minimalista e sustentável (Weetman, 2020).

O “*Small House Movement*” que surgiu nos Estados Unidos, começou a ter influência no final do século XX e início do século XXI. Esse movimento, impulsionado por preocupações com o consumo excessivo, a dívida ecológica e a busca por uma vida mais sustentável (Manzella, 2010), promoveu a idealização de habitações compactas como resposta a esses anseios. Em 1999, Jay Shafer fundou a *Tumbleweed Tiny House Company*, uma das pioneiras na construção e promoção de *Tiny Houses* no mundo. Seus conhecimentos com o *design* e construção resultaram em modelos que combinavam elegância e funcionalidade. O trabalho de Shafer ganhou destaque com o livro “*The Small House Book*” (2009), onde compartilhou suas ideias e experiências na construção desse modelo de moradia.

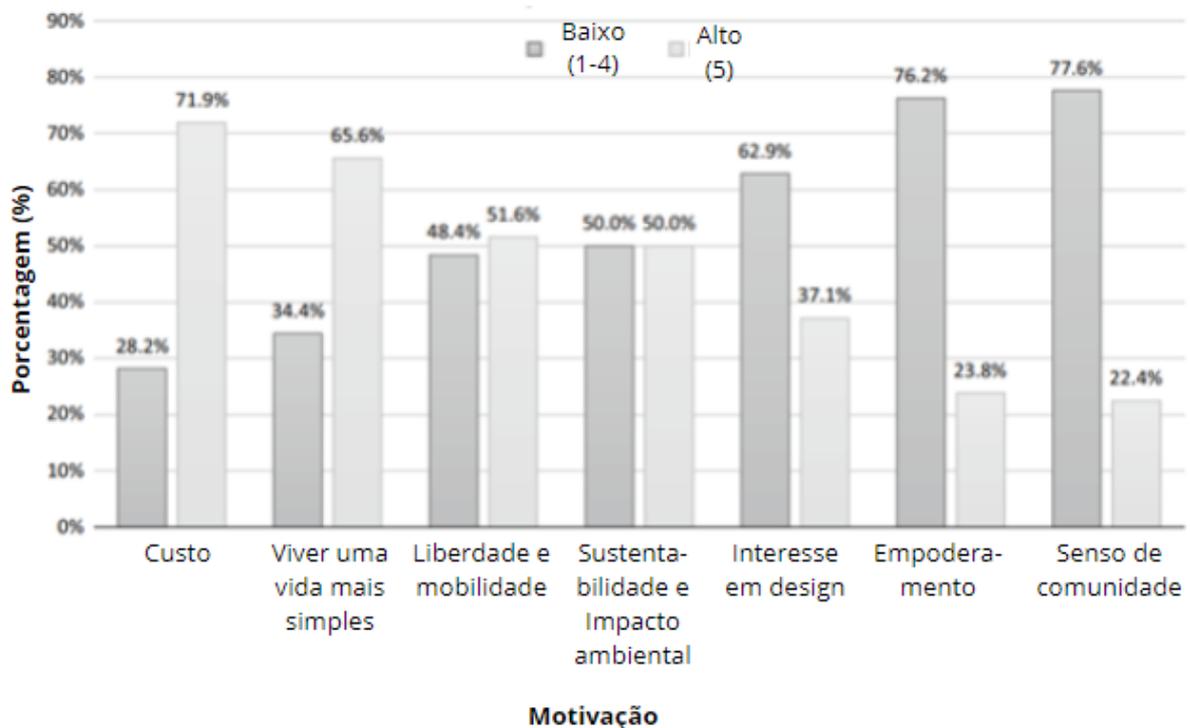
Foi durante a crise financeira de 2008 que as TH ganharam impulso nos Estados Unidos. Com o colapso do mercado imobiliário norte americano e uma crescente conscientização sobre questões ambientais, muitas pessoas começaram a reconsiderar suas prioridades e a buscar alternativas mais acessíveis e sustentáveis para a habitação (Mangold; Zschau, 2019). Neste contexto, as TH revelaram-se como uma solução atraente, oferecendo uma maneira de viver com custos reduzidos e um menor impacto ambiental (Shearer, 2020).

Um estudo realizado por Mutter (2013) identificou várias motivações para viver em uma TH. Verificou-se como fatores mais citados: a diminuição dos custos, aumento da liberdade e um estilo de vida simplificado, sendo este último mais significativo, quando analisada a satisfação habitacional. Além disso, outras motivações também foram citadas, entre elas: diminuição da pegada de carbono, sustentabilidade e diminuição de impactos ambientais, motivação para

incorporar materiais reciclados, fontes alternativas de energia e sistemas de captação da água da chuva e custo.

Visando compreender as motivações pela escolha desta tipologia construtiva, um estudo foi realizado por Boeckermann, Kaczynski e King (2019), considerando diversos países. Intitulado como “*Dreaming big and living small: examining motivations and satisfaction in tiny house living*” com amostras dos Estados Unidos, Nova Zelândia, Canadá e Austrália. O estudo apontou o custo como a maior motivação para viver em uma *Tiny House* (Figura 1).

Figura 2 – Aspectos que motivam a escolha por *Tiny Houses*



Fonte: Modificado a partir de Boeckerman, *et.al*, 2019

Hoje, as TH representam não apenas uma opção de moradia, mas também um movimento cultural significativo, desafiando convenções estabelecidas e promovendo uma abordagem mais consciente e equilibrada (Fabris, *et al.*, 2020). Casos de sucesso ao redor do mundo evidenciam a viabilidade e a realização das aspirações por meio das TH, contribuindo para sua crescente aceitação e adoção em diferentes contextos sociais e geográficos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS *TINY HOUSES*

As TH representam uma abordagem diferente em relação ao conceito convencional de moradia. Estas estruturas podem ter até 37 m² de área habitável e são projetadas para oferecer um espaço funcional e confortável, otimizando cada espaço disponível. São projetadas para incluir todos os elementos essenciais de uma residência convencional, de modo a proporcionar conforto e funcionalidade aos seus ocupantes. Além disso, muitas vezes são incorporadas soluções arquitetônicas inovadoras, como móveis multifuncionais, espaços de armazenamento embutidos e tecnologias sustentáveis, visando maximizar o uso do espaço disponível e minimizar o consumo de energia, como ilustrado na Figura 2.

Figura 3 – Modelo de soluções que podem ser adotados em uma *Tiny House*



Fonte: MOKKI, 2024

Um dos aspectos mais importantes das TH é a sustentabilidade e a eficiência energética. Estas estruturas são frequentemente construídas utilizando materiais de baixo impacto ambiental. Além disso, podem ser projetadas para serem totalmente autossuficientes em termos de energia, incorporando tecnologias renováveis, como painéis solares e sistema de captação e reutilização de água, reduzindo significativamente sua pegada ecológica e os custos associados ao consumo de recursos.

4.2 CASOS DE *TINY HOUSES*

Na última década, o conceito de TH surgiu como uma alternativa viável e atraente ao modelo convencional de habitação. Com variados motivos, incluindo preocupações ambientais, busca por simplicidade e uma abordagem mais acessível para adquirir uma moradia. Este fenômeno tem sido documentado através de casos exemplares, cada um demonstrando a versatilidade e adaptabilidade das TH em diferentes contextos e para uma variedade de propósitos.

Um exemplo notável é a “*Simply Home*” em Portland, Estados Unidos. Esta comunidade aborda questões de habitação a preços acessíveis e promove um estilo de vida comunitário. Com uma variedade de designs e tamanhos, estas residências proporcionam aos moradores uma maneira sustentável e economicamente viável de viver no centro de uma cidade densamente povoada (Curbed, 2018).

As TH têm sido utilizadas de forma inovadora em diversos contextos, inclusive como soluções temporárias para desastres naturais. Um exemplo é o Furacão Katrina, um dos mais destrutivos que já atingiram os EUA, ocorrido em 2005. Nesse cenário de reconstrução emergencial, surgiu o projeto das TH, onde organizações e grupos comunitários construíram esse tipo de moradia como parte dos esforços de reconstrução em Nova Orleans e outras áreas afetadas, sendo uma delas a Katrina Cottage, desenvolvida pela *designer* Marianne Cusato, o que significou não apenas uma moradia temporária, mas uma abordagem criativa e eficiente para lidar com os desafios pós-desastre (Durce, 2021).

Alguns exemplos ilustram o potencial das TH como uma alternativa viável e inspiradora ao modelo tradicional de habitação, adequados a situações emergenciais ou de lazer, tais como:

a) *Dignity Village* (Estados Unidos) – 2000

Localizada em Portland, Oregon, *Dignity Village* foi uma das primeiras comunidades de TH (Figura 3) a surgir nos Estados Unidos. Fundada por pessoas sem-teto e ativistas locais (Figura 4), esta vila oferece moradia acessível e é autogerida para pessoas em situação de vulnerabilidade.

Figura 4 – Ilustração da vila de *Tiny Houses Dignity Village* (EUA)



Fonte: Communitecture, 2024

Figura 5 – Katie Mays, assistente social e o morador, Rick Proudford



Fonte: YES!Magazine, 2024

b) *Tiny House Village* (Estados Unidos) – 2005

Em Olympia, Washigton, o projeto *Quixote Village*, também conhecido como *Tiny House Village* (Figura 5), foi inaugurado em 2005. Esta vila é composta por uma comunidade de *Tiny Houses* por residentes sem-teto e organizações locais, oferecendo uma solução para a falta de moradia na região

Figura 6 – *Tiny Homes Village* (EUA)



Fonte: Archello, 2024

c) *Tiny House Siesta* (Estados Unidos) – 2017

Em Sarasota, Flórida, o *Tiny House Siesta* (Figura 6) é um empreendimento que oferece aluguel de TH para férias. Com uma variedade de modelos disponíveis, essa comunidade de aluguel permite que os visitantes experimentem o estilo de vida dessas casas em um ambiente à beira-mar.

Figura 7 – *Tiny House Siesta* (EUA)



Fonte: Tiny House Siesta, 2024

d) KODA (Estônia) – 2017

O projeto KODA (Figura 7), desenvolvido na Estônia, é um exemplo de TH modular e sustentável. Projetada para ser transportável e de rápida montagem, a KODA oferece uma solução para moradia temporária ou de baixo impacto ambiental.

Figura 8 – *Tiny House KODA*



Fonte: Field Mag, 2024

e) *The Eco Capsule* (Eslováquia) – 2018

Desenvolvida pela empresa eslovaca Nice Architects, a *Eco Capsule* (Figura 8) é uma TH autossuficiente e móvel. Lançada em 2018, esta casa exemplifica a evolução das TH para serem totalmente independentes de redes de serviços públicos, utilizando energia solar e eólica.

Figura 9 – *Tiny house The Eco Capsule*



Fonte: Ecocapsule, 2024

f) Mineral House (Japão) – 2018

Em resposta à crescente densidade populacional em Tóquio, uma empresa japonesa lançou o conceito de “*Tiny House Tokyo*” (Figura 9) em 2018. Estas microcasas modulares são projetadas para oferecer moradia compacta e acessível em áreas urbanas densas, demonstrando uma abordagem inovadora para a habitação em espaços limitados.

Figura 10 – A *Mineral House*, localizada no Japão



Fonte: Archello, 2024

g) Casa *Tiny* (México) – 2018

Localizada em Oaxaca, México, a Casa *Tiny* (Figura 10) é uma casa de férias projetada pelo arquiteto mexicano Aranza de Ariño. Esta casa minimalista e moderna proporciona aos visitantes uma experiência de viver em um espaço compacto e projetado.

Figura 11 – Casa *Tiny*, no México

Fonte: Wowow Home Magazine, 2024

4.3 *TINY HOUSES* NO BRASIL

As TH no Brasil ainda estão em um estágio inicial de adoção, mas o interesse por esse tipo de moradia compacta e sustentável vem crescendo nos últimos anos. Apesar de seu crescimento no cenário internacional, no Brasil, essa tendência ainda enfrenta uma série de desafios, especialmente cultural e legal, que dificultam sua adoção (Issonaga; Da Silva, 2020). Além disso, o campo de pesquisas acadêmicas sobre o tema ainda se encontra em fase inicial, o que reflete na necessidade de maior exploração e debate sobre o conceito (Durge, 2021).

As TH são caracterizadas por suas dimensões reduzidas, no entanto, o sistema normativo brasileiro não contempla especificidades para esse tipo de construção, o que impõe aos proprietários a necessidade de conformidade com normas municipais que, em muitos casos, não são adequadas a esse modelo habitacional. Por essa ausência de legislação específica sobre o tema, a TH no Brasil deve adaptar-se à vigência das normas municipais locais, segundo estabelecido na Lei nº 4.591/1964 (Brasil, 1964) que dispõe sobre condomínios e as edificações imobiliárias, na conformidade da Lei nº 6.15/1973 (Brasil, 1973), a qual trata dos registros públicos, ainda na Lei nº 6.766/1979 (Brasil, 1979) sobre o parcelamento do solo urbano, na Lei nº 7.433/1985 (Brasil, 1985) e no Decreto nº 93.24/1986 (Brasil, 1986), que trata sobre procedimentos para escrituras públicas.

Um dos principais obstáculos reside nas normas de zoneamento urbano, que muitas vezes impõem uma metragem mínima para a aprovação de projetos de construção. Ao determinar os potenciais construtivos de regiões em um município, o código de zoneamento consegue controlar a densidade populacional, assegurando o atendimento em termos de infraestrutura, principalmente. De acordo com Wilson e Boehland (2005), esse requisito pode inviabilizar a aprovação de uma TH, uma vez que as prefeituras exigem que essas edificações sigam os mesmos regulamentos aplicáveis às residências convencionais, incluindo a obtenção de alvarás e documentos como o habite-se. Esse processo pode atuar como um desincentivo importante para a construção de TH no Brasil (Diniz, 2014).

De acordo com Farias (2019), o zoneamento em determinadas áreas é influenciado pela densidade populacional e pela infraestrutura local. Isso significa que em regiões onde o zoneamento estabelece uma casa por lote de 600 m², não seria permitido um condomínio de TH. Um exemplo disso ocorreu em Curitiba, onde um empreendimento de 25 TH em um terreno de 700 m² foi multado e teve as obras paralisadas antes de sua conclusão, pois o zoneamento local permitia apenas uma casa por cada 600 m².

No âmbito cultural, a ideia de residir em uma casa de dimensões reduzidas ainda encontra resistência. A vida em uma TH demanda uma reorganização completa dos espaços e hábitos cotidianos. A otimização do espaço torna-se essencial, demandando um *design* de interiores planejado para garantir a funcionalidade sem comprometer o conforto (Kilman, 2016).

No que tange à produção acadêmica, o número de pesquisas dedicadas às TH no Brasil ainda é relativamente pequeno, o que reflete a novidade do tema no contexto nacional (Durge, 2021). A maior parte dos estudos disponíveis concentra-se em análises de casos internacionais, com poucas pesquisas focadas nas peculiaridades do mercado e das normas brasileiras. Embora existam estudos explorando aspectos como o *design* interior e as questões legais envolvidas, ainda há uma lacuna significativa na literatura que precisa ser preenchida para oferecer uma compreensão dessa tipologia de edificação.

5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE *TINY HOUSES*

Considerando os métodos construtivos para execução desta tipologia, destacam-se o *Light Steel Frame* e o *Light Wood Frame*, cujas características, de acordo com o projeto, podem proporcionar eficiência, sustentabilidade e flexibilidade.

5.1 *LIGHT STEEL FRAME* (LSF)

A crescente demanda por soluções habitacionais acessíveis e sustentáveis tem impulsionado o uso de técnicas construtivas inovadoras, entre as quais se destaca o método LSF. O LSF, ou estrutura de aço, é um método construtivo que utiliza perfis metálicos para compor a estrutura de edificações. Sua origem parte do final do século XIX, com a Revolução Industrial, quando houve um aumento significativo na produção de aço (Bateman, 1998). Este material, com sua alta resistência e durabilidade, começou a ser explorado para aplicações estruturais. A primeira aplicação notável do *steel frame* foi na construção do edifício *Home Insurance Building*, em Chicago, em 1884. Este edifício foi frequentemente considerado o primeiro arranha-céu do mundo, devido ao uso pioneiro de uma estrutura de aço que suportava as cargas do prédio, em vez das tradicionais paredes de alvenaria. Embora o LSF e o *steel frame* compartilhem a utilização do aço como elemento principal na estruturação das edificações, existem diferenças entre os dois métodos. O *steel frame*, como o utilizado no *Home Insurance Building*, utiliza perfis de aço mais robustos e pesados, próprios para suportar grandes carregamentos e ser aplicados em edifícios de grande porte

O LSF rapidamente se popularizou nos Estados Unidos, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas onde a construção rápida e a maximização do espaço eram essenciais (Bateman, 1998). Além desses fatores, a adoção do LSF foi fortemente influenciada pelo custo elevado da madeira, agravado pela crescente escassez em várias regiões do país. Ao longo do século XX, a tecnologia evoluiu, incorporando inovações como o aço galvanizado para proteção contra corrosão e desenvolvimento de novos métodos de junção e fixação, que tornaram o sistema mais eficiente.

Além dos Estados Unidos, o LSF também ganhou popularidade em outros países, como Reino Unido, Japão e Austrália, onde a construção civil buscava alternativas mais rápidas e eficientes

para atender à demanda por novas edificações (Penna, 2009). Na década de 1990, o LSF começou a ser adotado em larga escala na construção de residências, especialmente em países com rigorosas normas relativas ao risco de abalos sísmicos, como o Japão, devido à sua resistência e flexibilidade, que proporcionam maior segurança em áreas sujeitas a terremotos. Além disso, após a Segunda Guerra Mundial, o governo japonês impôs restrições ao uso de madeira em construções autoportantes, devido ao seu papel na propagação das chamas e na consequente destruição em massa das cidades (Castro; Freitas, 2006). Com isso, surgiram as primeiras construções utilizando LSF e, que permitia uma reconstrução mais rápida e segura.

Desde então, o LSF começou a ser amplamente utilizado em diversas aplicações na construção civil, desde edifícios comerciais e industriais até residências e, mais recentemente, em TH. Aspectos relacionados à sustentabilidade do LSF é um dos principais atrativos. O aço é um material 100% reciclável e, contrário de outros materiais de construção, não perde suas propriedades durante o processo de reciclagem (Gomes, *et al.*, 2013). Isso contribui significativamente para a redução do impacto ambiental das construções. Além disso, o LSF gera menos resíduos durante o processo construtivo, pois os componentes são pré-fabricados, modulares e montados no local, resultando em um canteiro de obras mais limpo e organizado. Além disso, a modularidade do LSF contribui em um melhor controle sobre os materiais e do processo, resultando em menos desperdício.

A rapidez na construção é outra vantagem significativa deste método. A pré-fabricação de componentes em aço permite uma montagem rápida no local da obra, reduzindo o tempo de construção e os custos associados (Castro; Freitas, 2006). Essa eficiência é particularmente benéfica em projetos que exigem prazos curtos e minimização de transtornos no ambiente ao redor da construção. A versatilidade do LSF possibilita a criação de diferentes *layouts* e *designs*, atendendo às necessidades específicas dos projetos, sem comprometer a resistência estrutural. Além disso, quando combinado com sistemas de vedação compostos por materiais adequados ao isolamento, o método oferece bom desempenho térmico e acústico, garantindo conforto aos ocupantes das edificações (Saint-Gobain, 2011).

Ao proporcionar soluções eficientes, duráveis e adaptáveis, esse método construtivo não atende apenas às demandas habitacionais, mas também contribui para construções mais sustentáveis. A integração do LSF nas TH pode ser vista como uma resposta eficaz aos desafios urbanos atuais.

5.1.1 Componentes e materiais

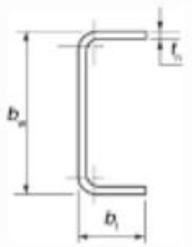
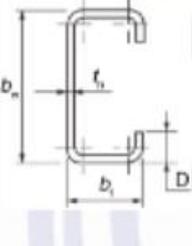
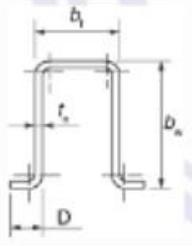
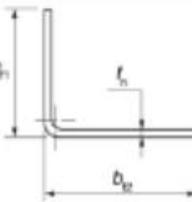
De acordo com a NBR 16970 (ABNT, 2022) a estrutura principal do LSF é formada por perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas. Santiago (2012) e Consul Steel (2002), classificam esses perfis de acordo com suas funções na estrutura:

- montantes, que são os perfis verticais que compõe as paredes;
- guias, que são os perfis horizontais que dão suporte aos montantes;
- vigas, que são os perfis horizontais que suportam cargas de pisos e tetos;
- terças, que são os perfis que suportam a cobertura.

a) Estrutura dos Painéis

O LSF é predominantemente composto por perfis metálicos de aço, que formam a estrutura principal da edificação. Esses perfis são projetados para suportar as cargas e oferecer estabilidade. As normas que regulam o dimensionamento e a resistência estrutural dos perfis metálicos são fundamentais para garantir a segurança e a integridade da construção. Dentre as normas, pode-se citar a NBR 16970: *Light Steel Framing* – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamento em chapas delgadas (ABNT, 2022). A estrutura dos painéis é formada pelos montantes e pelas guias, sendo elementos de seção vertical “Ue” (U enrijecido) e U, respectivamente, representados na Tabela 1 abaixo. Os montantes transferem as cargas verticais através das suas almas, transmitindo-as para as fundações (Santiago, 2008).

Tabela 1 – Tipos de perfis de aço formados a frio para uso em método construtivo LSF

Seção transversal	Designação ABNT NBR 6355	Utilização
	U simples $U\ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa Terça
	U enrijecido $Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Terça Guia enrijecida (sistema com encaixes estampados)
	Cartola $Cr\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Viga Ripa Terça
	Cantoneira de abas desiguais $L\ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

Fonte: ABNT, 2022

De acordo com a NBR 7008-1: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga de zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente - Parte 1: Requisitos (ABNT, 2021), a resistência mínima ao escoamento do aço estrutural deve ser 230 MPa, e pela norma NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações — Requisitos gerais. (ABNT, 2014), a espessura nominal dos perfis U (simples ou enrijecidos) deve ser entre 0,80 mm até 3,0 mm. A fixação dos perfis é feita através de parafusos de aço baixo carbono, cementado e temperado, seguindo a ISO 2702 ou galvanizados por imersão a quente, conforme a NBR 6323: Galvanização por imersão a quente

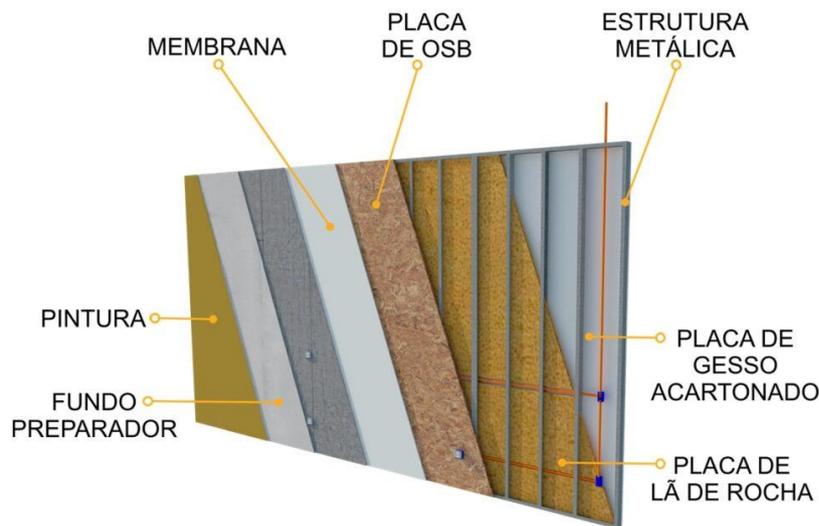
de produtos de aço e ferro fundido - Especificação (ABNT, 2016). A NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022) lista a aplicação adequada para cada tipo de parafuso e tempo mínimo de corrosão.

A orientação de acordo com Saint-Gobain (2011) para ligações rígidas, para evitar deslocamentos e perda da estabilidade é utilizar contraventamento, através do método em "X", que consiste em fitas dispostas de forma diagonal, formando um padrão de cruzamento, que são eficazes na distribuição de forças e no controle da flexão e torção dos painéis.

b) Camadas Verticais

As camadas de vedação são essenciais para garantir a proteção e o conforto dentro das habitações construídas com LSF, conforme apresentadas na Figura 11.

Figura 12 – Esquema das camadas verticais que compõem o LSF



Fonte: Construindo Casas, 2024

- Vedação vertical externa: essa camada pode ser composta por chapas de fibrocimento sem amianto, chapa de gesso para drywall, chapa de gesso revestida com fibra de vidro, chapa de OSB (*Oriented Strand Board*) ou outros materiais que proporcionam uma barreira física contra intempéries. A função principal desta camada é proteger a estrutura metálica contra a ação direta de elementos climáticos, com chuva e vento. A norma

NBR 16970-1: *Light Steel Framing* – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas – Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022) estabelece requisitos mínimos para cada tipo de chapa a ser adotada no sistema. Entre as placas de revestimento, a mais comum é a placa de OSB, a qual deve atender as especificações das EN 300 e CSA O325-16, para sua caracterização mecânica, e a ASTM D-3345-17 para sua resistência ao ataque de cupins subterrâneos e de madeira seca.

- Vedação vertical Interna: o fechamento externo e interno com chapas de fibrocimento sem amianto deve atender os requisitos estabelecidos conforme a NBR 15498: Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou tela - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2021) para resistência mecânica mínima (resistência à tração na flexão), permeabilidade à água e variação dimensional por imersão e secagem. Para as chapas de fibrocimento, é indicado as chapas de categoria C, para as chapas de gesso para drywall, deve seguir os requisitos da NBR 14715-1: Chapas de gesso para *drywall* - Parte 1: Requisitos (ABNT, 2021), no qual é dividida em 3 tipos: *standard*, resistente à umidade e resistente ao fogo.
- Membrana: a membrana hidrófuga (ou barreira de vapor) é aplicada para proteger a estrutura interna da umidade e contribuir com a estanqueidade da edificação. Ela impede que a umidade penetre nas camadas internas da parede, evitando danos e proliferação de fungos. Geralmente são feitas de materiais impermeáveis como polietileno, polipropileno ou outros compostos sintéticos. É instalada diretamente sobre o OSB (ou outro tipo de placa estrutural), antes da aplicação do revestimento. A membrana é fixada com grampos ou fita adesiva específica para garantir a vedação. Essa barreira de vapor deve atender aos requisitos mínimos da Tabela 16 da NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgada– - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022), na qual é definida a resistência à tração (apenas para mantas pré-fabricadas), impermeabilidade ao vapor d'água, permeabilidade ao vapor d'água e impermeabilidade à água

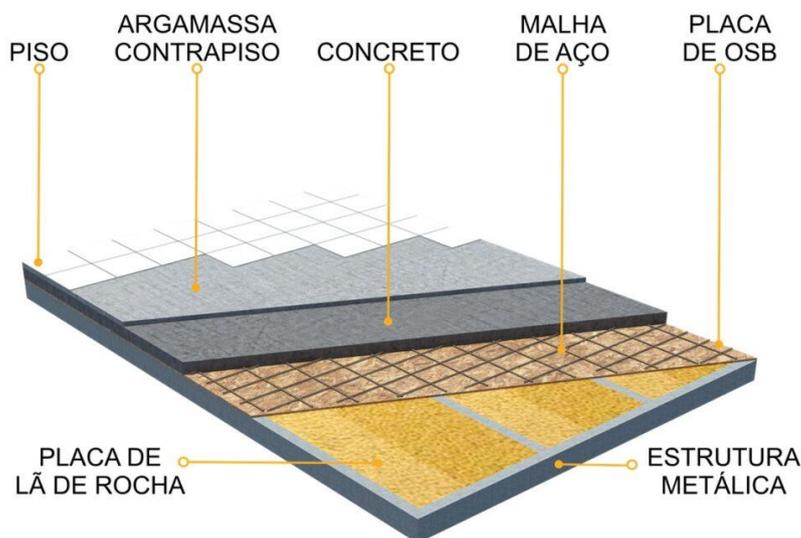
- Revestimentos: o revestimento deve ser compatível com os componentes de fechamento, sendo eles: *sidings*, argamassas, pinturas, cerâmicas ou outros materiais. De acordo com Salgado (2009), o revestimento é responsável também por contribuir com a estanqueidade e proteção das edificações.
- Isolamento Térmico e Acústico: o isolamento térmico visa reduzir a troca de calor entre o ambiente interno e externo, proporcionando uma temperatura interna estável e confortável, além de economia de energia. Deve-se utilizar materiais isolantes térmicos, tais como o poliestireno expandido (EPS) ou extrudado (XPS). A NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. (ABNT, 2021) define os parâmetros de desempenho térmico para diferentes climas e tipos de edificações. De acordo com a normativa, há quatro parâmetros baseado no zoneamento bioclimático, sendo esses: transmitância térmica de paredes externas, capacidade térmica de paredes externas, percentual de abertura para ventilação e percentual de elementos transparentes ou área de superfície dos elementos transparentes. A NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (ABNT, 2022) especifica os requisitos para o desempenho térmico em LSF. Para esses materiais, devem atender aos requisitos de absorção de água, estabilidade térmica, densidade, condutividade térmica a 24 °C e reação ao fogo. O isolamento acústico envolve a redução de ruídos aéreos e de impacto, no qual deve atender aos requisitos estabelecidos, conforme a NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. (ABNT, 2021). Considerando a tipologia *tiny house*, onde a sua configuração resulta em ambientes compactos e, por vezes, multifuncionais, quanto ao isolamento acústico, deve prevalecer a especificação atendendo ao requisito de maior sensibilidade. A NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgada— - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022) lista quais materiais podem ser utilizados a isolação acústica, sendo: manta acústica, para evitar a transmissão de vibrações; lã de PET, lã de vidro e lã de rocha (atender a norma NBR

11364: Painéis termoisolantes à base de lã de rocha — Especificação (ABNT, 2024)), que além de oferecer isolamento acústico, oferece isolamento térmico

c) Camadas Horizontais

De acordo com a NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapa delgada - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022), a base de uma estrutura em LSF pode ser com laje seca ou concreto moldados in loco, em elementos pré-moldados ou industrializados. Considerando laje seca, ela pode ser de chapas de fibrocimento, atendendo os critérios da NBR 15498, conforme e os requisitos também adotados para chapas nas vedações verticais, descritos na norma NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022). Há a possibilidade de adoção das chapas de OSB, no qual em áreas secas deve ser atendido os critérios estabelecidos conforme a ASTM D 3345-17 em EN 300, e para áreas molhadas, deve, ainda, ser resistente a fungos, além de ter proteção impermeabilizante que não permita passagem de água ou umidade às camadas subsequentes. De acordo com a NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022), pode ser adotado chapas de gesso para *drywall* no piso, seguindo a NBR 14715-1: Chapas de gesso para *drywall* - Parte 1: Requisitos (ABNT, 2021). O detalhe das camadas horizontais do LSF está representado na Figura 12.

Figura 13 – Esquema das camadas horizontais que compõem o LSF

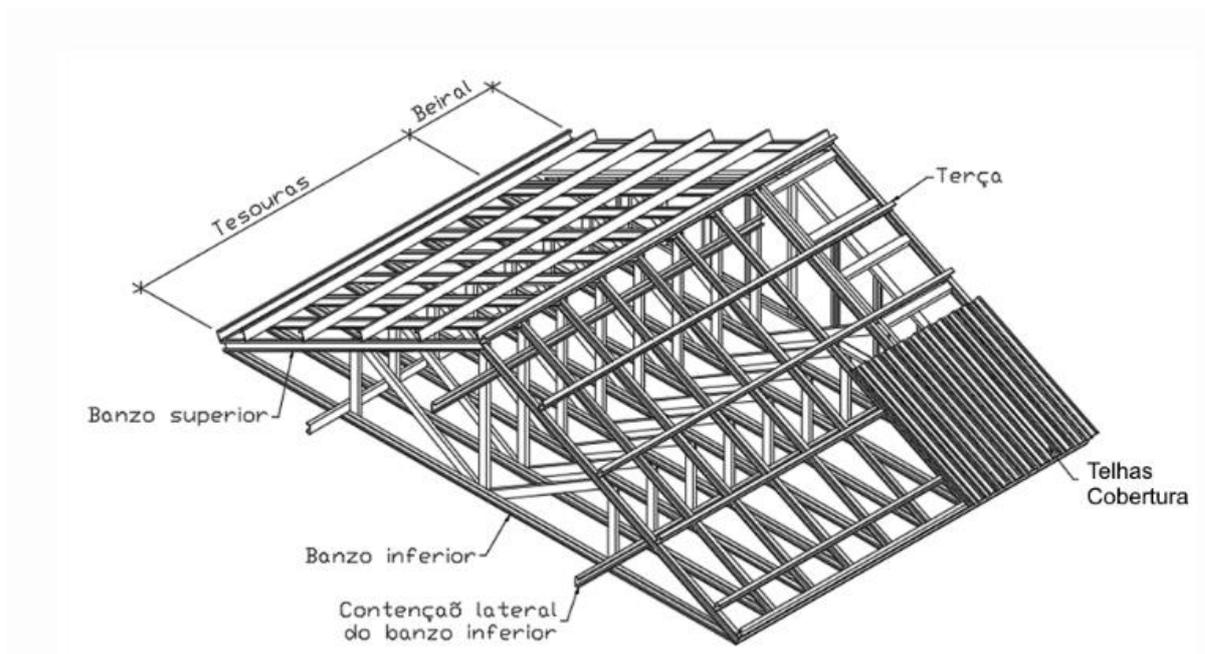


Fonte: Construindo Casas, 2024

- Barreira de Vapor e Umidade: de acordo com a NBR 16970-1: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 1: Desempenho (ABNT, 2022), as barreiras de vapor e umidade devem atender a Tabela 16 da norma, que lista quatro especificações que devem ser atendidas como: resistência a tração (apenas para mantas pré-fabricadas), impermeabilidade ao vapor d'água, permeabilidade ao vapor d'água e impermeabilidade à água. A barreira de vapor é projetada para controlar a migração de vapor de água através das camadas de vedação. Sendo a principal função a prevenção à condensação entre as camadas que compõem o piso e o teto. A presença de umidade pode causar danos estruturais, através da proliferação de fungos degradadores de materiais como a madeira, além do comprometimento do isolamento térmico e acústico. Dentre os materiais utilizados, citam-se: filme de polietileno, com espessuras entre 0,15mm a 0,20 mm e membranas impermeabilizantes, que possuem resistência a raios UV.

- Isolamento Térmico e Acústico: os isolamentos utilizados e seus requisitos são os mesmos quando aplicados nas camadas verticais.
- d) Estrutura de cobertura: a NBR 16970-2: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 2: Projeto estrutural (ABNT, 2022), esquematiza os elementos que constituem a estrutura da cobertura no LSF, como representado abaixo na Figura 13:

Figura 14 – Esquema da estrutura dos elementos estruturais da cobertura



Fonte: ABNT, 2022

Para a estrutura da cobertura, deve atender os requisitos de desempenho térmico (transmitância térmica, capacidade térmica, absorvância à radiação solar para cada zona bioclimática), conforme NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. (ABNT, 2021) e NBR 15575-5: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas (ABNT, 2021). Além disso, a norma prevê o limite máximo de 35% de aparecimento de manchas de umidade na face interna do telhado, sem apresentar escorrimento, gotejamento de água ou gotas aderentes. Para o desempenho acústico da cobertura, deve atender a NBR 15575-5: Edificações

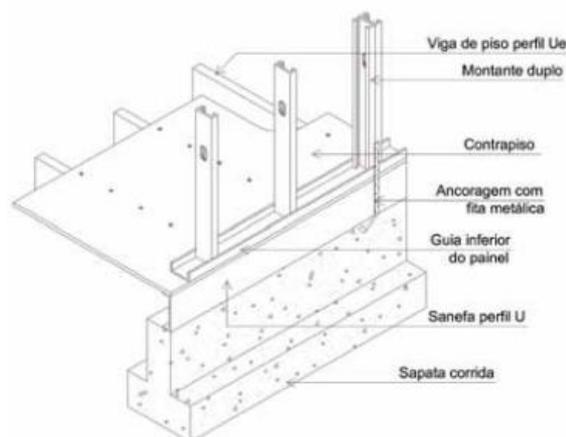
habitacionais — Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas (ABNT, 2021) para o caso de edificações residenciais.

5.1.2 Processo de construção

O processo construtivo do método LSF utiliza perfis de aço galvanizado para formar a estrutura principal, combinando eficiência e sustentabilidade em um espaço reduzido. Segue abaixo as etapas de construção na produção de uma *tiny house* utilizando LSF (Molin; Malandrin, 2017).

- a) Projeto Arquitetônico: Além dos desenhos técnicos, é preciso um estudo de otimização de espaços, definindo áreas mínimas para circulação, áreas de armazenamento e espaços multifuncionais que estejam de acordo com requisitos de desempenho dispostos na NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2024);
- b) Projeto Estrutural: Inclui o dimensionamento de perfis de aço, considerando cargas permanentes e variáveis, detalhamento dos perfis metálicos, espessuras e revestimentos adotados, seguindo a NBR 16970-2: *Light Steel Framing* - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 2: Projeto estrutural (ABNT, 2022);
- c) Serviços Preliminares: Nessa etapa inclui a limpeza e preparação do terreno, marcação do perímetro da fundação no terreno e instalação de gabaritos;
- d) Fundação: Por se tratar de uma estrutura leve (Gomes, et. al, 2013), pode ser utilizada sapatas corridas (Figura 14) ou radier (ABNT NBR 6122 – Projeto e execução de fundações, 2022);

Figura 15 – Corte detalhado de fundação sapata corrida



Fonte: Santiago, 2008

- e) Estrutura: De acordo com Santiago (2008), pode ser montado a estrutura com três métodos distintos: Método "Stick", Método por Painéis e Método Modular. No Método Stick, os perfis são cortados e montados no local da obra, junto com o restante da estrutura, sendo útil esse tipo de abordagem em situações em que a pré-fabricação não é prática. Para o Método por Painéis, os contraventamentos, lajes e tesouras de telhado são pré-fabricados, fora do canteiro de obras, e montados no local, em contraste com o Método Stick, onde tudo é realizado no próprio canteiro. Por fim, na Construção Modular, as unidades são totalmente pré-fabricadas e podem ser entregues no local da obra já com os acabamentos internos;
- f) Impermeabilização: As fachadas do sistema devem ser estanqueidade à água da chuva. O sistema de vedação vertical deve ser eficiente para proteção com relação à incidência direta de água, incluindo os efeitos da chuva dirigida (condicionada pelo vento). Deve ser observadas as juntas entre paredes e entre paredes e lajes, em pisos com contato com o solo e no sistema de cobertura. No sistema de cobertura é feito a aplicação de manta de subcobertura para impedir infiltrações e proteger a estrutura do telhado (Calil Junior; Molina, 2010), conforme as normas NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto (ABNT, 2010) e NBR 9574: Execução de impermeabilização (ABNT, 2008). Na vedação vertical externa adota-se barreira de vapor e membrana hidrófuga, evitando que a água da chuva e a umidade interna penetrem na parede. Além disso, em áreas úmidas, pode-se utilizar placas cimentícias com selador acrílico ou placas de gesso RU;

- g) Instalações Elétricas e Hidrossanitárias: Distribuição de tubulações de água fria, quente e esgoto, pode prever a utilização de materiais como o PEX, o mais indicado ao LSF (Santiago, 2012), conforme NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção (ABNT, 2020). De acordo com o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2011), a passagem de tubulação de gás no interior das paredes não é permitida, pois podem servir de câmara para acúmulo de gás. Para a instalação elétrica, é feita a distribuição dos cabos elétricos, seguindo a NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão (ABNT, 2008), sendo estes, passados por conduítes e fixados nos pontos de conexão;
- h) Isolamento Térmico e Acústico: Segundo Saint-Gobain (2011), o material isolante termoacústico é inserido no interior da estrutura, após a etapa de fechamento externo e passagem das instalações elétricas e hidráulicas, antes do fechamento interno;
- i) Fechamentos: A vedação interna envolve o fechamento das paredes, tetos e pisos, utilizando materiais que proporcionam acabamento, isolamento e resistência. Para a vedação externa, utiliza-se materiais que protegem contra condições climáticas adversas;
- j) Esquadrias: As esquadrias seguem o mesmo padrão para o sistema convencional. Em TH, as janelas são componentes valorizados, proporcionando não apenas a entrada de luz natural, mas também uma ventilação eficaz, elevando o conforto em um espaço reduzido;
- k) Revestimentos: Após o fechamento das paredes, é adicionado o revestimento, no qual pode-se adotar, por exemplo, pinturas e revestimentos aderidos nas paredes; telhas de fibrocimento, telhas metálicas, ou telhado verde; piso cerâmico, vinílico, madeira ou concreto polido;
- l) Limpeza Final da Obra: Remoção de todos os resíduos de construção, limpeza de superfícies e a entrega do imóvel.

Como exemplo de aplicação deste método construtivo, a empresa brasileira Mokki 35 apresenta um modelo de TH, conforme Figura 15. Neste exemplo, a TH tem área de 35 m², possuindo 1 dormitório no mezanino e o térreo com o banheiro, e a sala integrada com a cozinha. A marca brasileira de THs, utiliza LSF na fabricação, adotando construção seca, energia fotovoltaica e

cobertura verde. De acordo com a empresa, com esse tipo de sistema, adotado pela empresa Steel Tech, a *tiny house* é entregue aproximadamente em 14 dias.

Figura 16 – Mokki 35



Fonte: MOKKI, 2024

5.2 LIGHT WOOD FRAME (LWF)

O LWF, também conhecido como estrutura de madeira, é uma técnica de construção que remonta aos primórdios da construção. A madeira tem sido um material essencial na construção, inicialmente utilizado de forma rudimentar para abrigos simples durante a pré-história. Com o desenvolvimento das habilidades de carpintaria, as civilizações antigas, começaram a incorporar estruturas de madeiras em suas edificações, muitas vezes combinadas com pedra e tijolo (Bombonato, et. al, 2014).

O LWF ganhou mais popularidade e refinamento no século XIX (Morikama, 2006), com a invenção do prego de corte e da serra a vapor, que permitiram a produção em massa de componentes de madeira. Estas inovações facilitaram a construção de estruturas de madeira de maneira mais eficientes e econômicas. Durante este período, a técnica foi amplamente adotada

em todo o continente norte-americano, consolidando-se como um método de construção eficaz. Uma das inovações mais significativas do LWF foi a introdução da pré-fabricação. Componentes como paredes, pisos e telhados começaram a ser montados fora do local de construção e depois transportados para o canteiro de obras, onde eram instalados. Esse método não apenas acelerou o processo de construção, mas também melhorou a qualidade e precisão das estruturas (*Canada Mortgage and Housing Corporation, 1999*).

Atualmente, o LWF é particularmente popular nos Estados Unidos, Canadá e países escandinavos, onde a madeira é abundante e a técnica é bem estabelecida (Marques, 2008). A escolha do LWF, ao invés de outros métodos de construção, deve-se à sua eficiência de custo, sustentabilidade e propriedades térmicas. A madeira é um recurso renovável e, quando manejada de forma sustentável, contribui para a redução das emissões de carbono (Forest...,2010). Além disso, a madeira oferece excelente isolamento térmico, ajudando a manter temperaturas internas estáveis e reduzindo a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial.

O edifício Mjøstårnet, na Noruega, de 2019, é um exemplo contemporâneo de aplicação dessa técnica, sendo o edifício de madeira mais alto do mundo. Com 18 andares, esta estrutura destaca-se não apenas pela altura, mas pela utilização da madeira na sua construção, demonstrando a viabilidade e a resistência do *wood frame* em edifícios de grande porte.

As TH construídas com LWF beneficiam-se da capacidade de adaptação a diferentes climas e condições ambientais. A madeira, com suas propriedades térmicas, pode ser combinada com técnicas de *design*, como orientação solar estratégica e ventilação cruzada, isso não só reduz o consumo de energia, mas também promove um ambiente interno mais confortável.

Um aspecto inovador é o potencial para a reutilização e reciclagem. A madeira utilizada em construções de LWF pode ser recuperada e reutilizada em novas construções ou projetos de renovação, promovendo um ciclo de vida sustentável para o material. Além disso, pode incorporar madeira de demolição ou certificada por padrões de manejo florestal sustentável, reduzindo o impacto ambiental (Velloso, 2010).

5.2.1 Componentes e materiais

A estrutura principal do LWF é composta por perfis de madeira de alta qualidade, muitas vezes de pinho ou abeto, que são projetados e tratadas para resistir a diferentes condições climáticas e cargas estruturais. Esses perfis são classificados de acordo com suas funções:

- montantes: são os perfis verticais que formam as paredes.
- guias: são os perfis horizontais que dão suporte aos montantes.
- vigas: são os perfis horizontais que suportam cargas de pisos e tetos.
- terças: são os perfis que suportam a cobertura.

a) Estrutura dos Painéis

O LWF é predominantemente composto por perfis de madeira que formam a estrutura principal da edificação. Esses perfis são projetados para suportar as cargas e oferecer estabilidade. As normas que regulam o dimensionamento e a resistência estrutural dos perfis de madeira são fundamentais para garantir a segurança e a integridade da construção. Entre as normas, pode-se citar a NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento (ABNT, 2022) que aborda especificações de projeto de estruturas de madeira. A estrutura dos painéis é formada pelos montantes e pelas guias, sendo elementos de seção retangular ou quadrada. Os montantes transferem as cargas através das suas fibras, transmitindo-as para as fundações.

De acordo com a NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento (ABNT, 2022), a resistência mínima ao escoamento da madeira estrutural deve ser especificada para cada tipo de madeira, e a espessura dos perfis deve atender às especificações da norma para garantir a estabilidade. A fixação dos perfis pode ser constituída de mecanismos de encaixe, parafusos, pregos anelados, grampos, ganchos de ancoragem, chumbadores, conectores, pinos, chapas com dentes estampados e/ou cola. Conforme as diretrizes da NBR 16936: Edificações em *Light Wood Frame* (ABNT, 2023). A NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento (ABNT, 2022) lista as diretrizes para o tipo de fixação e os tempos mínimos de secagem e tratamento da madeira. O restante dos componentes e materiais adotados no LWF é idêntico ao LSF.

5.2.2 Processo de construção

O método de construção LWF é uma alternativa moderna e sustentável para a construção de TH. Utilizando madeira reflorestada, o método oferece flexibilidade e eficiência. As etapas da construção em LWF é idêntico do LSF, exceto pela estrutura, que será descrita a seguir:

- a) Projeto Arquitetônico;
- b) Projeto Estrutural;
- c) Serviços preliminares;
- d) Fundação;
- e) Estrutura: existem diferentes métodos para a construção de estruturas de madeira, que podem ser adaptados conforme as necessidades do projeto e das condições do local. Velloso (2010) cita os seguintes métodos: Kits pré-cortados (*Pre-cut homes*), que consistem em peças de madeira pré-cortadas nas seções transversais definidas em projeto e montadas no canteiro de obra. Outro método são as "Casas Panelizadas" (*Panelizes Homes*), onde os elementos são produzidos na forma de painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricadas. Além desses, existem as Casas Modulares (*Modular Homes*), que apresentam maior grau de industrialização, com módulos tridimensionais fabricados na indústria. Estes módulos permitem que instalações como as esquadrias e sistemas complementares já venham embutidos nas paredes. Por fim, as Casas Industrializadas (*Manufactured Homes*), que são transportadas inteiramente prontas ao canteiro.
- f) Impermeabilização;
- g) Instalações Elétricas e Hidrossanitárias;
- h) Isolamento Térmico e Acústico;
- i) Fechamentos;
- j) Esquadrias;
- k) Revestimentos;
- l) Limpeza Final da Obra.

Como exemplo de aplicação deste método construtivo, a Figura 16 mostra a *NestHouse*, um exemplo de TH fixa construída em LWF. Está localizada no Reino Unido e foi executada pela *Tiny House Scotland*, possuindo 25m².

Figura 17 – *NestHouse* em LWF localizada no Reino Unido



Fonte: TinyLiving, 2024.

6 ANÁLISE DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS COM RELAÇÃO À SUSTENTABILIDADE, CUSTO E VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO

A seguir serão abordados os métodos construtivos *Light Steel Frame* (LSF) e *Light Wood Frame* (LWF), sob os aspectos de sustentabilidade, custo e a viabilidade de implementação, com especial atenção ao contexto brasileiro para a tipologia de TH. Ambos os métodos apresentam características específicas que influenciam diretamente sua aplicação e eficiência. A comparação entre esses dois métodos considera a sustentabilidade dos materiais, os custos diretos envolvidos na construção e viabilidade prática de sua implementação no Brasil, onde fatores como o clima, disponibilidade de materiais e desafios urbanos são parâmetros na escolha do método mais adequado para o projeto de uma construção, como as TH.

6.1 SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade no setor da construção civil tem se tornado uma questão central nas últimas décadas, impulsionada pelas crescentes demandas por práticas mais responsáveis e pelo reconhecimento dos impactos ambientais significativos associados aos métodos construtivos tradicionais. O conceito de "sustentabilidade" foi amplamente difundido pelo Relatório Brundtland (1987), que define como "o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às próprias necessidades". Na construção civil, isso envolve a adoção de práticas que minimizem o consumo de recursos naturais, reduzam as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e promovam o uso eficiente de energia e materiais ao longo de todo o ciclo de vida das edificações (Ghisellini *et al.*, 2016; Cabeza *et al.*, 2014).

Para compreender o impacto da construção civil, é importante considerar o conceito de "pegada ecológica", que mede a quantidade de recursos naturais necessários para sustentar as atividades humanas, incluindo a construção e operação de edificações. A pegada ecológica quantifica a demanda humana sobre os ecossistemas (Van Bellen, 2006), expressando-a em termos de hectares globais. Ela considera tanto a área necessária para produzir os recursos consumidos quanto a área necessária para absorver os resíduos gerados, incluindo as emissões de CO₂

(Wackernagel; Rees, 1996). Na construção civil, essa métrica analisa como o setor consome grandes quantidades de matérias-primas, energia e água, além de gerar resíduos e emissões significativas de GEE.

O setor da construção civil é um dos principais contribuintes para as mudanças climáticas, sendo responsável por 39% das emissões globais de GEE, 36% do consumo global de energia e aproximadamente 50% do uso total de matérias-primas extraídas anualmente (Oberle *et al.*, 2019; *International Energy Agency.*, 2021). Os GEE, como o dióxido de carbono (CO₂), emitidos durante a construção e operação de edificações, são os principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas, uma vez que retêm calor na atmosfera e elevam a temperatura média do planeta (IPCC, 2021; Oberle, 2019). Além disso, o setor da construção civil consome cerca de 21% da água doce disponível no planeta, um recurso essencial para a vida humana e a preservação dos ecossistemas (UNESCO, 2021), e gera aproximadamente 40% dos resíduos sólidos (CBCS, 2014), que frequentemente acabam em aterros sanitários, causando poluição e ocupando grandes áreas de terreno (Eurostat, 2019).

Diante desse cenário, a busca por soluções que possam minimizar esses impactos tornou-se uma prioridade. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) fornecem um roteiro para alinhar as práticas do setor da construção civil com as metas globais de sustentabilidade. Entre os 17 ODS, destacam-se os relacionados à ação climática (ODS 13), cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) e consumo e produção responsáveis (ODS 12), que possuem conexão com o setor de construção (CF, 2015).

Dentro desse contexto, as TH surgem como uma alternativa promissora para minimizar impactos relacionados à sustentabilidade na construção civil. O *Moviment Tiny House* incentiva um estilo de vida minimalista, que não apenas reduz o consumo de recursos, mas também diminui a geração de resíduos. A limitação de espaço nas TH leva seus moradores a adotarem práticas de consumo mais responsáveis, alinhadas a ODS 12, que visa assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis. Essa mudança cultural é significativa, pois o impacto ambiental reduzido envolve tanto a construção dessas habitações, quanto o modo de vida dos ocupantes. De acordo com um estudo realizado por Ruitter (2020), que analisou três comunidades de TH (BouwEXPO tiny housing, Tiny Village Kleinhuizen e Tiny house Ede) e seus moradores, foi concluído que o estilo de vida minimalista frequentemente adotado pelos residentes dessas habitações reflete diretamente em escolhas que diminuem a pegada ecológica. Essas escolhas incluem o uso

eficiente de energia, a redução de consumo de água, a preferência por materiais de origem sustentável, e a diminuição da quantidade de bens materiais.

A análise que foi apresentada destaca a relevância das TH como uma alternativa sustentável para a construção civil, especialmente por promoverem um estilo de vida que reduz o impacto ambiental. No entanto, a sustentabilidade dessas habitações também depende significativamente dos métodos construtivos empregados. A seguir, será realizada uma análise comparativa entre os métodos LWF e LSF, explorando como cada um impacta a sustentabilidade das TH. A partir dessa comparação, será possível avaliar qual tecnologia pode oferecer melhor desempenho em termos ambientais.

6.1.1 Sustentabilidade do Aço

O aço é amplamente reconhecido como um material sustentável na construção civil (LP *Building Products*, 2011). No Brasil, o uso do aço tem aumentado, impulsionado por suas características técnicas (Santiago, 2012). Embora a produção de aço seja conhecida por seu alto consumo de energia e emissões de CO₂, o material possui propriedades que ajudam a mitigar esses impactos, como sua alta reciclabilidade (Santiago, 2012) e infraestrutura já existente para sua produção e transporte no país. De acordo com as diretrizes de sustentabilidade, o aço pode ser considerado um componente essencial em sistemas de Construção Energética Sustentável (CES). Seus principais atributos sustentáveis incluem:

- **Reciclabilidade completa:** o aço é um material totalmente reciclável (Chaves, 2020), mantendo suas propriedades mecânicas mesmo após repetidos processos de reciclagem. De acordo com a *World Steel Association* (2020), cerca de 85% do aço utilizado em construção é reciclado, o que contribui significativamente para a redução do consumo de novas matérias-primas e energia. Nas Tabelas 2 e 3 é possível perceber a redução no consumo de matéria-prima ao longo dos anos, considerando fontes de matérias-primas externas e internas, respectivamente.

Tabela 2 – Consumo de matérias-primas para a produção do aço

Consumo de matérias-primas de fontes externas* (10³ t)	2018	2019	2020
Carvão mineral / antracito	15.101	12.176	11.319
Coque	3.232	1.908	1.495
Coque de petróleo	1.339	1.496	1.443
Carvão vegetal	1.414	1.717	1.573
Minério de ferro ¹	43.939	36.797	33.856
Minério manganês	126	122	109
Ferro-gusa	1.509	1.368	1.208
Sucata de ferro e aço	6.169	5.205	5.456
Dolomita crua	1.823	1.967	1.544
Calcário cru	3.426	2.321	2.332
Cal calcítica / dolomítica ²	2.304	2.284	2.016
Ferroligas	523	436	407
Total	80.905	67.797	62.758

Fonte: Aço Brasil, 2020

Tabela 3 – Consumo de matérias-primas na produção do aço

Consumo de matérias-primas produzidas internamente (10³ t)	2018	2019	2020
Coque	9.293	7.350	6.967
Sinter	30.761	27.173	25.754
Ferro-gusa	27.253	23.024	20.645
Sucata de ferro e aço	3.059	2.584	2.501
Cal calcítica/dolomítica	627	150	179
Total	70.992	60.281	56.046

Fonte: Aço Brasil, 2020

A produção do aço reciclado consome consideravelmente menos energia em comparação com a produção a partir de matérias-primas virgens, resultando em menores emissões de CO₂, como apresentado na Tabela 4 e 5.

Tabela 4 – Emissões de GEE na produção do aço de acordo com a *Worldsteel*

Emissões de GEE (<i>worldsteel</i>)	2018	2019	2020
Emissão absoluta (10 ³ t CO ₂)	64.649	50.822	47.013
Emissão específica (t CO ₂ /t aço bruto)	1,9	1,8	1,7

Fonte: Aço Brasil, 2020

Tabela 5 – Emissões de GEE na produção do aço de acordo com o IPCC

Emissões de GEE (IPCC)	2018	2019	2020
Emissão absoluta (10 ³ t CO ₂)	61.626	47.732	44.752
Emissão específica (t CO ₂ /t aço bruto)	1,8	1,7	1,6

Fonte: Aço Brasil, 2020

Para atender as metas globais, uma das siderúrgicas no Brasil, a Aço Verde Brasil (AVB), se destacou em 2020 ao se tornar a primeira produtora de aço carbono neutro no mundo. A certificação, concedida pela *Société Générale de Surveillance* (SGS), reflete o uso exclusivo de energias renováveis e a reutilização dos coprodutos de produção do aço. Utilizando carvão vegetal reflorestado e substituindo combustíveis fósseis por gases de processo, a AVB alcançou índices de emissão de CO₂ de 0,06t em 2019 e -0,04t em 2020, contrastando com a média global de 1,56t a 3,38t de CO₂/t de aço bruto, segundo a *World Steel Association*. Além disso, a AVB continua investido em tecnologias para atingir a meta de "resíduo zero", reciclando e reutilizando todos os seus resíduos sólidos (Relatório Aço Brasil, 2020).

- **Construção Seca:** a construção com aço possibilita a adoção de métodos de construção seca, que eliminam a necessidade de água durante o processo de montagem das estruturas. Isso é relevante em regiões onde há escassez de água, contribuindo para a conservação desse recurso essencial. A construção seca também reduz o tempo total de obra e minimiza impactos ambientais associados ao uso de água, como a contaminação e o desperdício (Bertolini, 2013)
- **Desempenho Energético:** apesar do aço não ter um bom desempenho térmico, a combinação com materiais isolantes pode contribuir para a eficiência térmica das edificações. De acordo com o estudo de Kosny e Christian (1995), o aço em combinação com tecnologias de isolamento, pode reduzir significativamente a necessidade de sistemas de climatização, diminuindo o consumo de energia e a pegada de carbono das construções.
- **Redução de Resíduos:** o uso de componentes de aço pré-fabricados na construção civil permite uma redução significativa de resíduos no canteiro de obra. A precisão no corte e na montagem das peças de aço não só otimiza o uso do material, mas também facilita a desmontagem e a reutilização dos componentes. Além disso, o aço é um material que pode ser reciclado ao final de sua vida útil, contribuindo para a redução de resíduos em aterros e a sustentabilidade da construção (Aye, *et al.*, 2012).
- **Menor impacto nas fundações:** a leveza do aço em comparação com outros materiais estruturais, como o concreto, permite que as fundações das edificações sejam projetadas com menor robustez. Isso resulta em uma economia significativa de materiais e energia durante a construção (Pinho, 2009). A leveza do aço também facilita o transporte e o

manuseio dos componentes, o que pode diminuir as emissões associadas ao transporte de materiais.

- Resistência a pragas e durabilidade: o aço é naturalmente resistente a pragas, como cupins, que podem comprometer a integridade de edificações feitas com materiais orgânicos (Silva, 2020). Essa característica reduz a necessidade de tratamentos químicos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, e minimiza manutenção ao longo da vida útil da edificação, resultando em menor consumo de recursos e menor impacto ambiental (*American Institute of Steel Construction*, 2019).
- Resistência à corrosão: apesar de sua durabilidade e resistência a pragas, o aço pode ser suscetível à corrosão, especialmente em ambientes úmidos ou em contato com substâncias químicas agressivas. Para mitigar esse risco, existe a técnica de proteção como a galvanização, que envolve revestir o aço com zinco. O zinco, ao entrar em contato com o ambiente, forma uma camada de óxido que impede a progressão da corrosão no aço. Quando adequadamente protegido, o aço permanece uma opção durável e sustentável, com baixa necessidade de substituição e, portanto, um menor impacto ambiental ao longo do tempo (Pedroso, *et al.*, 2014).
- Compatibilidade com certificações ambientais: o uso do aço em construções facilita o alinhamento dos projetos com diversas certificações ambientais, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) (*British Constructional Steelwork Association*, 2011). Essas certificações promovem práticas construtivas sustentáveis e a eficiência energética das edificações, agregando valor aos projetos e respondendo à crescente demanda por construções que minimizem o impacto ambiental (*US Green Building Council*, 2021).

6.1.2 Sustentabilidade da Madeira

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos e sustentáveis, amplamente valorizado por suas propriedades ecológicas e eficiência energética. No contexto da construção civil, a madeira se destaca não apenas por ser 100% renovável, mas também por seu baixo impacto ambiental, contribuindo significativamente para práticas de construção sustentável. De

acordo com Velloso (2010 p.26), "é um material que vai ao encontro da sustentabilidade e da ecoeficiência na construção". Suas principais qualidades sustentáveis incluem:

- **Recursos Renovável:** a madeira é um recurso natural renovável, desde que proveniente de florestas manejadas de forma sustentável. A prática de manejo florestal certificada, como a promovida pelo *Forest Stewardship Council (FSC)*, garante que as árvores sejam colhidas de maneira responsável, permitindo que as florestas se regenerem e continuem a absorver carbono da atmosfera. Durante o crescimento, as árvores capturam CO₂, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa (Forest..., 2010).
- **Baixo Impacto Energético:** a produção de peças em madeira envolve menos energia em comparação com outros materiais de construção. De acordo com Richter e Werner (2007), mostram que o gasto energético na produção de madeira é significativamente menor, comparado a outros materiais, como o cimento que consome cinco vezes mais energia; o vidro, quatorze vezes; o aço, vinte e quatro vezes mais.
- **Eficiência no beneficiamento:** o processamento da madeira, desde a colheita até sua transformação em material de construção, requer relativamente pouca energia. Além disso, dos subprodutos gerados durante o processo da madeira, como serragem e casca, podem ser reutilizados na produção de energia ou em outros processos industriais, minimizando o desperdício e contribuindo para a eficiência do ciclo de vida do material (Gustavsson *et al.*, 2011).
- **Construção leve e eficiente:** a construção em madeira é considerada uma construção seca, pois requer pouca ou nenhuma água, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a conservação de recursos hídricos. Além disso, a rapidez na montagem de estruturas de madeira pode reduzir significativamente os custos e o tempo de construção (Pereira, *et al.*, 2023).
- **Desempenho Térmico:** a madeira oferece excelente desempenho térmico, proporcionando isolamento natural que contribui para a eficiência energética das edificações. Com uma baixa condutividade térmica, a madeira ajuda a manter temperaturas confortáveis dentro das edificações, o que reduz a necessidade de sistemas de climatização e, conseqüentemente, o consumo de energia (Forest..., 2010).

6.1.3 Análise comparativa entre LSF e LWF quanto à sustentabilidade

Ao comparar os métodos construtivos *Light Steel Frame* e *Light Wood Frame* em termos de sustentabilidade, é possível determinar que cada um apresenta características distintas que influenciam sua viabilidade como solução sustentável na construção civil. No que diz respeito ao impacto ambiental, o LWF, se destaca como a opção mais sustentável. A madeira é um recurso naturalmente renovável e, quando proveniente de fontes certificadas, como por exemplo, a certificação FSC (*Forest Stewardship Council*) e o CERFLOR (Programa Brasileiro de Certificação Florestal), apresenta um desempenho ambiental significativamente mais favorável do que o aço. Além disso, a madeira tem a capacidade de capturar carbono durante seu crescimento, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Embora a madeira possa exigir tratamentos para garantir sua durabilidade, seu impacto inicial em termos de energia incorporada e emissões de carbono é substancialmente menor do que o aço. Lippke et.al (2004) indicam que a fabricação do aço consome 17% mais energia do que a produção de madeira. Além disso, Perez-Garcia et. Al (2005) mostram que o aço utiliza 281% mais energia não-renovável do que a madeira, refletindo uma maior dependência de fontes de energia não renováveis, como apresentado na Tabela 6, que compara dois projetos, onde foi realizada a simulação entre os dois métodos, LWF e LSF, que poderiam ser implantados nos dois estados Minnesota e Geórgia, dos Estados Unidos: Minneapolis e o Atlanta, a fim de analisar os impactos ambientais que a construção desses projetos poderia ter.

Tabela 6 – Índice de desempenho ambiental para projetos de paredes em construções residenciais (Minnesota e Geórgia)

	Wood Frame	Steel Frame	Diferença
Minneapolis design			
Energia incorporada (GJ)	250	296	46
Potencial de aquecimento global (CO ₂ kg)	13,009	17,262	4,253
Índice de emissão atmosférica	3,820	4,222	402
Índice de emissão de água	3	29	26
Resíduos sólidos (total kg)	3,496	3,181	-315
Atlanta design			
Energia incorporada (GJ)	168	231	63
Potencial de aquecimento global (CO ₂ kg)	8,345	14,982	6,637
Índice de emissão atmosférica	2,313	3,373	1,060
Índice de emissão de água	2	2	0
Resíduos sólidos (total kg)	2,325	6,152	3,827

Fonte: Adaptado de Lippke *et al.*, 2004

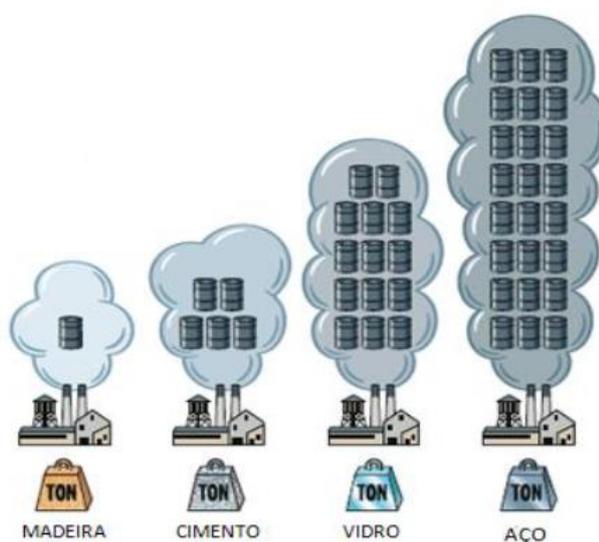
No contexto nacional, o Brasil possui uma produção industrial de madeira significativa, especialmente em áreas como o sul do país. A disponibilidade de madeira certificada de florestas manejadas sustentavelmente poderia favorecer o uso do LWF. No entanto, é importante considerar a origem da madeira para evitar o desmatamento ilegal, que ainda é um problema no país (Arrais; Mariano; Simonassi, 2012). Para o LSF, o Brasil também possui uma indústria siderúrgica robusta, embora a produção de aço continue a ser uma atividade com alta emissão de CO₂. A reciclagem de aço é um ponto positivo, mas no contexto brasileiro, é importante avaliar a eficiência dos processos de reciclagem e a infraestrutura disponível para suportar essa prática de maneira eficiente.

Em termos de eficiência energética, o LWF se destaca em comparação com o LSF. De acordo com Yost (1995), o aço tem uma alta condutividade térmica, o que pode resultar em pontes térmicas - áreas onde o calor pode escapar mais facilmente. Essas pontes térmicas podem comprometer a eficiência energética da edificação, quando não for adotada medidas como barreiras térmicas e isolamento. Isso pode ocasionar um aumento no consumo de energia para aquecimento e resfriamento ao longo da vida útil da edificação. Aplicando para a realidade

brasileira, o desempenho térmico de materiais de construção é particularmente relevante em um país com grande diversidade climática. Em regiões mais frias, como no Sul, o LWF pode oferecer vantagens devido à sua capacidade de isolamento térmico. Já em regiões quentes e úmidas, como o Nordeste, é necessário considerar o comportamento dos materiais em relação à umidade e a necessidade de ventilação adequada. O LSF pode exigir mais cuidados para evitar pontes térmicas, especialmente em regiões onde o controle da temperatura interna é essencial. O uso de isolantes térmicos adequados é fundamental para garantir a eficiência energética, e a escolha desses isolantes deve considerar a disponibilidade e o custo no Brasil.

A comparação entre o LWF e o LSF em termos de sustentabilidade, no Brasil, deve considerar diversos fatores, tais como, a pegada de carbono associada à produção e ao transporte dos materiais. Enquanto a madeira se destaca por capturar o carbono durante o crescimento das árvores, o aço possui um alto consumo energético na sua fabricação, como é mostrado na Figura 17. No entanto, o ciclo de vida completo do aço, pode mitigar parte desse impacto inicial (Yost, 1995).

Figura 18 – Comparativo da quantidade de energia necessária para a produção de uma tonelada de madeira, cimento, vidro e aço.



Fonte: Adaptado de APA, 2012

Além disso, a durabilidade e a manutenção das construções influenciam diretamente na sustentabilidade. Estruturas de LSF tendem a requerer menos manutenção ao longo do tempo e

possuem maior resistência a pragas e intempéries, prolongando sua vida útil e reduzindo a necessidade de reparos frequentes. Em contrastem, as construções de LWF, embora duráveis, demandam cuidados periódicos para assegurar sua integridade e desempenho, sendo as principais manifestações patológicas, as descolorações causadas por fungos manchadores ou substâncias químicas ou por ataques de insetos e/ou fungos apodrecedores (Brito, 2014). Calil Junior e Molina (2010) destacam que madeiras como o pinus possuem alta permeabilidade ao tratamento em autoclave, essencial para evitar os ataques de organismos xilófagos. No Brasil, recomenda-se o uso de madeira tratada em toda a estrutura, sendo o tratamento mais adequado aquele realizado em autoclave com produtos hidrossolúveis, como CCA (Cobre-Cromo-Arsênio) e CCB (Cobre-Cromo-Boro), que protegem a madeira contra fungos e cupins. A alta umidade em diversas regiões brasileiras pode representar um desafio para o LWF, tornando necessária a utilização de tratamentos químicos contra pragas e umidade, o que pode aumentar o custo e o impacto ambiental. No entanto, em regiões mais secas, como o Centro-Oeste, o LWF pode ser uma opção viável com menor necessidade de manutenção.

A escolha entre LWF e LSF deve ser orientada pelas características regionais, como o clima, disponibilidade de materiais e condições do solo. Para a tipologia de habitação TH, ambos os métodos são adequados em tempos de projeto, modularidade e adequação executiva. Contudo, a escolha por um ou por outro deve considerar os aspectos discutidos quanto à sustentabilidade, levando em conta os fatores regionais e a obtenção e fabricação dos materiais. Em regiões onde a madeira é abundante e o clima é seco, o LWF pode ser a opção mais sustentável e econômica. Já em áreas urbanas densas ou com climas adversos, o LSF pode oferecer maior durabilidade e flexibilidade arquitetônica, alinhando o projeto com medidas sustentáveis.

6.2 CUSTO

A análise dos custos de uma TH abrange uma ampla gama de elementos, desde a escolha dos materiais de construção até a metodologia construtiva utilizada. A seleção dos materiais não só influencia a estética e a durabilidade da estrutura, mas também impacta significativamente os custos iniciais do projeto. A adoção de métodos construtivos industrializados, como o LSF e o LWF, permite a estruturação do processo de construção de maneira a maximizar as vantagens da tecnologia industrializada. Esse processo é geralmente dividido em sete etapas principais:

planejamento preliminar, contratação, planejamento executivo, fabricação, montagem, monitoramento e recebimento, como é demonstrado na Figura 18.

Figura 19 – Etapas do processo construtivo industrializado



Fonte: ABDI, 2015

No planejamento preliminar, os custos envolvem principalmente serviços de profissionais, como engenheiros e arquitetos, além de estudos de viabilidade, projetos e consultorias. É nessa etapa que são avaliadas as possibilidades e desafios do projeto, sendo essencial para prever e mitigar custos futuros (Casarotto Filho, *et al.*, 1999). A fase de contratação traz despesas associadas à formalização de contratos com fornecedores e prestadores de serviço, que podem incluir taxas de contratação, adiantamento e custos administrativos. Após essas etapas iniciais, o planejamento executivo concentra custos significativos relacionados ao desenvolvimento detalhado do projeto (Lopes, 2018). Isso inclui a elaboração de projetos executivos, coordenação entre as diferentes disciplinas e alinhamento antes da fabricação dos componentes. Na etapa de fabricação, os custos são diretamente relacionados à produção dos componentes construtivos em um ambiente controlado. Além disso, o uso de equipamentos específicos para a fabricação pode representar um investimento significativo, mas também traz economia ao reduzir desperdícios e aumentar a eficiência (Pés Descalços, 2019). A montagem no local, por sua vez, concentra despesas com mão de obra local e o uso de equipamentos de montagem. No entanto, devido à natureza pré-fabricada dos componentes, essa fase tende a ser mais rápida e menos custosa em comparação com métodos de construção tradicionais, reduzindo também o

tempo total de obra (Ecker; Martins, 2014). Por fim, a etapa de monitoramento e recebimento possuem custos que geralmente envolvem inspeções finais, correções necessárias e formalização da entrega do projeto.

No geral, os métodos construtivos industrializados permitem uma distribuição mais controlada dos custos ao longo das etapas. Essa abordagem pode resultar em uma redução dos custos globais do projeto, ao minimizar desperdícios, reduzir o tempo de obra, refletindo em uma economia ao longo do prazo na construção de uma TH.

6.2.1 Análise comparativa entre LSF e LWF quanto ao custo

Devido à falta de dados consolidados específicos para TH, será analisado o orçamento elaborado na pesquisa de Ecker e Martins (2014), que faz um comparativo de custos entre diferentes métodos construtivos para habitação popular, na cidade de Curitiba - Paraná. Entre os métodos analisados estão o *Light Steel Frame (LSF)* e o *Light Wood Frame (LWF)*.

Na pesquisa mencionada, foi realizado um estudo de um projeto com uma área de 50 m². Apesar de não ser considerado uma TH, este projeto serve como base para analisar o custo direto por metro quadrado (m²) de cada um dos métodos construtivos. Além disso, apesar do estudo ter sido realizado em 2014, é possível verificar comparativamente a diferença de custos entre os diferentes métodos.

Ao analisar o quadro do orçamento (Figura 19), que compara os dois métodos construtivos, observa-se que a maioria dos serviços não apresenta diferença significativa nos custos entre os métodos LSF e LWF, ou seja, ambos os métodos têm o mesmo custo para a maior parte dos serviços. No entanto, dois serviços se destacam por apresentarem diferenças de custo: Painéis e Cobertura. Esses serviços têm um impacto direto no custo total, visto que o método construtivo afeta os materiais e a mão de obra necessários para essas partes da construção.

Tabela 7 – Comparativo de custos diretos de LSF e LWF para uma casa de 50 m².

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	STEEL FRAME	WOOD FRAME
SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$ 158,18	R\$ 158,18
FUNDAÇÃO (RADIÉR h=12cm)	R\$ 4.032,87	R\$ 4.032,87
PAINÉIS	R\$ 14.374,29	R\$ 10.179,35
ESQUADRIAS	R\$ 3.881,97	R\$ 3.881,97
FORRO	R\$ 2.587,24	R\$ 2.587,24
COBERTURA	R\$ 4.452,37	R\$ 4.692,39
REVESTIMENTO DE PISO	R\$ 1.355,08	R\$ 1.355,08
REVESTIMENTO PAREDE EXTERNO	R\$ 796,96	R\$ 796,96
PINTURA	R\$ 3.500,23	R\$ 3.500,23
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	R\$ 2.758,00	R\$ 2.758,00
INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS	R\$ 1.105,00	R\$ 1.105,00
APARELHOS SANITÁRIOS	R\$ 801,98	R\$ 801,98
LIMPEZA FINAL	R\$ 66,37	R\$ 66,37

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Conforme pode ser verificado no quadro da Figura 19, com relação aos painéis e cobertura:

- Painéis: neste serviço, o método LSF apresentou um custo adicional de R\$ 4.194,94 em comparação ao LWF, tornando-o mais caro.
- Cobertura: neste serviço, o método LSF teve uma economia de R\$ 240,02 em comparação ao LWF.

Essas diferenças mostram que, embora a maioria dos custos seja idêntica entre os dois métodos, para o estudo considerado na análise, a escolha entre LSF e LWF pode resultar em variações significativas em aspectos específicos do projeto.

Ao analisar a Figura 20, com base em Ecker e Martins (2014), observa-se que o custo total da estrutura em LSF (incluindo a mão de obra) está estimado em R\$ 9.867,98. Em contrapartida, para a estrutura em LWF (Figura 21), o custo é de R\$ 5.666,73, representando uma economia

de aproximadamente 43%. Na análise de custos, no LWF, considera-se a inclusão da membrana hidrófuga para o envelopamento inferior da placa OSB. Enquanto no LSF há o custo da fita de vedação feitas de manta asfáltica, conhecidas como *flashing* que serve como proteção dos perfis contra a umidade ascensional. No entanto, a principal razão para essa variação está no custo dos materiais, com o aço sendo 88% mais caro que a madeira. O custo do material da estrutura em aço é de R\$ 8.425,68, enquanto o da estrutura em LWF é de R\$ 4.485,00.

Figura 20 – Planilha orçamentaria da estrutura de LSF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3		PAINÉIS								
3.1		ESTRUTURA								
3.1.1	Mercado	Estrutura em perfis de aço formados a frio, Light Steel Framing	kg	875,85	9,62	0,00	9,62	8425,68	0,00	8425,68
3.1.2	Mercado	Chumbadores tipo Parabol 5/16"X4.1/4"	un	53,00	4,24	0,00	4,24	224,72	0,00	224,72
3.1.3	Mercado	Banda acustica para proteção dos perfis em contato com o radier	m	50,50	4,12	0,00	4,12	208,06	0,00	208,06
3.1.4	Mercado	Flashing para proteção dos perfis em contato com o radier	m	50,00	12,12	0,00	12,12	606,00	0,00	606,00
3.1.5	Mercado	Mão de Obra	h	32,00	0,00	12,61	12,61	0,00	403,52	403,52
										9.867,98

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Figura 21 – Planilha orçamentária da estrutura de LWF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3		PAINÉIS								
3.1		ESTRUTURA								
3.1.1	Mercado	Estrutura em madeira tratada formada por montantes e guias 38x89mm, c=5,00m	pç	115,00	39,00	0,00	39,00	4485,00	0,00	4485,00
3.1.2	Mercado	Prego 18x36 galvanizado	kg	15,00	7,20	0,00	7,20	108,00	0,00	108,00
3.1.3	Mercado	Chumbadores tipo Parabol 5/16"X4.1/4"	un	53,00	4,24	0,00	4,24	224,72	0,00	224,72
3.1.4	Mercado	Banda acustica para proteção das guias em contato com o radier	m	50,50	4,12	0,00	4,12	208,06	0,00	208,06
3.1.5	Mercado	Membrana hidrófuga - Typar para envelopamento inferior do OSB	m2	19,88	10,04	0,00	10,04	199,60	0,00	199,60
3.1.6	Mercado	Mão de Obra	h	35,00	0,00	12,61	12,61	0,00	441,35	441,35
										5.666,73

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Para os revestimentos de parede externos, os autores estimaram o custo de R\$ 4.506,31 para o LSF (Figura 22) e de R\$ 4.512,62 para LWF (Figura 23). Essa diferença mínima de custos, inferior a 0,14% é atribuída principalmente à variação nos custos de mão de obra, que, apesar de pouco significativa, foi suficiente para gerar uma pequena distinção entre os dois métodos.

Figura 22 – Planilha orçamentária do revestimento de parede externo de LSF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3.2		REVESTIMENTOS DE PAREDE EXTERNO								
3.2.1	Mercado	Membrana hidrófuga - Typar	m2	65,81	10,04	0,00	10,04	660,73	0,00	660,73
3.2.2	Mercado	Parafusos para fixação	un	306,00	0,22	0,00	0,22	67,32	0,00	67,32
3.2.3	Mercado	Placa cimentícia Brasilit - 1200x3000x10mm	un	25,00	73,29	0,00	73,29	1832,25	0,00	1832,25
3.2.4	Mercado	Parafusos para fixação	un	2103,00	0,11	0,00	0,11	231,33	0,00	231,33
3.2.5	Mercado	Massa para juntas Brasilit	kg	81,49	10,55	0,00	10,55	859,72	0,00	859,72
3.2.6	Mercado	Fita 10 cm fibrotape	m	136,81	0,75	0,00	0,75	102,61	0,00	102,61
3.2.7	Mercado	Fita 5 cm fibrotape	m	136,81	0,55	0,00	0,55	75,25	0,00	75,25
3.2.8	Mercado	Cordão delimitador de junta - Brasilit	m	85,89	0,10	0,00	0,10	8,59	0,00	8,59
3.2.9	Mercado	Primer para para junta	kg	7,10	7,76	0,00	7,76	55,10	0,00	55,10
3.2.10	Mercado	Massa para acabamento de juntas Brasilit	kg	18,16	7,25	0,00	7,25	131,66	0,00	131,66
3.2.11	Mercado	Cantoneira metálica perfurada para drywall e placa cimentícia	kg	74,50	1,05	0,00	1,05	78,23	0,00	78,23
3.2.12	Mercado	Mão de Obra	h	32,00	0,00	12,61	12,61	0,00	403,52	403,52
										4.506,31

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Figura 23 – Planilha orçamentária do revestimento de parede externo de LSF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3.2		REVESTIMENTOS DE PAREDE EXTERNO								
3.2.1	Mercado	Membrana hidrófuga - Typar	m2	65,81	10,04	0,00	10,04	660,73	0,00	660,73
3.2.2	Mercado	Parafusos para fixação	un	306,00	0,22	0,00	0,22	67,32	0,00	67,32
3.2.3	Mercado	Placa cimentícia Brasilit - 1200x2400x10mm	un	25,00	73,29	0,00	73,29	1832,25	0,00	1832,25
3.2.4	Mercado	Parafusos para fixação	un	2103,00	0,11	0,00	0,11	231,33	0,00	231,33
3.2.5	Mercado	Massa para juntas Brasilit	kg	81,49	10,55	0,00	10,55	859,72	0,00	859,72
3.2.6	Mercado	Fita 10 cm fibrotape	m	136,81	0,75	0,00	0,75	102,61	0,00	102,61
3.2.7	Mercado	Fita 5 cm fibrotape	m	136,81	0,55	0,00	0,55	75,25	0,00	75,25
3.2.8	Mercado	Cordão delimitador de junta - Brasilit	m	85,89	0,10	0,00	0,10	8,59	0,00	8,59
3.2.9	Mercado	Primer para para junta	kg	7,10	7,76	0,00	7,76	55,10	0,00	55,10
3.2.10	Mercado	Massa para acabamento de juntas Brasilit	kg	18,16	7,25	0,00	7,25	131,66	0,00	131,66
3.2.11	Mercado	Cantoneira metálica perfurada para drywall e placa cimentícia	kg	74,50	1,05	0,00	1,05	78,23	0,00	78,23
3.2.12	Mercado	Mão de Obra	h	32,50	0,00	12,61	12,61	0,00	409,83	409,83
										4.512,62

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Ao avaliar o revestimento de parede interno, o custo do LSF foi estimado em R\$ 4.066,49 (Figura 24), enquanto o do LWF foi de R\$ 3.871,04 (Figura 25). A diferença de custo, que chega a 5,04% deve-se, em grande parte, à mão de obra. Observou-se que o custo da mão de obra para o LSF é de 47,69% mais caro do que para o LWF, pois demanda mais tempo de trabalho. Essa variação pode ser justificada pela maior complexidade técnica associada à instalação de sistemas metálicos em comparação aos sistemas de madeira (Pés Descalços, 2024). Além disso, no método LWF, foi utilizada a placa OSB, reconhecida por sua boa resistência mecânica e estabilidade dimensional, e admitida pelos autores como adequada tanto

para o fechamento quanto para o auxílio no contraventamento da estrutura. No caso do LSF, o contraventamento é realizado através de perfis metálicos instalados nas diagonais.

Figura 24 – Planilha orçamentária do revestimento de parede interna de LSF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3.3		REVESTIMENTOS DE PAREDE INTERNO								
3.3.1	Mercado	Gesso acartonado 12.5mm - Standard borda rebaixada 1,20X2,60	un	42,00	37,30	0,00	37,30	1566,60	0,00	1566,60
3.3.2	Mercado	Gesso acartonado 12.5mm - Resistente à umidade borda rebaixada 1,20X2,60	un	16,00	49,54	0,00	49,54	792,64	0,00	792,64
3.3.3	Mercado	Parafusos para fixação TTPF 25	un	4450,00	0,07	0,00	0,07	311,50	0,00	311,50
3.3.4	Mercado	Parafusos para fixação TRPF 13	un	1314,00	0,02	0,00	0,02	26,28	0,00	26,28
3.3.5	Mercado	Fita cartão para gesso acartonado	m	297,74	0,08	0,00	0,08	23,82	0,00	23,82
3.3.6	Mercado	Massa para juntas drywall	kg	93,57	1,19	0,00	1,19	111,35	0,00	111,35
3.3.7	Mercado	Selante Poliuretano Selamax 400gr	un	2,00	11,00	0,00	11,00	22,00	0,00	22,00
3.3.8	Mercado	Cantoneira metálica perfurada	m	70,00	1,05	0,00	1,05	73,50	0,00	73,50
3.3.9	Mercado	Isolamento termoacústico em lã de vidro e=50mm	m2	123,50	4,32	0,00	4,32	533,52	0,00	533,52
3.3.10	Mercado	Mão de Obra	h	48,00	0,00	12,61	12,61	0,00	605,28	605,28
										4.066,49

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Figura 25 – Planilha orçamentária do revestimento de parede interno de LWF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
3.3		REVESTIMENTOS DE PAREDE INTERNO								
3.3.1	Mercado	LP OSB HOME PLUS MDI 11,1X1200X3000	un	22,00	39,35	0,00	39,35	865,70	0,00	865,70
3.3.2	Mercado	Parafusos ponta agulha 32mm	cx	1672,00	0,038	0,00	0,038	63,54	0,00	63,54
3.3.3	Mercado	Gesso acartonado 12.5mm - Standard borda rebaixada 1,20X2,60	un	42,00	37,30	0,00	37,30	1566,60	0,00	1566,60
3.3.4	Mercado	Gesso acartonado 12.5mm - Resistente à umidade borda rebaixada 1,20X2,60	un	16,00	49,54	0,00	49,54	792,64	0,00	792,64
3.3.5	Mercado	Parafusos para fixação TTPF 25	un	4450,00	0,07	0,00	0,07	311,50	0,00	311,50
3.3.6	Mercado	Parafusos para fixação TRPF 13	un	1314,00	0,02	0,00	0,02	26,28	0,00	26,28
3.3.7	Mercado	Fita cartão para gesso acartonado	m	297,74	0,08	0,00	0,08	23,82	0,00	23,82
3.3.8	Mercado	Massa para juntas drywall	kg	93,57	1,19	0,00	1,19	111,35	0,00	111,35
3.3.9	Mercado	Selante Poliuretano Selamax 400gr	un	2,00	11,00	0,00	11,00	22,00	0,00	22,00
3.3.10	Mercado	Cantoneira metálica perfurada	m	70,00	1,05	0,00	1,05	73,50	0,00	73,50
3.3.11	Mercado	Isolamento termoacústico em lã de vidro e=50mm	m2	123,50	4,32	0,00	4,32	533,52	0,00	533,52
3.3.12	Mercado	Mão de Obra	h	32,50	0,00	12,61	12,61	0,00	409,83	409,83
										3.871,04

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Ambos os métodos utilizaram a lã de vidro como material de isolamento termoacústico. A lã de vidro é reconhecida por sua eficiência em isolamento térmico e acústico, e por ser uma das opções mais econômicas disponíveis no mercado nacional, como é mostrado na Tabela 7. Contudo, é importante ressaltar que a lã de vidro possui alta toxicidade, especialmente quando manuseada de forma inadequada, podendo liberar fibras respiráveis que são prejudiciais à saúde (Pés Descalços, 2024). Para a decisão por sua utilização, deve ser levado em conta os riscos

associados frente à competitividade de preço, que torna esse material uma opção atrativa para construções que buscam otimizar custos.

Tabela 8 – Comparação dos isolamentos disponíveis no mercado nacional

	 Conduktividade Térmica W/(m.°C)	 Deformação com Vibração	 Toxicidade	 Inflamabilidade	 Retenção de Umidade	 Preço
Espuma expansiva	0,033	Nula	Alta	Depende do composto	Baixa	\$\$\$\$\$
XPS ou EPS	0,033	Nula	Baixa	Alta	Média	\$\$\$\$
Fibra de Vidro	0,036	Média	Alta	Baixa	Média	\$
Lã de Rocha	0,039	Alta	Alta	Baixa	Alta	\$\$
Lã de Pet	0,042	Nula	Nula	Baixa	Nula	\$\$\$

Fonte: Pés Descalços, 2024

Além do isolamento termoacústico, outro elemento de grande importância para o desempenho das TH são as esquadrias (Lima, 2021). Embora não tenha havido variação de custos entre os métodos LSF e WF nesse aspecto, a análise comparativa dos materiais de esquadrias, como ilustrado na Tabela 8, oferece uma comparação que permita uma escolha mais adequada de acordo com as necessidades específicas de cada projeto. Destaca-se que a escolha dos componentes precisa considerar as condições de exposição e solicitações ambientais para correta especificação. Portanto, para a escolha do material deve ser levado em conta não apenas o preço, mas também como esses materiais influenciam no conforto, na eficiência energética e na durabilidade da edificação.

Tabela 9 – Comparação dos materiais das esquadrias disponíveis no mercado nacional



Fonte: Pés Descalços, 2019

Outro item que teve variação entre os métodos construtivos foi a cobertura, composta pela estrutura da cobertura e pelo telhamento. A variação ocorreu no preço da estrutura e mão de obra. O valor para LSF foi de R\$ 2.722,58 (Figura 26) e para LWF R\$ 2.962,60 (Figura 27), com uma variação, principalmente no tempo de mão de obra estimada.

Figura 26 – Planilha orçamentária da cobertura de LSF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
6		COBERTURA								
6.1		ESTRUTURA DA COBERTURA								
6.1.1	Mercado	Estrutura em perfis de aço formados a frio, Light Steel Framing	kg	262,04	9,62	0,00	9,62	2520,82	0,00	2520,82
6.1.2	Mercado	Mão de Obra	h	16,00	0,00	12,61	12,61	0,00	201,76	201,76
										2.722,58
6.2		TELHAMENTO								
6.2.1	74088/1	TELHAMENTO COM TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA, ESPESSURA 6MM, INCLUSIVE JUNTAS DE VEDACAO E ACESSORIOS DE FIXACAO, EXCLUINDO MADEIRAMENTO	m2	74,98	18,63	4,44	23,07	1396,88	332,91	1729,79
										1.729,79

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Figura 27 – Planilha orçamentária da cobertura de LWF

ITEM	CÓDIGO DO SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO UNITÁRIO	MATERIAL	MÃO DE OBRA	CUSTO TOTAL (R\$)
6		COBERTURA								
6.1		ESTRUTURA DA COBERTURA								
6.1.1	Mercado	Estrutura em madeira para tessoras, tratada c/ seção 38x89mm, c=5,00m	pç	28,00	39,00	0,00	39,00	1092,00	0,00	1092,00
6.1.2	Mercado	Estrutura em madeira para tessoras, tratada c/ seção 38x89mm, c=4,00m	pç	50,00	28,60	0,00	28,60	1430,00	0,00	1430,00
6.1.3	Mercado	Ripas para fibrocimento seção 2,5x5cm	m	92,00	1,50	0,00	1,50	138,00	0,00	138,00
6.1.4	Mercado	Prego 18x36 galvanizado	un	7,00	7,20		7,20	50,40	0,00	50,40
6.1.5	Mercado	Mão de Obra	h	20,00	0,00	12,61	12,61	0,00	252,20	252,20
										2.962,60
6.2		TELHAMENTO								
6.2.1	74088/1	TELHAMENTO COM TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA, ESPESSURA 6MM, INCLUSO JUNTAS DE VEDACAO E ACESSORIOS DE FIXACAO, EXCLUINDO MADEIRAMENTO	m2	74,98	18,63	4,44	23,07	1396,88	332,91	1729,79
										1.729,79

Fonte: Adaptado de Ecker; Martins, 2014

Como mencionado, os autores consideraram um projeto residencial de baixo padrão, o que não necessariamente corresponde aos padrões de uma TH, visto a necessidade de atendimento mínimo de especificações quanto ao conforto e eficiência energética. O custo estimado de uma TH, tomando como base o custo por m² de Ecker e Martins (2014), seria de R\$ 878,74 para o LSF e R\$ 795,73 para o LWF. Considerando uma TH de 30 m², por exemplo, o custo com a construção seria de R\$ 26.362,20 para o método *Light Steel Frame* e R\$ 23.871,90 para o método *Light Wood Frame*. Vale ressaltar que estes são custos associados à construção da edificação, não foram considerados no estudo, os custos indiretos. Na pesquisa de Ecker e Martins, foi adotado 10% do custo direto de cada método. Os custos indiretos são proporcionais com a duração da obra, ou seja, quanto mais tempo de construção, maior os gastos.

Além dos materiais, os custos associados à mão de obra especializada são essenciais para garantir a qualidade e a conformidade dos padrões construtivos. A contratação de profissionais qualificados para a instalação de sistemas elétricos, hidráulicos e de isolamento térmico assegura o funcionamento eficiente e minimiza potenciais custos adicionais decorrentes de reparos e manutenções futuras.

6.3 VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO

A viabilidade de implementação da tipologia de TH deve ser analisada sob diversos aspectos, incluindo a disponibilidade de materiais, regulamentações locais, aceitação no mercado e

retorno sobre o investimento. Cada um desses aspectos desempenha um papel fundamental na determinação da eficiência e sustentabilidade das TH como uma solução habitacional viável. Devido ao seu tamanho reduzido, a construção dessas casas requer uma quantidade menor de materiais em comparação com as habitações tradicionais, o que pode facilitar e baratear o processo de construção. No entanto, é importante considerar a origem e a sustentabilidade desses materiais. A utilização de materiais reciclados e sustentáveis, como a madeira certificada, ou mesmo de tecnologias sustentáveis para adequada obtenção de energia e gerenciamento de recursos, tais como os painéis solares e sistemas de coleta de água da chuva, são essenciais para manter a pegada ecológica reduzida e alinhar o projeto aos princípios da construção verde.

A acessibilidade a esses materiais e tecnologias pode variar dependendo da região, impactando diretamente os custos e a viabilidade do projeto. Em regiões onde há uma abundância de materiais sustentáveis e fornecedores que adotem práticas ecológicas, a implementação de TH pode ser mais viável e econômica. Por outro lado, em áreas onde esses materiais são escassos ou caros, os custos podem aumentar, afetando a atratividade e a viabilidade do projeto. Além disso, a capacidade de adaptação a tecnologias verdes, como o sistema de energia solar e compostagem, também influenciam na sustentabilidade e na eficiência energética das TH.

6.3.1 Disponibilidade dos materiais

Para analisar a disponibilidade de materiais para a construção de TH utilizando os métodos LSF ou LWF em diferentes regiões do Brasil, é importante considerar a oferta de recursos naturais e a infraestrutura industrial local, bem como a diversidade climática e econômica.

No Brasil, a produção de aço está distribuída, com grandes siderúrgicas localizadas principalmente na Região Sudeste, como em Minas Gerais e São Paulo (Figura 28). A disponibilidade do material é alta nessas áreas, o que reduz os custos de transporte e facilita a implementação do método construtivo. Abaixo foram analisados os dados de 2024, fornecidos pela plataforma Econodata¹, com as 20 empresas de *steel frame* com maior faturamento, em 2024, como é apresentado na Figura 29.

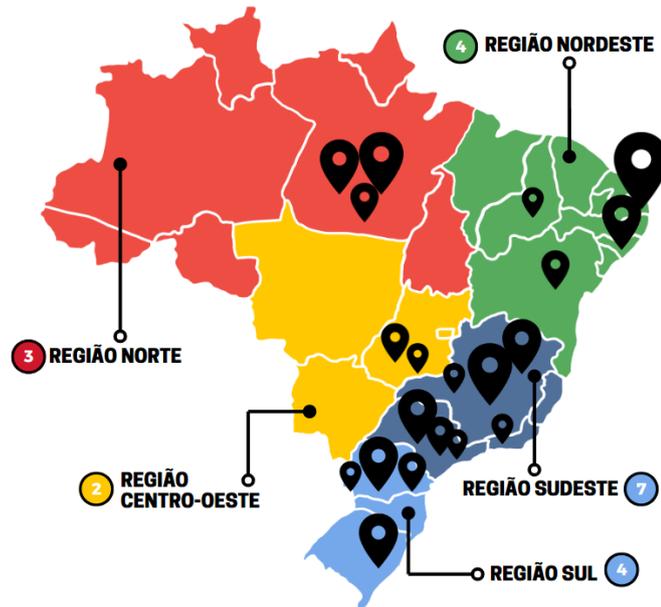
¹ É uma plataforma B2B de Prospecção de dados para empresas ativas no Brasil. Disponível em: <https://econodata.com.br>

Figura 28 – Produção do Aço no Brasil



Fonte: Portal da Indústria, 2018

Figura 29 – Localização das 20 empresas com maior faturamento de *steel frame* do Brasil em 2024.



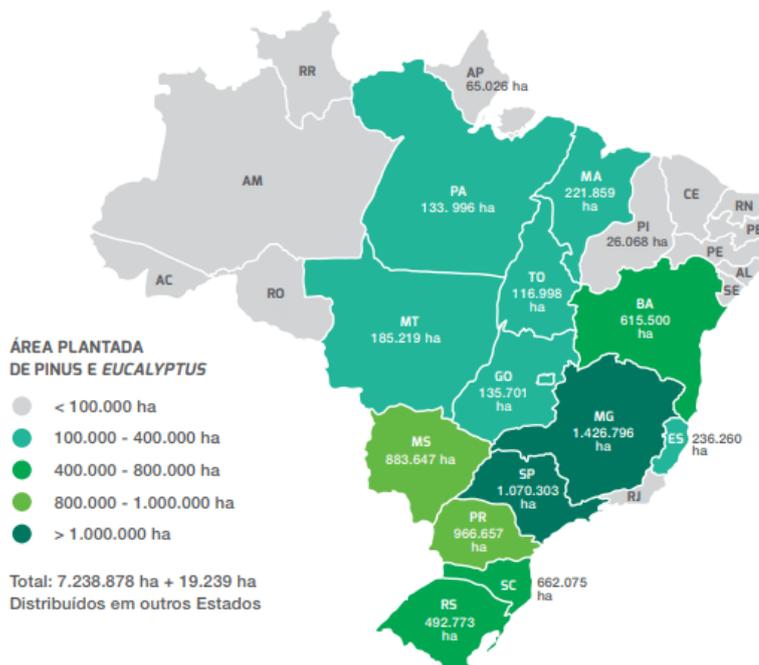
Fonte: Autora (2024), adaptado dos dados da plataforma Econodata

Considerando análise realizada pela plataforma Econodata para as diferentes regiões brasileiras quanto à produção do aço, observa-se:

- Região Sudeste: considerada o centro industrial do Brasil, onde a produção de aço é a mais concentrada. São Paulo, em especial, possui uma vasta rede de fornecedores de aço, o que torna o LSF uma opção viável e econômica.
- Região Sul: o LSF também é uma opção eficiente, principalmente em áreas urbanas e litorâneas, como em Santa Catarina e Paraná, onde há infraestrutura para a fabricação e distribuição de aço.
- Região Nordeste: embora possua algumas indústrias de aço, a infraestrutura é menos desenvolvida comparada ao Sudeste. No entanto, em cidades maiores e capitais, como Salvador e Recife, o LSF ainda é uma opção válida, principalmente para construções em áreas litorâneas.
- Região Centro-Oeste: a disponibilidade de aço é razoável, com destaque para Goiás, onde o LSF pode ser adotado em projetos de urbanização e expansão de áreas residenciais.
- Região Norte: o LSF enfrenta desafios logísticos maiores devido à menor infraestrutura e à distância dos grandes centros de produção de aço. No entanto, em projetos próximos a centros urbanos, como Belém, pode ser considerado.

Por outro lado, o método LWF, depende da disponibilidade de madeira de reflorestamento, que provenha de fontes certificadas, como pinus e eucalipto, que são abundantes em determinadas regiões do Brasil. A Figura 30 mostra a distribuição de áreas plantadas de pinus e eucalipto no território nacional, com destaque para os estados de São Paulo e Minas Gerais, com produção acima de 1.000.000 de hectares.

Figura 30 – Área Florestal Plantada com Pinus e Eucalipto no Brasil (2016)



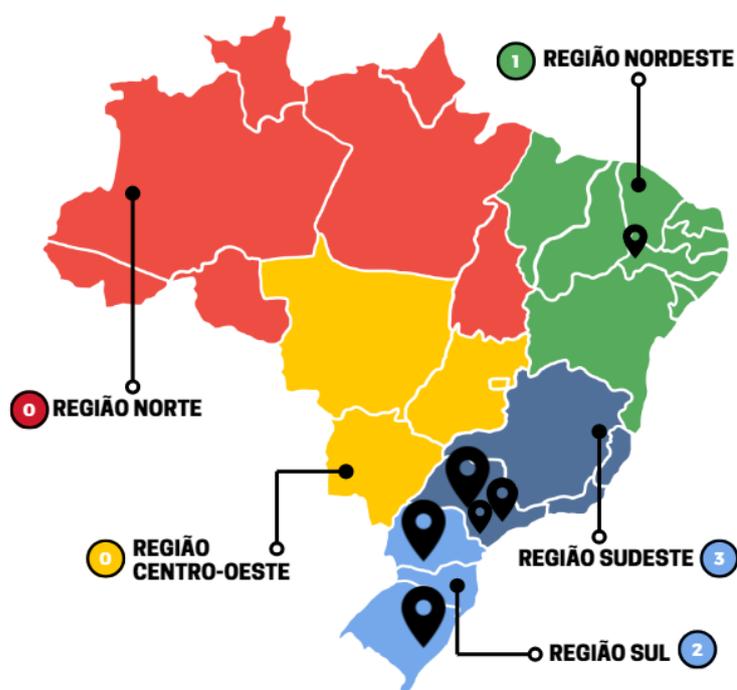
Fonte: APRE, 2018

Considerando análise realizada pela plataforma Econodata para as diferentes regiões brasileiras quanto à produção da madeira (Figura 31), observa-se:

- Região Sul: particularmente viável na Região Sul, onde há uma alta disponibilidade de madeira de reflorestamento, especialmente no Paraná e em Santa Catarina. A proximidade das plantações e serrarias torna esse método construtivo economicamente vantajoso.
- Região Sudeste: embora menos comum, o LWF pode ser utilizado no Sudeste, especialmente em Minas Gerais, onde há produção de madeira de reflorestamento. Porém, o LSF é geralmente mais acessível devido à proximidade das indústrias siderúrgicas.
- Região Centro-Oeste: há uma menor disponibilidade de madeira, mas ainda pode ser um método viável em áreas próximas a plantações de eucalipto, como em Mato Grosso do Sul. No entanto, o LSF pode ser mais fácil de implementar devido à maior proximidade das indústrias de aço.

- Região Nordeste: menos comum no Nordeste devido à menor disponibilidade de madeira adequada para esse tipo de construção. No entanto, pode ser uma opção interessante em projetos sustentáveis, desde que os materiais sejam transportados de regiões produtoras.
- Região Norte: apesar de rica em biodiversidade florestal, enfrenta restrições ambientais significativas, o que limita a exploração de madeira nativa. A madeira de reflorestamento não é comum, tornando o LWF uma opção menos viável em áreas remotas.

Figura 31 – Localização das 6 empresas com mais faturamento de *woodframe* do Brasil



Fonte: Autora (2024), adaptado dados Econodata

Desta forma, a viabilidade de implementação de TH, considerando a disponibilidade de materiais e a proximidade com a indústria para os diferentes métodos construtivos, deve ser um critério importante a ser considerado na escolha. Assim, pode-se interferir em impactos significativos em termos de investimento e energia para transporte e implementação, o que também afeta o atendimento à sustentabilidade, já discutido neste trabalho.

6.3.2 Regulamentações locais

No Brasil, a legislação referente a TH é limitada e dispersa, uma vez que a maioria das normas de construção e ocupação do solo são de competência municipal. Isso significa que não existe uma regulamentação federal específica para esta tipologia, e as exigências podem variar significativamente de um município para outro.

Com base em informações descritas Durce (2021), em pode-se verificar que com relação aos aspectos de legislação, zoneamento e uso do solo, normas técnicas e códigos de obra que:

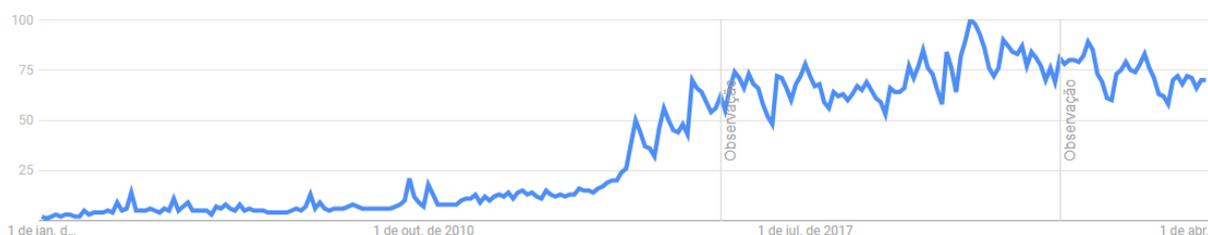
- **Legislação Específica:** não há uma legislação federal exclusiva para TH. As normas que regem essas construções se baseiam em regulamentações locais, como o Código de Obras e Edificações de cada município, o Plano Diretor, e as normas de zoneamento. Essas leis determinam o que pode ser construído em determinado terreno, incluindo os tamanhos mínimos de lotes e edificações.
- **Zoneamento e Uso do solo:** para TH, especialmente as fixas, deve haver adequação às regras de zoneamento local, que definem o uso permitido do solo (residencial, comercial, misto etc.). Em algumas áreas, pode haver restrições quanto ao tamanho mínimo de uma habitação ou à densidade populacional permitida, o que pode impactar a viabilidade da sua instalação.
- **Normas Técnicas e aprovação:** as TH, independentemente do método construtivo, LSF ou LWF, devem cumprir as normas técnicas aplicáveis, como as normas da ABNT quanto ao projeto, execução e atendimento a requisitos mínimos de desempenho. O setor florestal tem participado na promoção de sistemas construtivos de larga escala, especialmente em iniciativas como o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) do Governo Federal. Contudo, antes que essa tecnologia seja amplamente adotada no Brasil, é essencial estabelecer normas e especificações que regulamentem seu uso. Para isso, em 2016, foi formada a Comissão de Estudos ABNT/CE-002:126.011 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a tarefa de desenvolver uma norma específica para o método construtivo *wood frame* (APRE, 2018). A implementação da norma técnica para o *wood frame*, ocorreu em 2023, e impacta diretamente a construção de TH ao garantir qualidade e segurança, além de facilitar o acesso a financiamentos. Além disso, é necessário obter todas as licenças e alvarás de

construção junto à prefeitura local, o que inclui a aprovação do projeto arquitetônico e estrutural.

6.3.3 Mercado e investimento

O mercado imobiliário brasileiro vem mostrando um crescente interesse em soluções habitacionais alternativas, especialmente em um cenário de demandas por moradias acessíveis, sustentáveis e flexíveis. As TH, além de oferecerem uma solução econômica para moradia, também são uma opção para investimentos em hospedagem de curta duração, e em projetos de turismo sustentável. A plataforma de reservas *Airbnb*, em 2019, relatou um aumento de 125% no interesse por esta tipologia ou termos homólogos. Além disso, de acordo com o *Google Trends*, o termo é procurado de forma crescente desde 2013, como é apresentado com o Gráfico da Figura 32.

Figura 32 – Interesse ao longo do tempo nas buscas de "tiny house" de forma global desde 2004

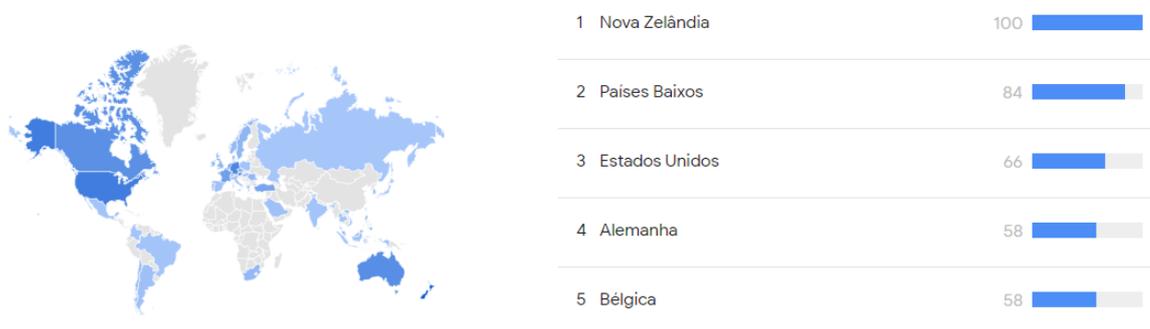


Fonte: *Google Trends*, 2024

De acordo com a Figura 32, observa-se uma oscilação com tendência de crescimento quanto ao interesse por esta tipologia principalmente a partir do ano de 2010.

Conforme a Figura 33, a Nova Zelândia foi o país que mais apresentou usuários que buscaram o termo "tiny house" no *Google*.

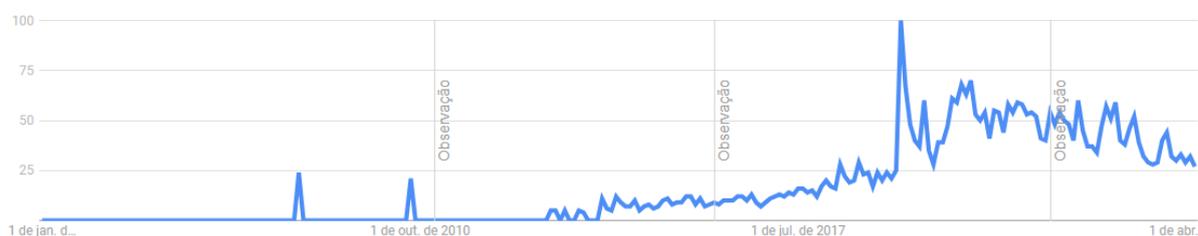
Figura 33 – Interesse por região nas buscas de "tiny house" de forma global desde 2004



Fonte: *Google Trends*, 2024

No contexto brasileiro, conforme mostra o gráfico da Figura 34, o interesse por esse termo começou a se manifestar somente em 2014, uma defasagem significativa quando comparado ao resto do mundo, onde as buscas já eram detectáveis desde 2004.

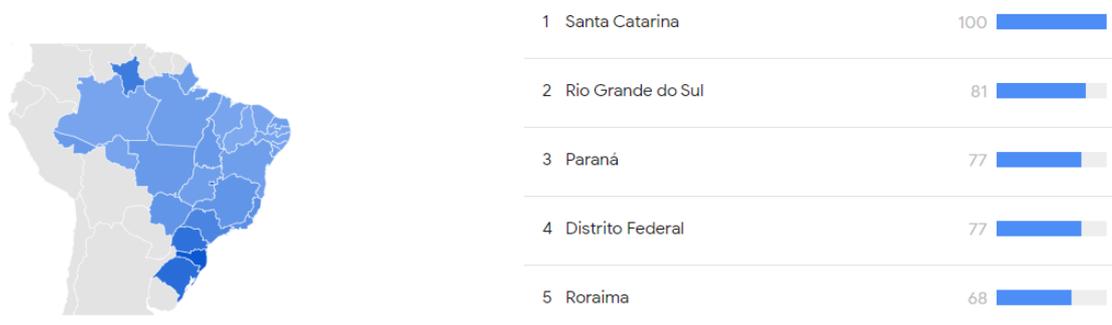
Figura 34 – Interesse ao longo do tempo nas buscas de "tiny house" no Brasil, com início considerado em 2013



Fonte: *Google Trends*, 2024

Referente às regiões brasileiras, a Figura 35 revela que o estado de Santa Catarina lidera o interesse nas buscas pelo termo no *Google*, seguido por Rio Grande do Sul, Paraná, Distrito Federal e Roraima. Esses dados destacam uma concentração maior de interesse na Região Sul do Brasil.

Figura 35 – Interesse por sub-região nas buscas de "tiny house" de forma global desde 2004



Fonte: *Google Trends*, 2024

De acordo com o *Google Trends*, as pesquisas relacionadas com o termo de forma global, os tópicos principais são:

- *Tiny house for sale* (*Tiny house para venda*)
- *Tiny house build* (*Tiny house construir*)
- *Tiny house cost* (*Custo Tiny house*)
- *Build a tiny house* (*Construir uma tiny house*)
- *Buy tiny house* (*Comprar tiny house*)

Enquanto nas pesquisas relacionadas com o termo no Brasil, os tópicos principais são:

- *Tiny house a venda*
- O que é *tiny house*
- *Airbnb tiny house*
- Casas *tiny house*

Por fim, considerando o contexto nacional, recentemente o estado do Rio Grande do Sul enfrentou enchentes que deixaram inúmeras pessoas sem moradia. Diante desse cenário, a adoção de TH poderia ser uma alternativa eficaz para abrigar temporariamente as famílias afetadas. As principais vantagens desse tipo de moradia incluem a rapidez na construção, que é crucial em situações emergenciais, pois essas casas podem ser montadas em poucos dias ou semanas, oferecendo abrigo seguro e digno. Outro ponto positivo é a flexibilidade e mobilidade dessas moradias. Devido ao seu tamanho reduzido e estrutura modular, as TH podem ser transportadas e realocadas conforme necessário, o que é especialmente útil em áreas que ainda estão sendo avaliadas para reconstrução ou onde o risco de novas enchentes persiste. Contudo,

se reconhece que para a adoção de TH como alternativa em situações como a ocorrida no Rio Grande do Sul, algumas etapas e considerações importantes devem ser observadas, além dos aspectos já discutidos ao longo deste trabalho. Primeiro, governos locais podem realizar parcerias com organizações não governamentais para garantir o financiamento e a logística necessária para a construção e distribuição das TH. Também é essencial identificar áreas seguras para a instalação, longe de zonas de risco de novas enchentes. Embora as TH possam ser adotadas como uma solução temporária, é importante planejar o que acontecerá com essas moradias após a reconstrução das áreas afetadas. Elas podem ser realocadas para outras áreas necessitadas ou usadas como moradia permanente para algumas famílias. Além disso, a construção dessas casas pode ser uma oportunidade para gerar empregos locais e capacitar a população, contribuindo para a recuperação econômica da região.

6.3.4 Análise comparativa entre LSF e LWF quanto à implementação

A escolha entre LSF e LWF para a construção de TH no Brasil deve levar em conta não apenas a disponibilidade dos materiais, mas também as condições climáticas, a infraestrutura de transporte e a regulação ambiental em cada região.

O LSF é amplamente acessível nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, onde a produção de aço é robusta, enquanto o LWF é mais viável no Sul, devido à abundância de madeira de reflorestamento. Em regiões como o Nordeste e o Norte, onde a logística pode ser mais complexa, a escolha do método construtivo deve ser cuidadosamente planejada para garantir eficiência e sustentabilidade.

Ao considerar as regulamentações para TH no Brasil, é essencial entender que o cenário ainda é pouco definido em nível nacional com as normas variando conforme o estado e o município. No entanto, em regiões onde o LSF e o LWF já são bem estabelecidos, como o Sudeste e o Sul, há uma maior receptividade para a aprovação de projetos de TH. Em cidades que incentivam práticas sustentáveis e soluções habitacionais alternativas, como São Paulo e Curitiba, já existem precedentes de aprovação de TH como moradias permanentes, desde que atendam às exigências legais e técnicas.

7 CONCLUSÃO

As *Tiny Houses* oferecem uma oportunidade para repensar a forma como a sociedade avalia o espaço construído e o consumo de recursos na sociedade, promovendo um estilo de vida mais consciente e alinhado com os princípios de sustentabilidade. A proposta de elaboração de residências de áreas reduzidas vem em conjunto com a preocupação em atender os padrões de desempenho e na implementação de medidas voltadas a princípios da sustentabilidade. A integração de TH em contextos urbanos e rurais pode contribuir para escolhas habitacionais que valorizem o uso eficiente dos recursos naturais e adquiram hábitos capazes de promover qualidade de vida. Além disso podem ser adequadas ao atendimento em situações emergenciais, como em contextos de desastres naturais. Sua construção ágil e transportabilidade tornam-nas ideais para fornecer abrigo em momentos críticos, sem impactar na qualidade e durabilidade.

A análise comparativa entre os métodos construtivos LSF e LWF revela que cada um possui características distintas que influenciam sua viabilidade como solução sustentável na construção civil, especialmente no contexto brasileiro diversificado, estando ambos alinhados à aplicação nas tipologias construtivas de TH. O LWF se destaca por seu menor impacto inicial, sendo a madeira um recurso natural renovável que pode capturar dióxido de carbono na etapa inicial do seu ciclo de vida. Além disso, sua eficiência energética, especialmente em termos de isolamento térmico, o torna uma escolha vantajosa em regiões com climas variados como o Brasil. Por outro lado, o LSF oferece benefícios como durabilidade superior, resistência a pragas e menor necessidade de manutenção ao longo do tempo, além de se mostrar mais adequado para áreas urbanas densas e regiões com condições climáticas adversas.

No contexto nacional, a implementação das TH, bem como a escolha entre LWF e LSF, deve considerar não apenas as características técnicas e ambientais, mas também a disponibilidade regional de materiais, a infraestrutura logística e as regulamentações locais. A flexibilidade desses métodos permite adaptar as TH a diferentes climas e regiões do país, contribuindo para a redução da pegada ecológica e o uso racional dos recursos naturais. Além disso, a adoção desta tipologia pode representar uma possível solução para a sustentabilidade urbana e a acessibilidade a moradias devido ao seu baixo custo, comparado a outras tipologias e sistemas convencionais.

A possibilidade da construção de TH no Brasil estão intimamente ligadas à aceitação cultural e à evolução de regulamentações. A aceitação cultura pode ser impulsionada pelo crescente interesse em práticas sustentáveis e em princípios minimalistas quanto ao consumo, que se

alinham com o conceito de TH, promovendo um estilo de vida mais consciente e ambientalmente responsável. Para a ampla adoção dessas moradias, é crucial a atualização das regulamentações. A ausência de normas específicas pode dificultar sua implementação e aceitação. Assim, é necessário o desenvolvimento de regulamentações que abordem as características das TH, adaptando as normas urbanísticas para permitir a integração das TH tanto em contextos urbanos quanto rurais, assim como a criação de incentivos para a adoção de métodos construtivos sustentáveis para facilitar sua inserção no mercado habitacional.

Portanto, o conceito de TH deve ir além da ideia de morar em uma casa compacta. Essas moradias devem ser projetadas para combinar eficiência espacial com critérios fundamentais de sustentabilidade, acessibilidade, desempenho, durabilidade, conforto e qualidade de vida. Com essas considerações, as TH podem se consolidar como uma opção de solução prática e inclusiva para os desafios habitacionais.

Por fim, ainda são necessários avanços em termos de pesquisa e desenvolvimento para a criação de normatizações específicas que atendam às particularidades das TH no Brasil, considerando os métodos construtivos LSF e LWF.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Análise do Ciclo de Vida (ACV) de *Tiny Houses* construídas com LWF e LSF em diferentes regiões do Brasil, comparando o impacto ambiental de cada método desde a extração dos materiais até o descarte ou reciclagem.
- Investigar como os métodos construtivos LWF e LSF podem ser otimizados para melhorar o desempenho térmico e energético em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, com foco na eficiência energética e conforto dos usuários.
- Realizar uma análise econômica mais abrangente, considerando não apenas os custos diretos e indiretos de construção, mas também os custos de manutenção, energia e sustentabilidade a longo prazo de TH construídas com LWF e LSF.
- Explorar o impacto social das TH, investigando como diferentes métodos construtivos podem contribuir para o acesso à moradia sustentável em áreas de baixa renda e em comunidades vulneráveis no Brasil
- Desenvolver propostas para a criação ou adaptação de normas técnicas e regulamentos específicos para a construção de TH no Brasil.

- Explorar como a integração de fontes de energia sustentável, como energia solar, pode ser aplicada em TH construídas com LWF e LSF, avaliando o impacto sobre a pegada de carbono e a eficiência energética.
- Estudar o potencial de reciclagem e reuso de materiais utilizados em LWF e LSF na construção de TH, com o objetivo de propor práticas de construção mais sustentáveis e de menor impacto ambiental.
- Analisar a viabilidade de implementação de TH em áreas urbanas densas no Brasil, considerando aspectos como legislação, impacto urbano, uso do solo e a compatibilidade com as infraestruturas existentes.
- Desenvolver estudos de caso em diferentes regiões do Brasil, onde se possam comparar projetos de TH em LWF e LSF, considerando a disponibilidade local de materiais, as condições climáticas e os desafios específicos de cada região.
- Explorar como as TH construídas com LWF e LSF podem ser integradas a sistemas de certificação ambiental, como LEED ou BREEAM, e o impacto dessas certificações na valorização das construções.
- Investigar como políticas públicas e incentivos governamentais podem influenciar a adoção de TH sustentáveis no Brasil, e quais incentivos seriam mais eficazes para promover o uso de LWF e LSF.

Essas sugestões não apenas ampliam o escopo de pesquisa, mas também criam oportunidades para inovar e enfrentar os desafios da construção sustentável no Brasil, com foco especial na popularização das *Tiny Houses*. Ao incentivar o desenvolvimento de soluções mais eficientes e ecologicamente responsáveis, os futuros estudos podem contribuir para a transformação do cenário habitacional, tornando as TH uma alternativa viável e potencialmente sustentável em todo o país.

REFERÊNCIAS

ABERGEL, T. *et al.*, 2018. **Global Status Report - Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector**. s.l., s.n.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI: **Manual da Construção Industrializada**. Conceitos e Etapas Volume 1: Estrutura e Vedação. 2015

ANSON, A. “The world is my backyard”: Romanticization, thoreauvian rhetoric, and constructive confrontation in the tiny house movement. In: **From sustainable to resilient cities: Global concerns and urban efforts**. Emerald Group Publishing Limited, 2014. p. 289-313.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Wood: Sustainable Building Solutions**. Washington: APA, 2012.

APRE (Org.). Estudo setorial APRE. Disponível em:

<http://www.apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2018/02/EstudoSetorial-2018_APRE.pdf>. (2018)

ARCHELLO. Disponível em: <https://archello.com/project/alexandria-tiny-homes-village>. Acesso em: 17 mai. 2024.

ARCHELLO. Disponível em: <https://archello.com/project/mineral-house>. Acesso em: 17 mai. 2024.

ARRAES, R. de A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A.G.. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, p. 119-140, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão (2008)

_____NBR 9574: Execução de impermeabilização (2008)

_____NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto (2010)

_____NBR 15253 Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações — Requisitos gerais. (2014)

_____NBR 6323 Galvanização por imersão a quente de produtos de aço e ferro fundido - Especificação (2016)

_____NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção (2020)

_____NBR 7008-1 Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga de zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente. Parte 1: Requisitos (2021)

_____NBR 14715-1 Chapas de gesso para drywall - Parte 1: Requisitos (2021).

_____NBR 15575-4 Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. (2021)

_____NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento (2022)

_____NBR 16970 Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas. (2022)

_____NBR 16970-1: Light Steel Framing - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 1: Desempenho (2022)

_____NBR 16970-2: Light Steel Framing - Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas - Parte 2: Projeto estrutural (2022)

_____NBR 11364: Painéis termoisolantes à base de lã de rocha — Especificação (2024)

_____NBR 15575-1 Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais (2024)

ASTM International - ASTM D3345-17: Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Solid Wood for Resistance to Termites

AYE, L. *et al.*, Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules. **Energy and buildings**, v. 47, p. 159-168, 2012.

BATEMAN, B. W. **Light gauge steel verses conventional wood framing in residential construction**. Department of construction science of A&M University. College Station. Texas, 1998.

BERTOLINI, H. O. L.. **Construção via obras secas como fator de produtividade e qualidade**. 2013.

BOECKERMANN, L. M.; KACZYNSKI, A. T.; KING, S. B. Dreaming big and living small: examining motivations and satisfaction in tiny house living. **Journal of Housing and the Built Environment**, v. 34, p. 61-71, 2019.

BOMBONATO, F. A. *et al.*, UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DESDE OS PRIMÓRDIOS DA HUMANIDADE ATÉ A CONTEMPORÂNEIDADE. **Anais do Simpósio de Sustentabilidade e Contemporaneidade nas Ciências Sociais**, v. 2, n. 1, 2014.

BRANDÃO, D. Q.. Disposições técnicas e diretrizes para projeto de habitações sociais evolutivas. **Ambiente Construído**, v. 11, p. 73-96, 2011.

BRANDÃO, D. Q. **Diversidade e Potencial de Flexibilidade de Arranjos Espaciais de Apartamentos: uma análise do produto imobiliário brasileiro**. 2002. 443 f. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BRANDÃO, D. Q. O Porquê das Modificações Promovidas pelo Usuário em Sua Moradia: classificação e discussão de razões, com base no significado multidimensional e dinâmico da habitação. In: **SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**, 2005, Cuiabá. Anais... Cuiabá: CEFETMT, EdUFMT, 2005. 1 CD-ROM, p. 249-264.

BRASIL. **Condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias** (1964).

BRASIL. **Registros Públicos** (1973)

BRASIL. **Parcelamento do Solo Urbano** (1979).

BRASIL. **Lavratura de Escrituras Públicas** (1985).

BRASIL. **Requisitos para Lavraturas de Escrituras Públicas** (1986).

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. de. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

British Constructional Steelwork Association Limited (BCSA), Tata Steel Europe, The Steel Construction Institute Limited, (SteelConstruction.info). **TARGET ZERO**, 2011.

BRITO, L. D.. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 2014.

BUSS, G. **Proposta de tiny house para moradia estudantil em Curitiba (PR) nos parâmetros da construção sustentável**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

CABEZA, L. F. *et al.*, Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.

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

CASAROTTO FILHO, N.; FAVERO, J. S.; CASTRO, J. E.E.. **Gerencia de projetos/ Engenharia simultânea: organização, planejamento, programação, PERT/CPM, PERT/Custo, controle, Direção**. São Paulo: Atlas 1999. 173p ISBN 8522420939 (broch).

CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. **Wood Frame Envelopes**. Canadá: CMHC, 1999.

CASTRO, R. C. M. de; FREITAS, A. M. S. **Steel Framing: Arquitetura**. Instituto Brasileiro de siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

CBCS, MMA & PNUMA, 2014. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**, Brasília: CBCS, MMA e PNUMA.

CF, O. D. D. S. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. **United Nations: New York, NY, USA**, 2015.

CHANGE, Intergovernmental Panel On Climate. Climate change 2007: The physical science basis. **Agenda**, v. 6, n. 07, p. 333, 2007.

CHAVES, H.. **Vantagens e desvantagens das estruturas metálicas**. 2020.

COMMUNITECTURE. Disponível em: <https://www.communitecture.net/dignity-village.html>. Acesso em: 17 mai. 2024.

CONSTRUINDO CASAS. Disponível em: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/steel-frame/>. Acesso em: 26 mai. 2024.

CONSUL STEEL. **Construcción com acero leviano – Manual de Procedimiento**. Buenos Aires: Consul Steel, 2002. 1CD-ROM.

CLUNE, S.; MORRISSEY, J.; MOORE, T.. Size matters: House size and thermal efficiency as policy strategies to reduce net emissions of new developments. **Energy policy**, v. 48, p. 657-667, 2012.

CÔRTEZ, R. G. *et al.* Contribuições para a sustentabilidade na construção civil. **Sistemas & Gestão**, v. 6, n. 3, p. 384-397, 2012.

CRAWFORD, R. H.; STEPHAN, A.. Tiny house, tiny footprint? The potential for tiny houses to reduce residential greenhouse gas emissions. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 022073.

DE BRITO NUNES, H. K.; DE ABREU PAULA, J. E.. CONSTRUÇÃO CIVIL E PERCEPÇÃO SOCIOAMBIENTAL: estudo de caso junto aos agentes envolvidos em uma área de expansão urbana da zona Sul de Teresina/PI. **Revista Equador**, v. 5, n. 3, p. 181-198, 2016.

DIGIACOMO, M. C. **Estratégias de Projeto para Habitação Social Flexível**. 2004. 163 f. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

DURCE, D. C. *et al.* **Análise da compatibilidade de um estudo preliminar de arquitetura de construção de um edifício de pequeno porte (tiny house) com elementos da legislação urbana do município de Curitiba vigente em 2020.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ECKER, T. W. P.; MARTINS, V.. **Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ECOCAPSULE. Disponível em: <https://www.ecocapsule.sk/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

ECS - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 300: Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications, 2006.

EUROPEAN COMMISSION. **Energy Performance of Buildings Directive.** 2020.

EUROSTAT. **Construction and demolition waste statistics.** *European Commission.* 2019.

FABRIS, J. P. *et al.* ESTUDOS INTERDISCIPLINARES NO MOVIMENTO “TINY HOUSE”. In: **VI ENPI-Encontro Nacional de Propriedade Intelectual.** 2020.

FARIA, V. Legislação atrasada e inércia dos municípios emperram desenvolvimento das tiny houses no Brasil. **Gazeta do Povo.** Curitiba. 25 jul. 2019. Haus: Urbanismo.

FIELD MAG. Disponível em: <https://www.fieldmag.com/articles/cool-floating-prefab-cabin-tiny-house-kodasema>. Acesso em: 17 mai. 2024.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook – Wood as an engineering material.** Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Estados Unidos, 2010.

FRENCH GOVERNMENT. **France Rénov.** 2021.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S.. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GOMES, C. E. M. *et al.* Light steel frame na produção de moradias no Brasil. In: **IX Congresso de Construção Metálica e Mista e I Congresso Luso-Brasileiro de Construção Metálica Sustentável, Porto, Portugal.** 2013.

GOOGLE TRENDS. Disponível em:
<https://trends.google.com.br/trends/explore?date=all&geo=BR&q=tiny%20house&hl=pt>.
Acesso em: 23 jul. 2024.

GORGOLEWSKI, M. Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. **Building and Environment**. Volume 42, Issue 1. p. 230-236. 2006.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R.. Energy and CO2 analysis of wood substitution in construction. **Climatic change**, v. 105, n. 1, p. 129-153, 2011.

Heat-treated steel tapping screws — **Mechanical properties** (ISO 2702:2011)

HOLLBERG, A.; LÜTZKENDORF, T.; HABERT, G.. Top-down or bottom-up?—How environmental benchmarks can support the design process. **Building and Environment**, v. 153, p. 148-157, 2019.

Institute for Global Environmental Strategies and Aalto University, ‘1.5-Degree Lifestyles: Targets and Options for Reducing Lifestyle Carbon Footprints’, **Institute for Global Environmental Strategies**, Hayama, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Status Report for Buildings and Construction.** 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector. **OECD Publishing**, 2021.

IPCC. (2021). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

ISSONAGA, P. E.; DA SILVA, D. M.. Aspectos tecnológicos da “tiny house” e sua regulamentação no Brasil frente à sustentabilidade socioambiental. **Revista do Instituto de Direito Constitucional e Cidadania**, v. 5, n. 2, p. e014-e014, 2020.

KILMAN, C.. Small house, big impact: the effect of tiny houses on community and environment. **Undergraduate Journal of Humanistic Studies**, v. 2, n. Winter 2016, 2016.

KOSNY, J.; CHRISTIAN, J. E. Thermal evaluation of several configurations of insulation and structural materials for some metal stud walls. **Energy and buildings**, v. 22, n. 2, p. 157-163, 1995.

LEINDECKER, H. C.; KUGFARTH, D. R. Mobile Tiny Houses–Sustainable and Affordable?. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012010.

LIMA, D. O. de. **Novos estilos de moradia: o custo-benefício na construção de uma tiny house sobre rodas no Nordeste Brasileiro**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.

LIPPKE, B. *et al.* CORRIM: Life-cycle environmental performance of renewable building materials. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 6, p. 8-19, 2004.

LOPES, J. I. E.. **A construção metálica no ambiente de obras públicas: o gerenciamento de um projeto, por meio do planejamento, programação e controle da produção, viabilizando a engenharia simultânea**. 2018.

LP BUILDING PRODUCTS. **Manual CES – Construção Energética Sustentável**. Curitiba, 2011.

MANGOLD, S.; ZSCHAU, Toralf. In Search of the “Good Life”: The Appeal of the Tiny House Lifestyle in the USA. **Social Sciences**, v. 8, n.1, p.26, 17 jan. 2019.

MANZELLA, J.C. **Common Purse, Uncommon Future: the Long, Strange Trip of Communes and Other Intentional Communities**. Praeger, Santa Barbara, Califórnia, 2010.

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2008.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF FINLAND. **Carbon Neutral Construction**. 2021

MINGOYA, C. **Building together. Tiny house villages for the homeless: a comparative case study**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Department of Urban Studies and Planning, Massachusetts Institute of Technology. 2015.

MOLIN, B. H. de C. D.; MALANDRIN, L. L.. **Comparativo de custo entre os sistemas construtivos alvenaria convencional, light steel frame e wood frame para habitação popular**. 2017.

MOKKI. Disponível em: <https://www.mokki.house/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

MORIKAWA, D. C. L. **Métodos Construtivos Para Edificações Utilizando Componentes Derivados Da Madeira De Reflorestamento**. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MUKHOPADHYAY, J.. Observations of energy consumption and IEQ in a ‘Tiny House’. **Building Research & Information**, v. 48, n. 6, p. 613-631, 2020.

MURPHY, M. Tiny houses as appropriate technology. **Communities**, n. 165, p. 54, 2014.

MUTTER, A. (2013). **Growing tiny houses: Motivations and opportunities for expansion through niche markets**. Lund University.

NORWEGIAN BUILDING AUTHORITY (DIBK). **Building Regulations**. 2021

OBERLE, B. *et al.* **Global resources outlook 2019: natural resources for the future we want: summary for policymakers**. ETH Zurich, 2019.

OLIVEIRA, M. R.; OLIVEIRA, T. N.; ARAÚJO, S. C.. Patologias nas edificações, seu diagnóstico, e suas causas. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

PEDROSO, Sharon Passini et al. Steel Frame na construção civil. **Encontro Científico Cultura Interinstitucional, Paraná**, v. 12, p. 01-14, 2014.

PENNA, F. C.F. **Análise da viabilidade econômica do sistema light steel framing na execução de habitações de interesse social: uma abordagem pragmática**. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PEREZ-GARCIA, J. *et al.* The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction. **Wood and Fiber Science**, p. 3-17, 2005.

PERRY, S. Tiny Houses Are Huge: Going Small Is Getting Popular, but Regulations Stand in the Way. **Athens Flagpole**, p. 8-9, 2015.

PÉS DESCALÇOS. **Como construir MINI CASA sobre rodas em Steel Frame | O Passo a passo da 1a Tiny House móvel - Ep. 3.** 2018c. (18m40s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=kmrQb2OUWk&list=PLT2JskdmIr_6KDJEVnXe1ZIOwcKVezJf4&index=3&ab_channel=P%C3%A9sDescal%C3%A7os. Acesso em: 26 jul. 2024.

PÉS DESCALÇOS. **Como construir Tiny House Brasil - Parte 8 - Projeto elétrico - NBR 5410 - NR10 - Pés Descalços.** 2019c. (19m43s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=X5v5t2di5rI&list=PLT2JskdmIr_6KDJEVnXe1ZIOwcKVezJf4&index=8&ab_channel=P%C3%A9sDescal%C3%A7os. Acesso em: 23 jul. 2024.

PÉS DESCALÇOS. **Como construir Tiny House no Brasil - Parte 11 - Isolamento Térmico - Lã de vidro ou Lã de Pet.** [20--]. (18m53s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ApR2luadzuQ&list=PLT2JskdmIr_6KDJEVnXe1ZIOwcKVezJf4&index=12&ab_channel=P%C3%A9sDescal%C3%A7os. Acesso em: 17 jul. 2024.

PÉS DESCALÇOS. **Como construir uma Tiny House no Brasil - Parte 9 - A importância das Esquadrias - Janelas de PVC.** 2019d. (14m17s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4a0tsUny_EI&list=PLT2JskdmIr_6KDJEVnXe1ZIOwcKVezJf4&index=11&ab_channel=P%C3%A9sDescal%C3%A7os. Acesso em: 05 ago. 2024.

PINHO, F. O. QUANDO CONSTRUIR EM AÇO?. **Revista Engenharia**, v. 593, p. 82-88, 2009.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Indústria do aço investiu R\$ 3,6 bilhões em ações de proteção ambiental em três anos (2018). Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industria-do-aco-investiu-r-36-bi-em-aco-es-de-protecao-ambiental-em-tres-anos/>. Acesso: 08 ago. 2024.

PRIESNITZ, W. Tiny houses, tiny neighborhoods. **Natural Life**, v. 156, p. 12-19, 2014.

RICHTER, K.; WERNER, F. **Wooden Building Products in Comparative LCA.** A Literature Review. 2007.

RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. **Steel Framing: Engenharia**. Instituto Brasileiro de siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2016.

RUITER, J. de. **Tiny Houses as a Solution for Urban Planning Issues: A Qualitative Study on Dutch Tiny House Initiatives and their Potential Function in Tackling Urban Planning Issues**. 2020. Tese de Doutorado.

SÁ, R. V. O. de. **Certificações ambientais na construção civil aplicadas às moradias populares**. 2022.

SAINT-GOBAIN. **Guia de sistema para produtos planos**. Brasilit. 2011.

SANTIAGO, A. K. **Manual de Construção em Aço: Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SHEARER, H. **Tiny houses: Planning for affordability and inclusion**. 2020, [S.l: s.n], 2020. p. 7-20.

SILVA, J. S. da. **Estruturas de madeira e de aço para telhados: vantagens e desvantagens na construção civil**. 2020.

SILVA, S. F. L. da. **Influência da Tipologia do Contraventamento em sistemas estruturais Light Steel Frame**. 2022. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2022.

SIST EN 300:2006 - **Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications**

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos - Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada**,

com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Diretriz n° 005. MINISTÉRIO DAS CIDADES - **Secretaria Nacional da Habitação**. Brasília, 2011.

SUDIP P.; ATSUSHI T., ‘Koko elinkaaren energiategokkuus’ [‘Energy-efficiency over full life cycle’], in Nollaa Parempi, Townhouse Energiategokkaassa Asuinrakentamisessa [**Beyond Zero: Townhouse in Energy-efficient Residential Construction**] (Espoo: Aalto University, 2015), pp. 42–4

SWEDISH NATIONAL BOARD OF HOUSING, BUILDING AND PLANNING (BOVERKET). *Building Regulations*. 2021.

TINY HOUSE SIESTA. Disponível em: <https://www.tinyhousevacation.gosiesta.com/tiny-home-vacation-rentals/siesta-key>. Acesso em: 17 mai. 2024.

TINYLIVING. Disponível em: <https://tinyliving.com/nesthouse-tiny-house-scotland/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

UNESCO. **UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT 2021: valuing water**. S.l.: UNITED NATIONS EDUCATIONA, 2021.

VELLOSO, J. G. **Diretrizes Para Construções Em Madeira No Sistema Plataforma**. 2010, 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

WACKERNAGEL, M.; REES, W.. Ecological footprint: Reducing human impact on the earth. **New Society, Gabriola Island, BC, Canada**, 1996.

WEETMAN, V. **Flying under the radas: Exploring resistance and becoming minor in Australian tiny houses trends**. 2020, [S.l: s.n.], 2020. p. 40-46.

Weirton Steel Corporation (1995, Fall). Weirton presents: 11 great reasons for using steel construction materials on your next project. **Metal Home Digest**, 3, 4, pp. 41-42.

WILLIAMS, D. **The big tiny: a built-it-myself memoir**. Penguin, 2015.

WILSON, A.; BOEHLAND, J.. Small is beautiful US house size, resource use, and the environment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1-2, p. 277-287, 2005.

WOWOW HOME MAGAZINE. Disponível em: <https://wowowhome.com/architecture/casa-tiny-tiny-house-by-aranza-de-arino/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

YES!MAGAZINE. Disponível em: <https://www.yesmagazine.org/social-justice/2016/01/28/in-a-tiny-house-village-portlands-homeless-find-dignity>. Acesso em: 17 mai. 2024.

Yost, C. (1995, June). Building houses with steel. **Chemtech**, 25, 6, pp. 51-54