

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

GIOVANNY DE GOIS

LIGHT STEEL FRAMING NO BRASIL: ASPECTOS SUSTENTÁVEIS E SEU
CRESCIMENTO ABORDANDO CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

BAURU
2023

GIOVANNY DE GOIS

LIGHT STEEL FRAMING NO BRASIL: ASPECTOS SUSTENTÁVEIS E SEU
CRESCIMENTO ABORDANDO CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil -
Centro Universitário Sagrado Coração.

Orientadora: Prof.^a Ma. Fabiana Costa
Munhoz.

BAURU
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

G616L	<p>Gois, Giovanni de</p> <p>Light steel framing no Brasil; aspectos sustentáveis e seu crescimento abordando características da construção enxuta / Giovanni de Gois. -- 2023. 39f.: il.</p> <p>Orientadora: Prof.^a M.^a Fabiana Costa Munhoz</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Aço. 2. Construção Civil. 3. Sustentabilidade. 4. Desenvolvimento. 5. Lean Construction. I. Munhoz, Fabiana Costa. II. Título.</p>
-------	--

GIOVANNY DE GOIS

LIGHT STEEL FRAMING NO BRASIL; ASPECTOS SUSTENTÁVEIS E SEU
CRESCIMENTO ABORDANDO CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil -
Centro Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: ___/___/___.

Banca examinadora:

Prof.^a Ma. Fabiana Costa Munhoz (Orientadora)
Centro Universitário Sagrado Coração

Titulação, Nome
Instituição

Titulação, Nome
Instituição

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado o discernimento correto para todas as escolhas e ter cuidado de mim em todas as ocasiões.

Agradeço aos meus pais José Américo de Gois e Erika Giovana de Gois por todo amor, cuidado, companheirismo, sempre me apoiando em todas as decisões e mostrando o caminho para obter sucesso em minhas empreitadas. Sempre buscaram dar o melhor que podiam, para que eu pudesse ter um bom estudo, saúde e cultura, demonstrando a importância dos valores da família na minha vida e aconselhando em todos os momentos para meu crescimento pessoal.

Agradeço ao meu irmão Gustavo de Gois por sempre estar ao meu lado me aconselhando, me mostrando perspectivas diferentes de como resolver as coisas de um jeito melhor e por todo amor de irmão que sempre tivemos.

Agradeço minha namorada Mariana Martineli por sempre estar ao meu lado em diversas situações, sempre me apoiando e me incentivando em todas as dificuldades, por confiar no meu potencial e sempre abraçar todos os meus sonhos e principalmente por sempre me amar de uma maneira incrível.

Agradeço aos meus amigos Felipe Lopes, João Pedro Raboni, Italo Vizacre e Vinicius Cintra por me acompanharem por todos os cinco anos da faculdade, apoiando, cobrando e incentivando, fazendo com que tudo ficasse mais fácil e divertido, amigos que levarei comigo por toda a vida.

Por fim, agradeço aos professores da UNISAGRADO que sempre executaram seu trabalho com maestria, procurando evidenciar o melhor de cada um, em especial um agradecimento para professora e orientadora Ma. Fabiana Costa Munhoz que desde o início teve um papel fundamental mostrando-se uma excelente profissional, mas também uma amiga que sempre esteve em nossa caminhada nos incentivando e nos cobrando, para que fossemos cada vez melhor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Concepção estrutural de estrutura em LSF	12
Figura 2: Desenho esquemático de uma estrutura em Light Steel Framing.....	15
Figura 3: métodos construtivos Balloon e Platform.	16
Figura 4: perfis de aço e suas respectivas aplicações.	17
Figura 5: Painel não-estrutural.	18
Figura 6: Painel LSF com Guia (U) e montante (Ue).	18
Figura 7: Representação de painel estrutural.....	19
Figura 8: Aplicação de painéis cimentícios.....	19
Figura 9: Placas OSB.....	20
Figura 10: Placas de gesso.....	21
Figura 11: Laje úmida.	21
Figura 12: Laje seca.....	22
Figura 13: Laje mista.....	22
Figura 14: Cobertura plana.	23
Figura 15: Cobertura inclinada.	23
Figura 16: Corte esquemático de um radier.	25
Figura 17: Ancoragem química com barra roscada.....	25
Figura 18: Instalações elétricas.....	26
Figura 19: Instalações hidráulicas com tubos PEX.	27
Figura 20: Destinação dos materiais utilizados em estruturas.....	29
Figura 21: Uso das técnicas de produção enxuta em empresas de construção.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCEM	Associação Brasileira da Construção Metálica
CBCA	Centro Brasileiro de Construção em Aço
EUA	Estados Unidos da América
LM	Laje Mista
LU	Laje Úmida
LST	Light Steel Framing
LS	Laje Seca
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
OSB	Oriented Strand Board
PE	Polietileno
PEX	Polietileno Reticulado
PFMO	Chapas de Pannel de Fibra de Madeira Orientada
PFF	Perfis Formados a Frio
PP	Polipropileno
PVC	Cloreto de Polivinilo
SiNAT	Sistema de Avaliação Técnica de Novos Materiais da Construção Civil
XPS	Extruded Polystyrene
ZAR	Zincado de Alta Resistência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	METODOLOGIA	11
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	12
3.1	CONTEXTO GLOBAL DO <i>LIGHT STEEL FRAME</i>	12
3.2	O <i>LIGHT STEEL FRAME</i> NO BRASIL.....	13
3.3	O SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAME</i>	14
3.3.1	Metodologia da Construção	15
3.3.2	Perfis de Aço	16
3.3.3	Painéis e Fechamento Vertical	17
3.3.4	Lajes e Coberturas	21
3.3.5	Fundações	24
3.3.6	Ligações, Montagem e Instalações	25
3.4	O SISTEMA ASSOCIADO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	27
3.5	O LEAN CONSTRUCTION ATRELADO AO DESENVOLVIMENTO DO LSF NO BRASIL.	30
4	ANÁLISE DO SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAME</i>	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35

O LIGHT STEEL FRAMING NO BRASIL; ASPECTOS SUSTENTÁVEIS E SEU CRESCIMENTO ABORDANDO CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Giovanny de Gois

¹Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO)
giovannydegois@hotmail.com

RESUMO

Em um contexto globalizado, a necessidade de adaptação aos avanços tecnológicos na construção civil no Brasil, historicamente caracterizada por abordagens convencionais, demanda uma transição para sistemas construtivos inovadores. Neste cenário, destaca-se o *Light Steel Frame* (LSF), um método que se baseia na utilização de perfis de aço galvanizado e se apresenta como uma solução técnica de construção racional, minimizando resíduos e promovendo a sustentabilidade. Este artigo ressalta o LSF, evidenciando seus materiais e funcionamento. Além disso, enfatiza a sinergia entre o LSF e os princípios da Lean Construction, visando a otimização dos recursos, eliminação de desperdícios e redução de impactos ambientais. O uso de aço galvanizado no LSF é de grande relevância do ponto de vista sustentável, uma vez que esse material essencial para o sistema é reciclável e requer menos recursos naturais em comparação a alternativas convencionais, como a madeira. Além disso, o processo de fabricação do aço galvanizado tem menor impacto ambiental se comparado a outros materiais de construção, contribuindo para a redução das emissões de carbono. Isso se alinha perfeitamente com as metas de sustentabilidade que a construção civil contemporânea busca alcançar. A combinação de técnicas inovadoras, como o LSF e a Lean Construction, revela-se uma abordagem pertinente para o setor da construção civil, representando uma evolução técnica e sustentável em um mundo que exige soluções mais eficientes e responsáveis em termos de recursos.

Palavras-chave: Aço. Construção Civil. Desenvolvimento. Lean Construction. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In a globalized context, the need to adapt to technological advances in civil construction in Brazil, historically characterized by conventional approaches, demands a transition to innovative construction systems. In this scenario, the *Light Steel Frame* (LSF) stands out, a method that is based on the use of galvanized steel profiles and presents itself as a technical solution for rational construction, minimizing waste and promoting sustainability. This article highlighted the LSF, highlighting its materials and operation. Furthermore, he emphasized the synergy between LSF and the principles of Lean Construction, aiming to optimize resources, eliminate waste and reduce environmental impacts. The use of galvanized steel in LSF is relevant from a sustainable point of view, since this material is recyclable and requires fewer natural resources compared to conventional alternatives, such as wood. Furthermore, the galvanized steel manufacturing process has a lower environmental impact compared to other construction materials, contributing to the reduction of carbon emissions. This aligns perfectly with the sustainability goals that contemporary construction seeks to achieve. The combination of innovative techniques, such as LSF and Lean Construction, proves to be a relevant approach for the construction sector, representing a technical and

sustainable evolution in a world that demands more efficient and responsible solutions in terms of resources.

Keywords: Steel. Construction. Development. Lean Construction. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a alvenaria é o sistema que tem predominância no país, por ser um sistema enraizado na nação e não necessitar de um índice complexo de treinamento determinando características manuais (Santiago, 2008). O caráter artesanal das obras proporciona situações de desperdícios com o acarretamento de uma grande produção de resíduos e um baixo padrão de produtividade. Diante do crescimento do mercado brasileiro e os objetivos para o futuro da construção no país, torna-se plausível a pesquisa para uma metodologia que venha na contramão, buscando relevância para tecnologias sustentáveis, com uma produtividade industrial que minimize os prazos proporcionando um futuro promissor para construções e os trabalhadores (Gehbauer, 2004).

Com o aumento substancial dos preços de materiais convencionais para construção civil em um momento pós-pandêmico, a necessidade de averiguar novos métodos construtivos que possam obter benefícios financeiros e sustentáveis visando o futuro das edificações, solidifica-se com magnitude a viabilização do *Light Steel Frame* (LSF) no Brasil, que pode atender requisitos para uma industrialização da construção.

Em relação ao cenário, o LSF ou Estrutura em Aço Leve é um sistema que tem como principal característica construtiva ser industrializada e não utilizar elementos como concreto e cimento, dessa maneira sendo considerada uma obra a seco, caracterizada como um processo racional possibilitando a otimização de recursos e a diminuição de resíduos gerados, consequentemente gerando economia nas obras (Dias, 2001).

Esse método que preza pela utilização do aço já está solidificado há muitos anos em diversos países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão, Austrália e em grande parte da Europa (Dias, 2001). Constituído principalmente por um planejamento totalmente calculado para obter seus objetivos como minimização de recursos e melhor aproveitamento de mão-de-obra, o *Light Steel Framing* integra o sistema de Construção Energética Sustentável (Lima, 2022).

Certamente, essa tecnologia construtiva é algo para se almejar no cenário construtivo brasileiro, entretanto para mão de obra, a complexidade dos projetos e técnicas, juntamente com o forte instinto conservador tende a retardar a aceitação para inovação. Objetiva-se com a presente pesquisa analisar e verificar os aspectos relevantes do sistema construtivo denominado *Light Steel Frame*, assim como analisar suas vantagens e aspectos característicos, visando o desenvolvimento sustentável e racional da construção civil.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida com um caráter predominantemente exploratório, visando analisar em profundidade diversos aspectos e perspectivas relacionados a uma discussão específica. O foco primordial deste estudo foi investigar fontes bibliográficas, conforme recomendado por Lakatos; Marconi (2010). Buscando a relevância do mercado brasileiro na aquisição e implementação de novas tecnologias construtivas, com o objetivo de coletar informações e características essenciais relacionadas ao sistema construtivo conhecido como *Light Steel Framing* (LSF). A pesquisa buscou demonstrar a viabilidade desse sistema para atender às necessidades da população e do mercado brasileiro, avaliando suas vantagens, e a necessidade de novas tecnologias construtivas. Além disso, a pesquisa visa apresentar princípios da construção enxuta para identificar processos construtivos eficientes que estejam

alinhados com objetivos de sustentabilidade. Os dados e informações relevantes foram obtidos principalmente a partir de fontes bibliográficas, como livros, cartilhas e artigos científicos, para garantir uma base sólida e confiável para a análise.

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 CONTEXTO GLOBAL DO *LIGHT STEEL FRAME*

Em consonância ao contexto histórico do LSF, deve-se retornar ao século XIX visando um cenário de expansão populacional dos Estados Unidos da América (EUA), onde esse crescimento abrupto leva aos colonizadores a utilizarem materiais com fácil e rápido acesso, disponíveis na região em decorrência do momento, desencadeando o desenvolvimento da metodologia de Wood frame que consiste no emprego da madeira serrada para construção, estilo de construção que se tornou um das mais importantes do EUA no momento, se estendendo por quase cem anos segundo Campos (2014)

Com crescente evolução das tecnologias e da indústria, os EUA conseguiram se desenvolver ativamente no ramo do aço, apresentando pela primeira vez em 1933 na cidade de Chicago o protótipo para a construção de uma casa com estrutura em aço, demonstrando a possibilidade para substituição da madeira pelo uso do aço, dando premissas para o Steel Frame, (Frechette, 1999). No período da Segunda Guerra Mundial, os países fizeram investimentos de alta magnitude para desenvolvimento de equipamentos bélicos, obtendo conhecimento e possibilidades de inovação para utilização do aço. Com o pós-guerra os perfilados em aço começaram a serem empregados em estruturas prediais e até na efetiva utilização para o esqueleto de casas. Na década de 90, americanos passaram por uma crise com a escassez da madeira, gerando uma diminuição de qualidade e um aumento expressivo no custo do material, dessa maneira proporcionando espaço para construtores implementarem de vez o aço em suas construções (Campos, 2014)

Em contrapartida, no leste Asiático, o Japão que participou da Segunda Guerra contra os Estados Unidos, obteve o desenvolvimento tecnológico relacionado a indústria do aço (figura 1), entretanto ficou devastado com as bombas que atingiram suas duas cidades e os outros ataques sofridos, fazendo com que a madeira empregada na construção das casas se tornasse um alarmante para resistência e geração de incêndio que se fomentavam com pequenos ataques. Esses aspectos guiaram o governo, que implantou restrições para uso da madeira em construções, buscando a prevenção do meio físico e ambiental, com as restrições o mercado vislumbrou-se da necessidade de uma tecnologia inovadora que apresentasse segurança, rapidez, facilidade e principalmente um uso racional de recursos, empregando o aço para reconstrução de milhões de residências que foram devastadas, desenvolvendo-se a cultura e tecnologias colocando o Japão entre os países com maior conhecimento sobre a metodologia do *Light Steel Frame* do mundo (MetalMag, 2004).

Figura 1: Concepção estrutural de estrutura em LSF



Fonte: Vivan, Paliari e Novaes (2012).

3.2 O *LIGHT STEEL FRAME* NO BRASIL

No âmbito brasileiro o sistema vislumbrou-se somente na década 90, comitadamente com seu surgimento no Chile, que teve uma aceitação expressiva do LSF. No Brasil, o sistema foi trazido por instituições privadas que trabalhavam com alto padrão em suas incorporações, buscando métodos construtivos que trouxessem a industrialização e eficiência para o país, entretanto a falta de mão-de-obra dificultou sua difusão (Crasto, 2005).

No contexto de implementação e de novas oportunidades de crescimento foi criado o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), para realizar a interligação entre empreendedores, empresários, engenheiros e indústrias que estivesse com intuito de se aprofundar, aprimorar e desenvolver o setor da construção metálica, dando espaço para o estudo e análise de sistemas e estruturas considerando o material sem um caráter pragmático, tendo uma imensa contribuição com a publicação do Guia Brasil da Construção em Aço e o lançamento da Revista Arquitetura e Aço, ajudando na explanação do sistema e tornando-se conhecida entre engenheiros, arquitetos e empresas (CBCA, 2016).

Em 2003, uma das maiores instituições do mercado financeiro a Caixa Econômica Federal com o intuito de fomentar empresas e pessoas para utilização do novo sistema composto por perfis estruturais de aço a frio, propôs parâmetros para o financiamento de um sistema que até a determinada ocasião ainda não possuía características e regras gerais para sua execução (Santiago, 2008).

A partir do desenvolvimento das tecnologias relacionadas ao aço, começaram a surgir as normas para estabelecer aspectos definidos para construção utilizando o material conforme. Dessa forma, três principais normas foram criadas para obter os padrões de construção objetivando a segurança, estabilidade e integridade. A NBR 14762 (2010) estabeleceu parâmetros básicos para o dimensionamento e cálculo, tomando por base a temperatura para dimensionamento dos perfis, já a NBR 6355 (2012) trouxe complementos para última citada e definições essenciais para criação de painéis reticulados e, por fim, a NBR 15253 (2014) abordando critérios de qualidade e de resistência para escolha dos perfis estruturais, colocando uma direção para o sistema (ABCCEM, 2021).

De acordo com a (ABCCEM, 2021), a evolução do sistema desenvolveu o SiNAT, Sistema de Avaliação Técnica de Novos Materiais da Construção Civil, desempenha um papel crucial no desenvolvimento do LSF no Brasil. Quando adotado de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo SiNAT, o LSF oferece uma série de benefícios para a construção civil. No entanto, a coesão entre técnica e norma é essencial para garantir segurança, padrão e o bom

funcionamento desse sistema. Assim, a interligação entre o SiNAT, as normas técnicas e o Light Steel Framing são fundamentais para o desenvolvimento seguro e eficaz do sistema construtivo no Brasil, garantindo a conformidade com os padrões de qualidade e segurança exigidos na construção civil.

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de aço, embora seu uso seja limitado em comparação com o potencial da indústria local. O Steel Frame é um método que ajuda a otimizar recursos e a reduzir desperdícios e custos na construção (Hass e Martins, 2011). No entanto, as inovações precisam ser mais compatíveis com a realidade da população e a economia brasileira. A falta de mão de obra qualificada para trabalhar com o sistema *Light Steel Frame* é um obstáculo para adoção geral na construção civil do Brasil. Além disso, destaca-se a importância de adaptar esses sistemas às condições climáticas e às preferências da população brasileira para atender suas necessidades (Sales, 2001).

3.3 O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAME*

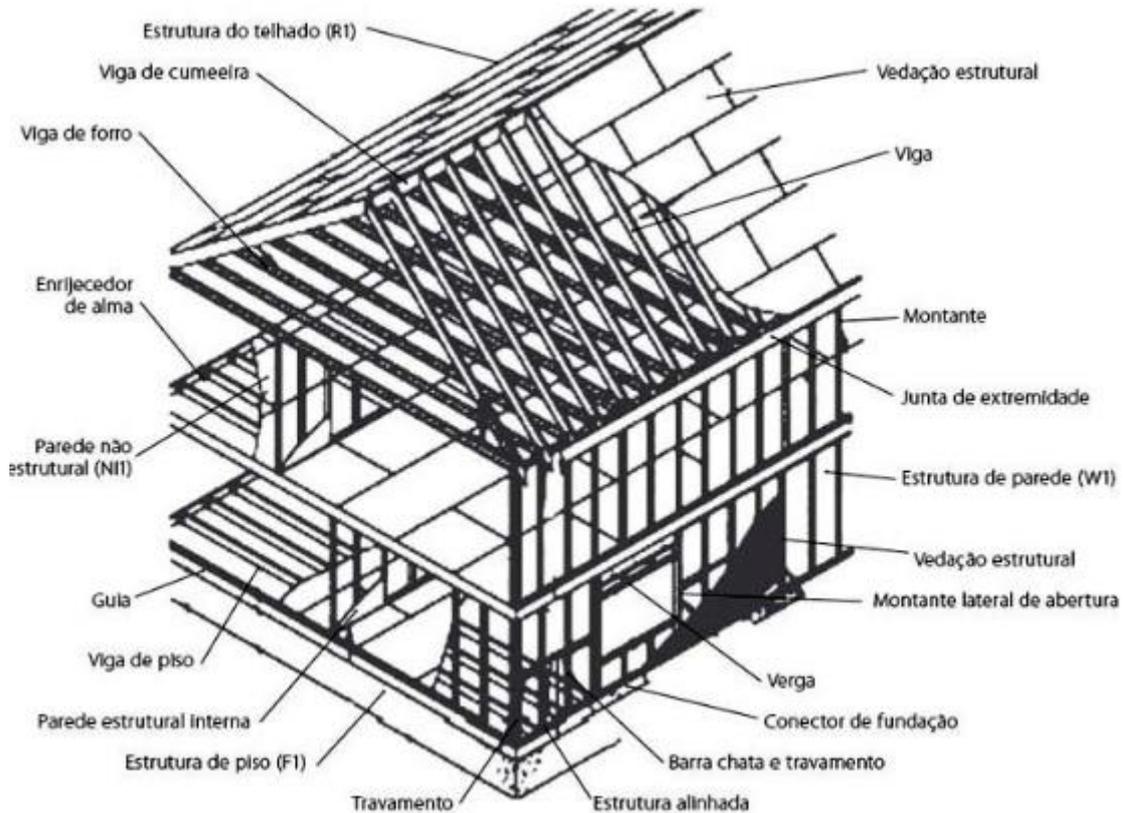
O Steel Framing, ou Light Steel Framing (LSF), é um sistema construtivo notável (figura 2) por suas características técnicas distintas e seu tratamento racional. O termo "Steel Framing" em inglês pode ser traduzido como "Estrutura de Aço", onde o "framing" designa que a estrutura remonta ao esqueleto estrutural de aço que atuando juntamente com outros elementos busca resistir os esforços. Originalmente, o sistema era conhecido como "Light Gauge Steel Framing", com Light Gauge" referindo-se à espessura leve dos perfis de aço utilizados e uma unidade de medida pouco utilizada atualmente que remonta a espessura das chapas. Com o tempo, a nomenclatura foi simplificada para "Steel Framing", mas a essência do sistema permaneceu inalterada (Bortolotto, 2015).

Entretanto, o LSF não é resguardado apenas por sua estrutura, (CONSTRUCCIÓN [...], 2002), para um pleno desenvolvimento da metodologia a escolha de mão-de-obra e os insumos é inenarrável para um sistema que é projetado visando desenvolver uma estrutura com velocidade e desempenho acima de outras, contando com vários subsistemas e componentes complementares, dados os quais podemos relacionar todas as instalações elétricas e hidráulicas, fundação e todo o fechamento que são realizados de maneira específica buscando atender as métricas de desempenho do sistema.

Os perfis e placas no LSF aderem a dimensões padronizadas, demandando um projeto modular para a otimização de recursos e a minimização de resíduos. Quando dimensionado de forma apropriada, o LSF não impõe restrições arquitetônicas, e a construção final assemelha-se incrivelmente à abordagem convencional. Um planejamento minucioso é fundamental para o controle dos materiais e da execução da obra, permitindo a maximização dos benefícios do sistema. A estrutura LSF, composta por paredes, pisos e cobertura, garante a integridade estrutural da edificação, resistindo às forças aplicadas, de acordo com figura 2. Embora esses elementos sejam comuns a qualquer construção, apresentam singularidades quando incorporados a esse sistema (Santiago; Freitas e Crasto, 2012).

O LSF, conhecido como um "sistema de construção a seco" segundo Campos (2014) beneficia-se do uso de elementos estruturais pré-fabricados em ambiente industrial, eliminando a necessidade de água no canteiro de obras, exceto para fundações e revestimento. O método destaca-se, garantindo durabilidade e resistência à corrosão. Além disso, o LSF permite, retomar princípios de uma obra sustentável e acelerando o processo construtivo, sua adaptabilidade e flexibilidade possibilitam projetos personalizados e a incorporação de isolamento termoacústico de alta qualidade.

Figura 2: Desenho esquemático de uma estrutura em Light Steel Framing.



Fonte: CBCA (2016).

3.3.1 Metodologia da Construção

De acordo com Santiago, Freitas e Crasto (2012), a construção em LSF envolve quatro abordagens principais: o método "stick", método de painéis, construção modular e "Balloon Framing" / "Platform Framing". No método "stick", os componentes são montados no local, exigindo mão de obra especializada, sendo preferencial onde a pré-fabricação é inviável. O método de painéis implica na pré-fabricação dos elementos, garantindo maior precisão e qualidade. A construção modular envolve unidades completas pré-fabricadas, incluindo acabamentos e mobiliário fixo, que são movimentadas e empilhadas em locais apropriados.

Existem dois métodos de montagem na construção conhecidos como "Balloon Framing" e "Platform Framing" demonstrados na Figura 3, que derivam dos métodos de construção "stick" e "painel". No método "Balloon Framing", os pisos são ancorados nas laterais dos montantes, permitindo que os painéis se estendam a alturas maiores que o padrão, possivelmente atingindo a altura total do edifício. Isso resulta em uma distribuição excêntrica de carga para a laje intermediária, devido à altura das paredes. Por outro lado, o método "Platform Framing" é a técnica mais prevalente na construção moderna. Neste método, a construção é realizada de forma sequencial, um pavimento de cada vez. As lajes dividem os painéis e suportam as vigas que se apoiam nos montantes dos painéis. Isso leva a uma distribuição de carga mais uniforme em relação a um eixo principal, proporcionando estabilidade e eficiência estrutural (Santiago; Freitas e Crasto, 2012).

Figura 3: métodos construtivos Balloon e Platform.



Fonte: Leite e Lahr (2015).

3.3.2 Perfis de Aço

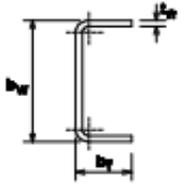
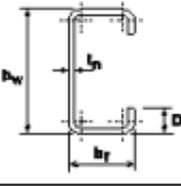
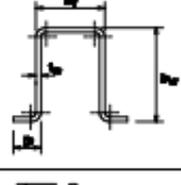
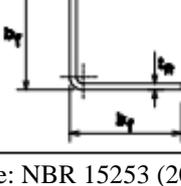
Conforme a pesquisa conduzida por Santiago, Freitas e Crasto (2012), estruturas de aço são constituídas por dois grupos distintos de elementos estruturais: perfis laminados e soldados, assim como perfis formados a frio (PFF). O foco da investigação recai sobre os PFF, que são elementos integrantes do sistema Light Steel Framing. Segundo os autores, os perfis PFF empregados no âmbito do LSF devem ser confeccionados a partir de bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR) com uma resistência mínima ao escoamento de 230 MPa e uma espessura mínima de 0,8 mm, em estrita observância da norma NBR 15253 (2014).

De acordo com Rodrigues e Caldas (2016), a produção desses perfis é obtida através de dois procedimentos distintos: o dobramento em prensa dobradeira ou a conformação contínua, fazendo uso de bobinas laminadas a quente ou a frio, e a totalidade desse processo é realizada em condições de temperatura ambiente. O revestimento de zinco ou liga alumínio-zinco é aplicado mediante um processo contínuo de imersão a quente ou eletrodeposição, conhecido como processo de galvanização, com o intuito de conferir proteção contra a corrosão aos perfis em questão:

- **Bloqueador Horizontal:** Este elemento desempenha a função de travamento horizontal para montantes e vigas, contribuindo para a estabilidade estrutural do sistema LSF.
- **Cantoneira de Conexão:** A cantoneira é um perfil específico que facilita as conexões entre os diversos elementos do sistema, garantindo a integridade da estrutura.
- **Fita de Aço Galvanizado para Contraventamento:** A fita de aço galvanizado é empregada como contraventamento em painéis de parede, piso e cobertura. Além disso, ela desempenha um papel crucial no travamento horizontal das vigas de piso e cobertura. Quando combinada com bloqueadores e utilizada na horizontal, essa fita reduz a altura de flambagem dos montantes, aprimorando a estabilidade.
- **Guia para Painéis:** As guias são utilizadas na base e no topo dos montantes para a formação dos painéis, contribuindo para a criação de estruturas verticais sólidas.
- **Montante Vertical:** Os montantes são perfis verticais que compõem os painéis estruturais, formando as paredes do sistema LSF. Eles desempenham um papel fundamental na sustentação da estrutura.
- **Ombreira de Apoio:** As ombreiras são perfis verticais usados como apoio das vergas nas aberturas, garantindo a integridade das aberturas arquitetônicas no sistema.

- Ripa de Apoio para Telhas: As ripas são perfis usados para dar suporte às telhas na cobertura do sistema, proporcionando um suporte adequado e seguro.
- Sanefa de Ligação: A sanefa é um perfil responsável por conectar as extremidades das vigas de piso, assegurando a estabilidade e a integridade da estrutura.
- Viga para Lajes Horizontais: As vigas são perfis horizontais usados para formar as lajes no sistema LSF, desempenhando um papel vital na distribuição de cargas e no suporte das lajes.
- Verga para Aberturas Superiores: As vergas são perfis estruturais utilizados na parte superior de aberturas, como janelas e portas, para garantir a resistência e estabilidade dessas áreas.

Figura 4: perfis de aço e suas respectivas aplicações.

	U simples $U\ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola $Cr\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais $L\ b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Borda para fôrma Ligações

Fonte: NBR 15253 (2014).

3.3.3 Painéis e Fechamento Vertical

Os painéis autoportantes representam sistemas estruturais autoportantes, compostos por montantes e guias. Os montantes, posicionados verticalmente, são confeccionados a partir de perfis no formato "Ue", com os espaçamentos entre eles precisamente definidos de acordo com as especificações do projeto. Guias, localizadas nas extremidades dos montantes na direção horizontal, também são constituídas por perfis no formato "U". O número de montantes utilizados e a distância entre eles variam de acordo com a magnitude da carga aplicada aos painéis. Em cenários de cargas elevadas, é imperativo reduzir os espaçamentos entre os montantes e aumentar a quantidade utilizada. Os espaçamentos convencionais estão dentro da faixa de 400 a 600 mm, mas podem ser ajustados para menos em casos de cargas substanciais. Para fornecer suporte a esquadrias e aberturas, são empregadas vigas metálicas, geralmente compostas por dois perfis do tipo "Ue" que se interconectam por meio de perfis "U" (Castro, 2005).

Os painéis não estruturais (figura 5) são elementos arquitetônicos que, de acordo com a definição de Castro (2005), não contribuem ativamente para a sustentação da edificação.

Eles consistem em montantes e guias, possuindo características semelhantes aos painéis autoportantes, mas com menor espessura e paredes mais finas. Sua função principal é a vedação da estrutura, sem a responsabilidade de suportar cargas além de seu próprio peso.

Figura 5: Pannel não-estrutural.

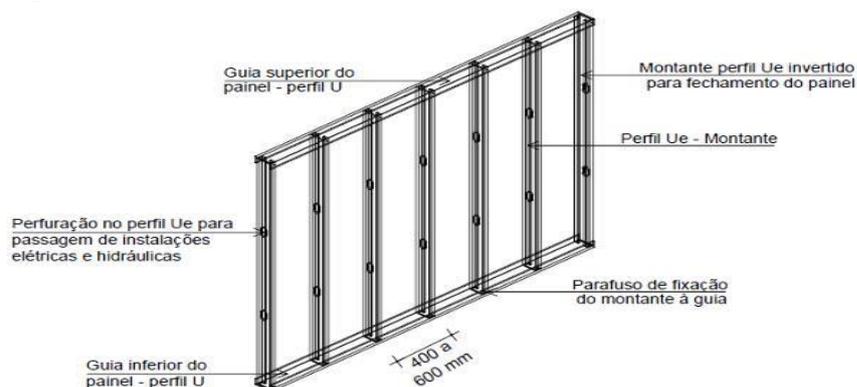


Fonte: CONSTRUCCIÓN [...] (2002).

No que se refere à estrutura horizontal, a montagem segue o mesmo padrão das estruturas verticais (figura 7), com modulação aplicada em elementos como lajes, paredes e cobertura. Para as vigas de piso, perfis do tipo Ue são utilizados, servindo como reforço de alma nas extremidades das vigas, a fim de evitar o colapso das vigas (Santiago, 2008). É relevante notar que existem duas abordagens na construção do assoalho, de acordo com Crasto (2005): a laje úmida, que envolve o uso do sistema steel deck, e a laje seca, que utiliza materiais como Oriented Strand Board (OSB) ou placas cimentícias. Ambos os métodos incluem camadas de lã de vidro envoltas em filme plástico para melhorar o isolamento térmico e acústico.

As escadarias são concretizadas por meio da sinergia dos elementos estruturais, os perfis de seção transversal "U" e "Ue". No que tange à composição dos degraus e espelhos, eles são forjados com o emprego de pranchas de madeira ou placas de Oriented Strand Board (OSB). Esta abordagem constitui uma prática convencional na engenharia civil, harmonizando a integridade estrutural da edificação com as demandas ergonômicas e estéticas, contribuindo, assim, para a funcionalidade e segurança da construção (Castro, 2005).

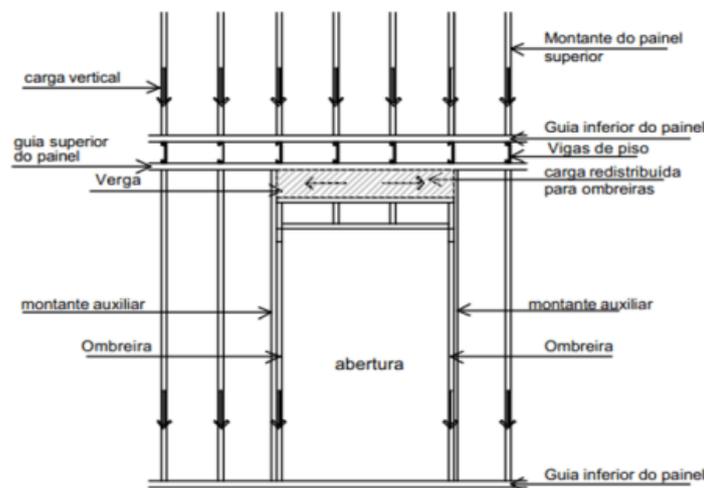
Figura 6: Pannel LSF com Guia (U) e montante (Ue).



Fonte: Santiago; Freitas; Crasto (2012).

O estudo conduzido por Santiago, Freitas e Crasto (2012) enfatiza a significativa importância dos fechamentos no âmbito da construção civil. Os pesquisadores delimitam os fechamentos como componentes externos meticulosamente posicionados e estrategicamente afixados na estrutura edifícia. Estes elementos, quando harmoniosamente amalgamados com os adequados painéis construtivos (figura 7), engendram a vedação dual, tanto interna quanto externa, da edificação. Adicionalmente, os autores ponderam sobre a intrigante possibilidade que o sistema LSF viabiliza, permitindo a utilização de componentes de fechamento de índole industrializada, alinhando-se assim de modo mais enfático com o conceito preceptivo da racionalização construtiva. Tais elementos, segundo a investigação em apreço, englobam com frequência as placas de OSB (Oriented Strand Board), as placas de matriz cimentícia e, para as funções de interiorização da estrutura, o Drywall.

Figura 7: Representação de painel estrutural.



Fonte: Crasto (2005).

a) Os painéis cimentícios fortificados (Figura 8) mediante a inserção estratégica de fios, fibras, filamentos ou malhas, ou mesmo constituídos a partir de compósitos de fibrocimento, aderem rigorosamente às diretrizes estabelecidas pela NBR 15498 (ABNT,2021). Está normativa, por sua vez, institui critérios precisos e protocolos de ensaio detalhados, a fim de garantir a devida validação técnica e aferição da qualidade desses materiais.

Figura 8: Aplicação de painéis cimentícios.



Fonte: Grubler (2021).

b) As Chapas de Painel de Fibra de Madeira Orientada (PFMO) conforme a figura 9, são empregadas na construção de barreiras verticais, tanto internas quanto externas, dentro do sistema construtivo LSF, podem ser classificadas como chapas naturais, as quais requerem posterior acabamento, ou chapas revestidas (Craστο, 2005). Esses materiais estão sujeitos às regulamentações estabelecidas pela ABNT, mais precisamente pela norma NBR 16970-1 (ABNT, 2022). No âmbito da conformidade técnica, o item 5.3.4 desta norma delinea as especificações técnicas e requisitos mínimos indispensáveis para a validação técnica destas placas no contexto do mencionado sistema construtivo.

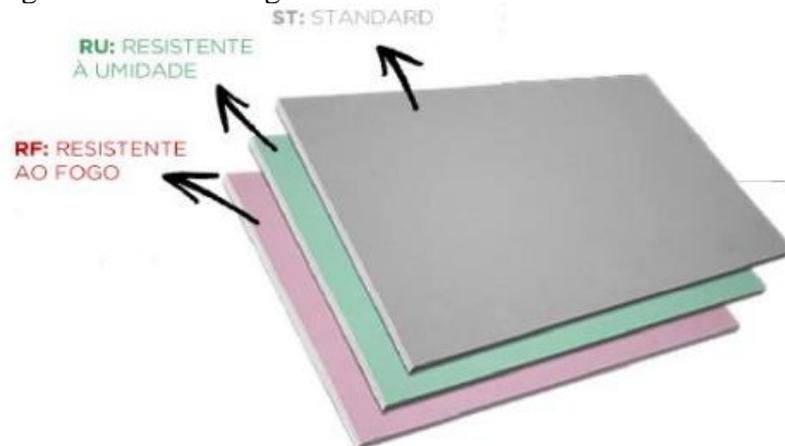
Figura 9: Placas OSB.



Fonte: Grubler (2021).

c) Os painéis de gesso acartonado (Figura 10), submetidos a regulamentações de acordo com as diretrizes estabelecidas na norma NBR 14751-1 (ABNT, 2021), desempenham um papel fundamental no contexto do sistema de construção conhecido como drywall. A referida norma estabelece de forma abrangente os requisitos técnicos necessários para a avaliação das características das chapas de gesso, as quais são classificadas com base em sua tipologia e nas aplicações específicas dentro do sistema de drywall. Além disso, a norma NBR 15758-1 (ABNT, 2009) desempenha um papel crucial na definição dos parâmetros técnicos fundamentais relacionados ao planejamento e à execução das montagens que envolvem os painéis de gesso drywall. Esses painéis são usados como elementos de divisão e como componentes estruturais na construção de paredes internas e externas. A norma estabelece critérios detalhados que abrangem estabilidade, segurança, desempenho acústico, resistência ao fogo e outros aspectos críticos para garantir a integridade e funcionalidade do sistema de drywall em diversas aplicações construtivas.

Figura 10: Placas de gesso.



Fonte: : Grubler (2021).

3.3.4 Lajes e Coberturas

No contexto do LSF, os procedimentos variam conforme a necessidade de suportar outros pavimentos, atuar como laje de cobertura ou exigir impermeabilização devido à exposição às intempéries (Santana, 2019). A distinção primordial em relação ao método convencional reside na ausência de concreto armado, eliminando a necessidade de escoramento e formas, entre outros elementos. Após a conclusão, a laje LSF não se distingue da laje convencional, mas a participação de um engenheiro permanece vital. Santana (2019)... identifica três categorias de lajes amplamente empregadas neste sistema:

Laje úmida (LU): Adequada para pavimentos superiores, a LU figura 11, engloba a montagem de uma estrutura metálica com perfis de aço galvanizado, o preenchimento com isolamento, como lã de vidro, e a aplicação de placas de Oriented Strand Board (OSB). Sobre as placas, é aplicada uma camada de concreto armado com malha soldada, seguida pelo contrapiso e o revestimento desejado.

Figura 11: Laje úmida.



Fonte: Barreto (2022).

Laje seca (LS): Esta opção, caracterizada por sua leveza e bom desempenho térmico, é utilizada para pavimentos superiores. O procedimento envolve a montagem da estrutura

metálica e a aplicação de painéis de OSB ou placas cimentícias prensadas (WALL) na superfície. Uma camada de Extruded Polystyrene (XPS), um polímero com alto poder de isolamento térmico, é aplicada, seguida pelo piso. É fundamental notar que o piso não pode ser colado, sendo mais indicados os pisos laminados, vinílicos em régulas clicados e tacos de acordo com a figura 12.

Figura 12: Laje seca.

Laje Seca

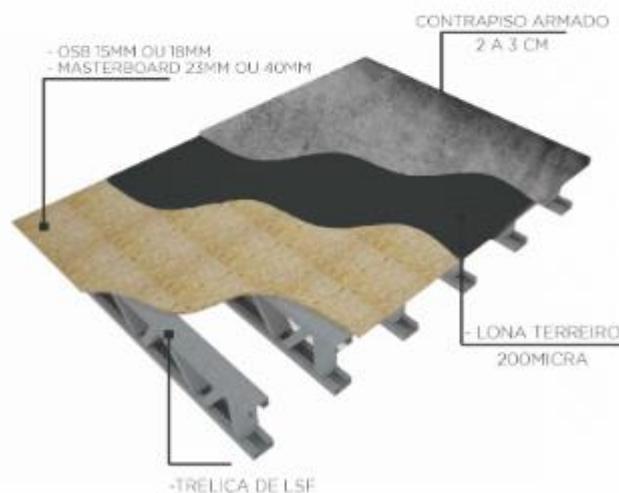


Fonte: Barreto (2022).

Laje mista (LM): Similar à laje seca, a LM (figura 13), incorpora argamassa para o contrapiso, possibilitando a instalação de revestimentos como piso cerâmico, porcelanato, vinílico em placas, entre outros materiais.

Figura 13: Laje mista.

LAJE MISTA



Fonte: Barreto (2022).

O Light Steel Framing oferece versatilidade no design das coberturas, permitindo a construção de coberturas planas (figura 14) ou inclinadas (figura 15), dependendo de fatores como o tamanho do vão, cargas e considerações estéticas e econômicas. Coberturas planas

apresentam uma leve inclinação para drenagem de água, enquanto as coberturas inclinadas são construídas com perfis de aço em vez de madeira, usando vigas, terças e caibros, alinhando as almas dos perfis para transferência de esforços axiais na estrutura (Santiago, Freitas e Crasto 2012).

Figura 14: Cobertura plana.



Fonte: CBCA (2016).

Figura 15: Cobertura inclinada.



Fonte: CBCA (2016).

A aplicação de telhas em coberturas de estruturas do sistema LSF oferece uma gama diversificada de opções. Cada tipo de telha apresenta requisitos de suporte específicos, demandando uma análise detalhada durante o planejamento e execução. Portanto, no caso de telhas cerâmicas e shingle, é fundamental garantir a presença de um substrato apropriado para suporte (Retondo, 2021).

No cenário das telhas cerâmicas, a solução está na utilização de perfis do tipo "cartola," que desempenham o papel de ripas. Por outro lado, o shingle requer a colocação de placas de OSB devidamente impermeabilizadas como base, proporcionando a estabilidade necessária (Retondo, 2021). Telhas metálicas, por sua vez, se destacam pela sua capacidade de serem instaladas diretamente nos caibros, eliminando a necessidade de outros elementos em coberturas com vigas e caibros, entretanto, em estruturas com tesouras no telhado, a

fixação das telhas metálicas é realizada nos perfis de contraventamento lateral do banzo superior. Portanto, uma análise minuciosa dessas características técnicas é essencial ao optar pelo tipo de telha mais adequado para uma cobertura em uma estrutura de *Light Steel Frame*, assegurando a durabilidade e o desempenho desejados ao longo do tempo (Lafaete, 2021).

3.3.5 Fundações

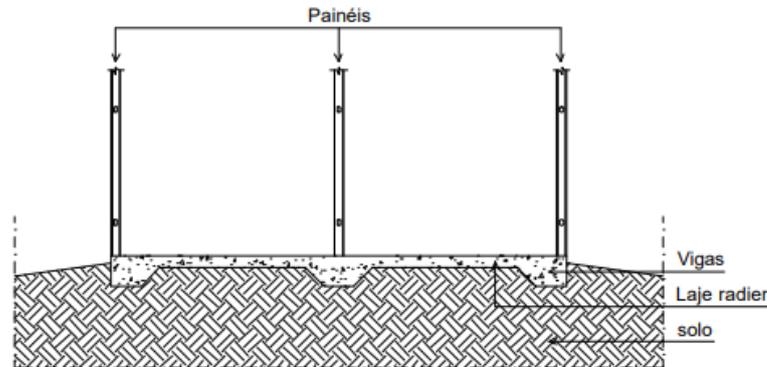
Fundação tem como finalidade primordial a absorção e redistribuição das cargas provenientes de uma estrutura de edificação em direção a uma camada resistente do solo. Importante observar que as fundações desempenham um papel de significativa relevância, tanto do ponto de vista econômico quanto em relação ao cronograma de execução de um projeto de construção. No entanto, nas edificações do sistema Steel Frame, essa problemática é substancialmente mitigada em virtude da característica leve dos perfis metálicos, os quais impõem demandas reduzidas ao substrato do solo (Moura, 2019).

As fundações sujeitas a cargas contínuas, destacam-se duas alternativas notáveis, a saber, o radier e a sapata corrida. A escolha entre esses tipos de fundação é determinada por meio de uma análise aprofundada das propriedades geotécnicas do solo, incluindo sondagens, avaliação da topografia e considerações acerca do nível do lençol freático local. A execução das fundações em edificações Steel Frame segue os mesmos princípios dos sistemas construtivos convencionais. É imperativo adotar medidas de impermeabilização adequadas, a fim de prevenir eventualidades futuras, como infiltrações e acúmulo de umidade na estrutura. Este estudo acadêmico enfatiza a importância das fundações em projetos de construção e as soluções relevantes para otimizar sua eficiência (Moura, 2019).

Onde os esforços horizontais provocados pela força do vento representam uma consideração crítica, existem diversas opções de ancoragem à disposição. Entre os tipos de ancoragem amplamente adotados para a segurança destas estruturas, destacam-se a ancoragem química com barra roscada (figura 17) e a ancoragem expansível com Parabolts, contudo, as forças de arrasto horizontal, que podem gerar movimentos de rotação e translação nas estruturas leves, tornam imperativa a aplicação de métodos de ancoragem robustos. Estas técnicas desempenham um papel fundamental na estabilidade das estruturas de LSF, alinhando-se com as melhores práticas da engenharia civil, como abordado por Santiago, Freitas e Crasto (2012).

O Radier, uma fundação rasa de concreto armado ou protendido (figura 16), segundo Pereira (2013) é a escolha predominante na engenharia civil para a base das estruturas de *Light Steel Frame*. Essa preferência se baseia na capacidade do Radier de distribuir de maneira uniforme a carga da estrutura leve de aço, garantindo a estabilidade. A preparação do solo, que inclui escavação, nivelamento e compactação, é uma etapa crucial para estabelecer uma superfície sólida, a impermeabilização com lona e a camada de brita são componentes essenciais para proteger o Radier contra a umidade e as matérias orgânicas presentes no solo, mitigando riscos de corrosão. Além disso, a integração das instalações elétricas e hidráulicas sob o Radier, antes da concretagem, evita cortes posteriores na fundação, economizando tempo e recursos.

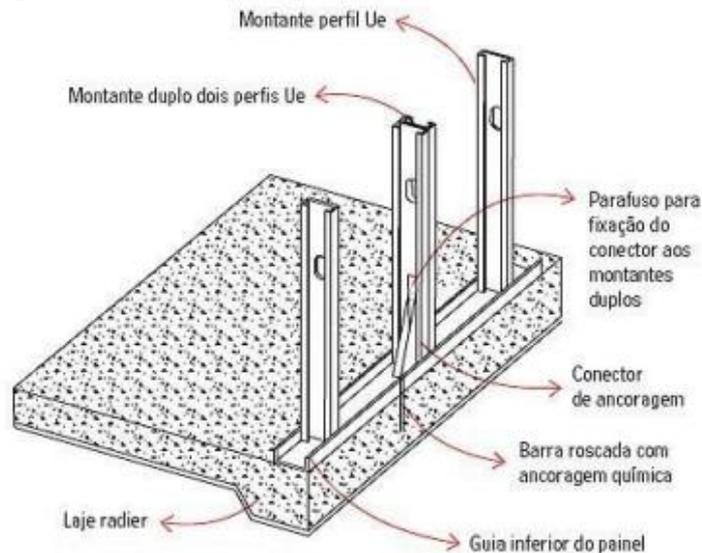
Figura 16: Corte esquemático de um radier.



Fonte: CBCA (2016).

Para a execução do sistema LSF, é importante mencionar a ancoragem química (figura 17), que desempenha um papel crucial na fixação dos elementos de aço à fundação. A ancoragem química envolve o uso de resinas e adesivos especiais para garantir uma conexão segura e durável entre o Radier e a estrutura de aço leve. Portanto, o Radier é a opção primordial para a fundação em estruturas de *Light Steel Frame*, incorporando a ancoragem química como um elemento técnico fundamental para a integridade da construção (Pereira, 2013).

Figura 17: Ancoragem química com barra rosca.



Fonte: Téchne (2018 apud Ribeiro; Carvalho 2018).

3.3.6 Ligações, Montagem e Instalações

Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), no Brasil, os parafusos autoatarraxantes e autoperfurantes são as conexões mais comuns, submetidos a cementação e revestimento de zinco-eletrolítico para evitar corrosão. Eles variam em tamanho (do nº6 ao nº14) e ponta (broca ou agulha) de acordo com a aplicação, sendo as cabeças (lenticilha, sextavada, panela ou

trombeta) determinadas pelo material a ser fixado. Em perfis de aço, usam-se os parafusos com cabeça lenticular, sextavada ou panela; para fixação de placas de fechamento em perfis de aço, os parafusos de cabeça trombeta são recomendados.

O sistema de ancoragem abriga outros componentes de relevância, notadamente os elementos chumbadores empregados na consolidação estrutural, bem como os grampos galvanizados desempenhando um papel fundamental na aplicação da membrana impermeável. No Brasil, predomina o método construtivo baseado em painéis, no qual os próprios painéis são produzidos in loco ou em instalações fabris especializadas, exigindo, portanto, a necessária implementação de mesas de trabalho para a efetiva execução deste processo (Santiago; Freitas e Crasto, 2012).

Conforme Campos (2014), o sistema LSF oferece a vantagem de reduzir resíduos, evitando a necessidade de quebrar paredes recém-construídas para instalar dutos e tubulações. As instalações elétricas e hidráulicas seguem princípios semelhantes ao sistema convencional, com algumas considerações específicas. Elas passam por aberturas nos montantes e vigas de acordo com a norma NBR 15253 (ABNT, 2014). Entre os painéis, as instalações percorrem os espaços vazios das paredes, facilitando a execução e futuras manutenções, conforme definido no projeto.

Nas instalações elétricas e hidrossanitárias, os mesmos materiais utilizados na construção tradicional, como tubos de PVC, cobre e eletrodutos de PVC, PP (polipropileno) ou PE (polietileno), podem ser empregados. Recomenda-se o uso de dutos corrugados para simplificar a instalação e minimizar o desperdício. Para evitar problemas decorrentes de vibrações ou cortes acidentais nas tubulações, como o PEX, é essencial garantir proteção e fixação adequadas durante a passagem pelos furos dos montantes, que pode ser alcançada com a aplicação de elementos como espuma expansiva, presilhas de plástico ou anéis de borracha ou plástico (Campos, 2014).

No que diz respeito às instalações elétricas, Campos (2014) o sistema mantém sua essência em relação ao convencional, com a principal vantagem sendo o espaço interno das paredes e forros, juntamente com os furos nos montantes, que facilitam a instalação sem a necessidade de quebrar estruturas (figura 18). Para a passagem dos conduítes pelos furos dos montantes, precauções como a utilização de presilhas de plástico são necessárias para evitar danos causados pelo aço. A aplicação de espuma expansiva é recomendada para uma fixação sólida em furos maiores, sendo crucial manter a passagem dos conduítes no centro do perfil, evitando a zona de perfuração.

Figura 18: Instalações elétricas.



Fonte: Steelco (2023).

Das instalações hidrossanitárias (figura 19), o processo de instalação segue um padrão semelhante ao das instalações elétricas no sistema LSF, com a passagem de todas as tubulações, incluindo águas pluviais, água fria/quente e esgoto, antes do fechamento das estruturas. Durante a instalação, existem precauções específicas, como o uso de espaçadores para evitar o contato entre tubos de cobre e aço, juntamente com a aplicação de espuma expansiva para reduzir atritos, são fundamentais. Além disso, é importante fixar os registros hidrossanitários em peças auxiliares apropriadas para garantir a estabilidade necessária durante o uso (Campos, 2014).

Figura 19: Instalações hidráulicas com tubos PEX.



Fonte: Steelco (2023).

3.4 O SISTEMA ASSOCIADO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em consonância ao grande desenvolvimento tecnológico que o mundo está passando, fica evidente a necessidade de englobar inovações juntamente com sustentabilidade, tendo em vista os 17 objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU), principalmente o “Objetivo de nº9” que visa fomentar a industrialização inclusiva e sustentável, buscando a construção de infraestruturas duradouras alinhadas a inovação, mediante esses aspectos pode-se relacionar o desenvolvimento sustentável com um compromisso que objetiva-se pelo avanço no cenário contemporâneo, simultaneamente à preservação correta dos recursos naturais, satisfazendo necessidades imediatas, enquanto assegura, com cuidado previdente, a capacidade das gerações vindouras de suprir suas demandas futuras. Isso é realizado por meio de uma abordagem meticulosa, orientada para a não proliferação de detritos supérfluos, a reutilização de materiais, bem como a reciclagem dos resíduos resultantes das empreitadas (ONU, 2015).

Nesse contexto, tanto as entidades de natureza pública quanto as instâncias privadas fomentam o uso criterioso dos recursos naturais por meio de proezas técnicas inovadoras, um gerenciamento perspicaz de procedimentos e, sobretudo, uma completa reengenharia dos processos em todas as esferas. Contudo, não se esgota unicamente na otimização da utilização de recursos naturais, mas exige também a concomitante minimização da geração de resíduos e a valorização de materiais passíveis de reincorporação ou reciclagem (Campos, 2014).

Pressupondo as situações apresentadas, o sistema em alvenaria convencional não contribui plenamente para aspectos ambientais, deixando margem para abordagem do sistema LSF, que mesmo sendo pouco utilizado no Brasil, já demonstrou seu potencial em países desenvolvidos como Japão e Estados Unidos, tendo um caráter racional e industrializado, o

LSF pode corroborar de acordo com Rodrigues e Caldas (2016), demonstrando as seguintes características:

Na fabricação de estruturas de "Steel Frame", a produção é conduzida em instalações industriais dotadas de maquinário de última geração, sob a supervisão de profissionais altamente especializados. Isso confere ao cliente uma sólida garantia de qualidade devido ao estrito controle de processo implementado, demonstrando capacidade de otimizar a logística de construção, tornando-se particularmente vantajosa em locais de canteiro limitado.

Adicionalmente, deve-se destacar a inerente resistência dos perfis de aço galvanizado, aprimorado com revestimento de zinco, garantindo a integridades e à propagação do fogo, o que se traduz em um aumento substancial da segurança estrutural. A escolha de materiais e técnicas avançadas de engenharia, bem como a integração de sistemas de controle de qualidade robustos, contribuem para consolidar o sistema como uma opção de construção confiável e de alto desempenho (Rodrigues e Caldas, 2016).

A concomitante fabricação da estrutura e a execução das fundações, aliada à notável redução no emprego de formas e escoramentos, juntamente com a insensibilidade da montagem da estrutura às intempéries, configura um avanço técnico significativo na engenharia construtiva. Este enfoque proporciona uma diminuição acentuada, da ordem de 30%, nos cronogramas de construção, comparativamente ao método convencional. Frequentemente, é possível entregar projetos dentro do prazo máximo de noventa dias (Moura, 2019).

Em contraste com a madeira, os perfis de aço sofrem menos distorções ou fissuras devido a variações térmicas e, adicionalmente, ostentam uma resistência à corrosão. No âmbito técnico, a segurança representa um dos aspectos mais preponderantes no processo de seleção do sistema construtivo. Embora o uso de materiais leves suscite preocupações acerca da resistência da estrutura, os avanços na tecnologia dos materiais direcionam o setor rumo a soluções de elevada tenacidade com menor consumo de insumos (Gehbauer, 2004).

A adoção do LSF com o enfoque desenvolvimento sustentável enfatiza a aplicação de práticas de economia circular, com um objetivo significativo na reciclagem e reutilização de diversos materiais, notadamente o aço. Reconhecido por sua capacidade de ser reintegrado repetidamente ao ciclo produtivo, preservando constantemente suas características essenciais de qualidade e resistência, emerge como um recurso inigualável. Não é mera coincidência que o aço, em suas várias formas, detenha o título de material mais amplamente reciclado a nível global, desempenhando um papel proeminente na promoção da sustentabilidade ambiental e econômica das estruturas construídas com o sistema Steel Frame (Crasto, 2005).

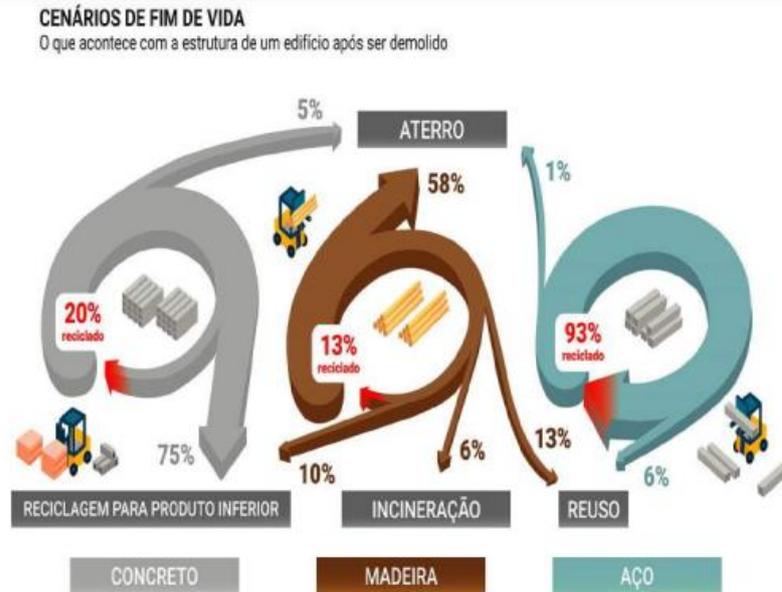
Destacando-se pela capacidade de ser reciclado em um sistema de circuito fechado, onde os materiais podem ser transformados em novos materiais sem perda das propriedades originais. Nesse processo, a sucata de aço pode ser convertida novamente em aço, preservando suas características essenciais. Contudo, muitos materiais comumente empregados na construção possibilitam apenas o downcycling, isto é, a transformação em novos materiais com propriedades ou funcionalidades reduzidas. Exemplificando, isso pode envolver a trituração de blocos de construção para serem usados como enchimento de valas ou a utilização de resíduos de madeira como fonte de energia em fornos. Essa distinção ressalta a singularidade da reciclagem de aço no contexto dos materiais, enfatizando seu potencial para manter a qualidade e a integridade dos produtos ao longo do tempo (Benite; Gonzales e Taniguti, 2019).

Outro ponto importante para Benite; Gonzales e Taniguti (2019) é que, a maioria das fôrmas usadas na execução de estruturas de concreto armado ainda é produzida em madeira e tem um número limitado de reutilizações. No caso de edifícios com estruturas de aço, a utilização de fôrmas é restrita a poucos elementos que podem ser concretados, o que reduz o consumo de madeira e a geração de resíduos, bem como os custos relacionados ao transporte

e à disposição final desses materiais. Assim, permitindo a implementação de um programa de gerenciamento de resíduos que direciona os resíduos para a reciclagem, evitando que eles sejam destinados a aterros, onde seu ciclo de vida seria encerrado. Além disso, o valor comercial da sucata de aço no mercado de reciclagem contribui para incentivo dessa prática em todo o mundo.

O processo de reciclagem e reutilização (figura 20) na engenharia, requer consumo de energia para reaproveitar materiais ou realizar atividades como desmontagem, transporte e ajustes para a reabilitação (STEEL CONSTRUCTION, 2018).

Figura 20: Destinação dos materiais utilizados em estruturas.



Fonte: Benite, Gonzales e Taniguti (2019).

A reutilização, devido ao menor consumo de energia e matérias-primas, se destaca como uma opção atraente na engenharia. A possibilidade de aproveitar parcialmente a estrutura de edifícios, existentes ou até mesmo construir novos edifícios com componentes de estruturas desmontadas é uma das abordagens mais sustentáveis, reduzindo assim os impactos associados ao final da vida útil ou de seus componentes. A aplicação de sistemas estruturais de aço, particularmente o LSF, em combinação com práticas de desconstrução criteriosa, oferece um horizonte promissor para o desenvolvimento de projetos de construção notavelmente sustentáveis. Essas estruturas de aço, com suas características de alta resistência e flexibilidade, proporcionam um suporte sólido para atender às demandas contemporâneas de sustentabilidade na engenharia civil (Aço Brasil, 2018).

A capacidade de prever futuras adaptações e modificações em edifícios de maneira eficiente. Abrange a consideração de necessidades de expansão, redução, mudança de uso, reconfiguração de layout e outras exigências variáveis que os edifícios podem enfrentar durante sua vida útil. Essas mudanças com facilidade e com menor impacto ambiental é essencial para a viabilidade de longo prazo e a sustentabilidade dos edifícios. Além disso, o ciclo de vida do Steel Frame é algo interessante por seguir o princípio dos "3R": reduzir, reutilizar e reciclar. Portanto, ao considerar o processo adequado de desconstrução, reutilização e reciclagem dos componentes de aço, destaca uma escolha ecologicamente responsável e diminuindo a pegada de carbono. Em suma, a combinação do LSF com abordagens técnicas de sustentabilidade, incluindo estratégias de desconstrução eficiente e reciclagem, formam uma sinergia fundamental para o avanço da construção civil em direção a um futuro mais ecológico e sustentável (Benite; Gonzales e Taniguti, 2019).

3.5 O LEAN CONSTRUCTION ATRELADO AO DESENVOLVIMENTO DO LSF NO BRASIL

Na década de 1950, Taiichi Ohno, no Japão, concebeu um modelo de produção enxuta baseado na ideia de puxar a produção de acordo com a demanda, uma abordagem que teria um impacto substancial na eficiência da indústria. Posteriormente, em 1992, Laury Koskela desempenhou um papel fundamental ao adaptar e introduzir essa filosofia de produção enxuta na indústria da construção com seu trabalho intitulado "Application of the new production philosophy to construction," representando um marco significativo nesse campo (Costa, 2014).

A partir da década de 1990, houve um notável crescimento de estudos e iniciativas com o intuito de aprimorar e adaptar os princípios da produção enxuta à construção civil, resultando na concepção do conceito de Lean Construction. Essa abordagem coloca ênfase na aplicação de princípios como a redução de atividades que não acrescentam valor, o foco nas necessidades dos clientes, a redução da variabilidade, a diminuição do tempo de ciclo, a simplificação por meio da redução de componentes e o aumento da transparência do processo, juntamente com a introdução da melhoria contínua, todos destinados a promover a eficiência e qualidade em todas as fases da construção (Koskela, 1992).

Costa (2018) destaca que a implementação da filosofia Lean Construction tem impactos positivos e significativos na fase de concepção e execução de projetos de construção. Isso proporciona oportunidades de aprimoramento, especialmente no que diz respeito à redução de custos e otimização do tempo, o que, por sua vez, representa um desafio de gerenciamento na busca por maximizar o valor agregado na construção. O conceito de desperdício não se limita à perda de materiais diretamente aplicados ao produto, mas também abrange perdas associadas a atividades que não acrescentam valor, tais como problemas relacionados a transporte, estoque e tempos de espera.

A implementação de ferramentas, como o Programa 5S, a padronização de procedimentos, o uso de sistemas de controle visual, a adoção da estratégia Just In Time e a incorporação da Manutenção Produtiva Total desempenham um papel crucial na formulação de um planejamento eficaz. Isso resulta na eliminação de ineficiências, como desperdício de materiais, falta de mão de obra qualificada, ausência de orientações técnicas, necessidade de uma organização e planejamento mais eficazes nos canteiros de obra, redução de superprodução, minimização do tempo de espera, eliminação de transporte desnecessário, aprimoramento do processo, redução de níveis de estoque, otimização dos movimentos, prevenção de defeitos e aproveitamento máximo do potencial humano (Koskela, 1992).

Outro aspecto crucial na indústria da construção civil, no âmbito da gestão, é o potencial impacto ambiental associado. Dentro desse contexto, a implementação de práticas de construção enxuta e sustentabilidade visa reduzir a geração de resíduos sólidos e enfrentar os desafios de produtividade de forma eficaz. Conforme enfatizado por Pardini (2009), nos últimos anos, os consumidores desse mercado passaram a demandar uma atenção mais acentuada em relação aos impactos sociais e ambientais por parte das empresas de construção.

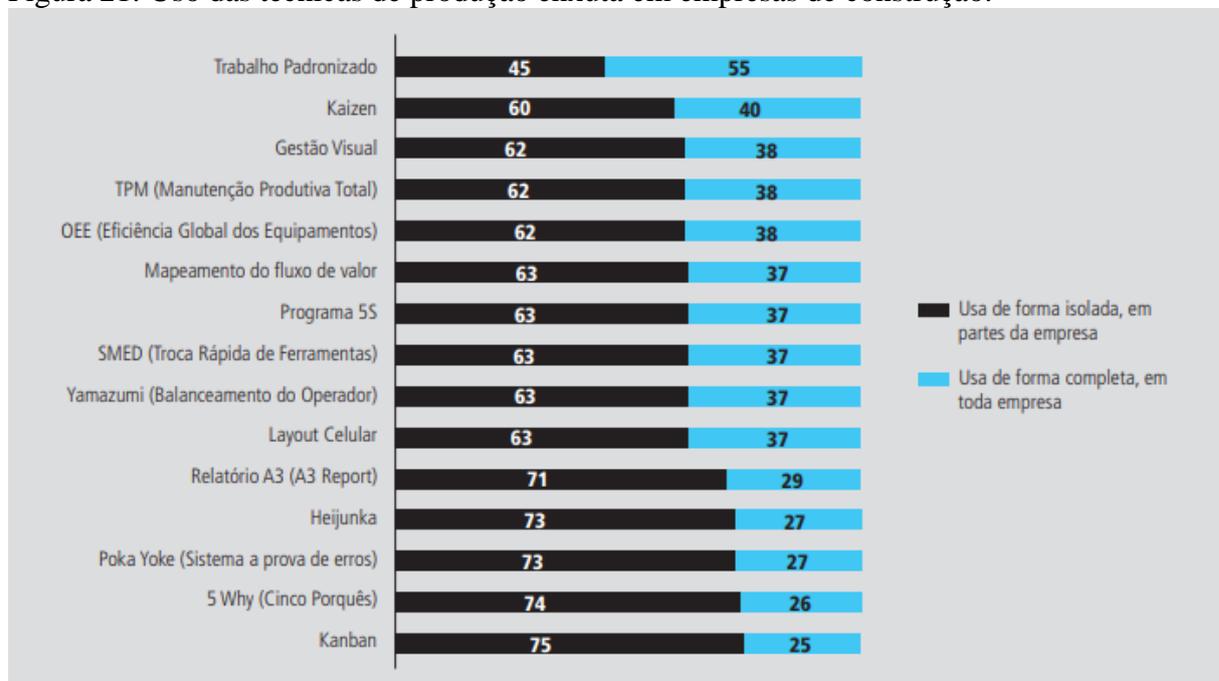
O conceito de produção enxuta pressupõe que um processo consiste em um fluxo contínuo de materiais e informações, desde a matéria-prima até o produto. Esse fluxo é composto por atividades que englobam transporte, espera, processamento (ou conversão) e inspeção. As atividades de conversão desempenham um papel crucial na transformação dos insumos em produtos, seja intermediário ou final, agregando valor, desde que atendam às especificações necessárias para as etapas subsequentes ou às exigências dos clientes finais. Portanto, a necessidade de retrabalho em qualquer aspecto indica que as atividades de conversão foram realizadas de forma ineficiente, não agregando valor (Azevedo; Neto e Nunes, 2010).

As técnicas de produção enxuta mais amplamente utilizadas na indústria da construção são aquelas que também se destacam na indústria manufatureira. No ano de 2018, as duas principais técnicas aplicadas na construção foram o Trabalho Padronizado e o Programa 5S, com taxas de adoção de 68% e 60% pelas empresas, respectivamente. Essas técnicas se concentram na otimização das operações e contribuem para a eliminação de perdas relacionadas a movimentos desnecessários e tempos de espera (CNI, 2019)

Entretanto, as demais técnicas de produção enxuta são aplicadas em menos de 40% das empresas do setor da construção no Brasil. O Mapeamento do Fluxo de Valor, que é a terceira técnica mais disseminada no segmento, é empregado por 39% das empresas. Em seguida, vêm a Gestão Visual e o Kaizen, com taxas de implementação de 32% e 30%, respectivamente (CNI, 2019). O Mapeamento do Fluxo de Valor e a Gestão Visual são técnicas que se baseiam na comunicação visual. A primeira técnica é usada para identificar desperdícios nos fluxos, seja de materiais ou informações, e está relacionada à fase de observação e análise, preparando o terreno para a próxima etapa, que envolve a elaboração do plano de melhorias. A Gestão Visual, por sua vez, permite a comunicação de procedimentos de trabalho padronizados e indicadores de desempenho, auxiliando na gestão. A técnica do Kaizen também contribui para a gestão, já que visa à busca contínua de aprimoramentos e à eliminação de desperdícios (Koskela, 1992).

Apenas o Trabalho Padronizado, a técnica mais amplamente adotada pelas empresas de construção (figura 21), é implementado de forma abrangente, ou seja, cobre a totalidade das operações em mais de metade das empresas, correspondendo a 55% das organizações (CNI, 2019).

Figura 21: Uso das técnicas de produção enxuta em empresas de construção.



Fonte: CNI (2019).

O sistema construtivo *Light Steel Frame* exemplifica a filosofia da Lean na prática, proporcionando uma conexão direta com os princípios abordados anteriormente. Essa abordagem tem uma influência positiva em cada um dos pilares da construção enxuta, como demonstrado a seguir:

Redução de desperdícios: No contexto do LSF, a fabricação precisa dos componentes de aço leve elimina o desperdício de materiais comuns na construção convencional. Cada

componente de aço é produzido com medidas exatas, reduzindo de forma significativa o desperdício de material. Além disso, o sistema LSF se destaca na eficiência do tempo, com a pré-fabricação dos componentes permitindo uma montagem ágil no local. Isso encurta consideravelmente o prazo de execução do projeto, alinhando-se perfeitamente com o objetivo central da construção enxuta, que é otimizar o tempo (Benite; Gonzales e Taniguti, 2019).

Portanto, o sistema *Light Steel Frame* representa um exemplo prático e eficaz de como a aplicação dos princípios da Lean Construction pode otimizar a eficiência, reduzir desperdícios e aprimorar a qualidade em todos os aspectos da construção, demonstrando a coerência entre a filosofia da Construção Enxuta e a prática na indústria da construção.

4 ANÁLISE DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAME*

Na construção, a aplicação das técnicas de produção enxuta pode ter um impacto significativo, especialmente porque a indústria enfrenta problemas de baixa produtividade. Além disso, no contexto atual de avanço das tecnologias digitais, é fundamental que a digitalização do processo produtivo esteja acompanhada de uma produção organizada para gerar resultados positivos (Azevedo; Neto e Nunes, 2010). É importante destacar que a utilização das técnicas de produção enxuta na indústria da construção não é amplamente difundida entre as empresas do setor.

Quando se avalia apenas as técnicas utilizadas de forma completa, ou seja, em toda a empresa, o percentual de empresas que não as utilizam aumenta de 19% (quando se considera o uso isolado) para 50%. Com isso, a maioria das empresas não emprega nenhuma técnica ou utiliza apenas de 1 a 3 delas, totalizando 86% do total (CNI, 2019).

As empresas da construção que adotam as ferramentas e técnicas de produção enxuta buscam principalmente reduzir o desperdício, defeitos e retrabalho, como a diminuição do consumo excessivo de materiais, redução de descartes e minimização do tempo ocioso. Além disso, buscam aumentar a produtividade, já que esses fatores foram apontados como uma das três principais razões para adotar essas técnicas, com 46% e 44% das empresas indicando a redução de desperdícios e o aumento da produtividade, respectivamente. Em terceiro lugar, aprimorar a qualidade dos produtos e serviços é mencionado por 38% das empresas (CNI, 2019).

A utilização de estruturas metálicas em edifícios apresenta diversas vantagens técnicas que merecem uma análise aprofundada. A versatilidade das estruturas metálicas as torna particularmente adequadas para cenários que requerem ajustes, expansões, modernizações e mudanças no uso de edifícios. Esta versatilidade decorre da facilidade de manipulação e do baixo peso dos elementos estruturais de metal, o que permite modificações estruturais com relativa facilidade, minimizando o impacto sobre a edificação existente.

Além disso, as estruturas metálicas facilitam a integração de serviços essenciais, como abastecimento de água, sistemas de climatização, eletricidade, saneamento, redes de comunicação e tecnologia da informação. Isso ocorre devido à maleabilidade do metal, que possibilita a passagem de dutos e cabos de maneira eficiente, evitando interferências e otimizando o espaço interno da estrutura (Grubler, 2021).

Outro ponto relevante, de acordo com Hass e Martins (2011) é que, nas estruturas metálicas, a unidade de medida primária é o milímetro. Isso resulta em uma construção perfeitamente alinhada e nivelada, o que, por sua vez, reduz custos associados a materiais de revestimento, como argamassas e rebocos, que muitas vezes são necessários para corrigir imperfeições em estruturas de alvenaria tradicionais.

A manutenção de sistemas hidráulicos, elétricos, de ar-condicionado, gás e outros se torna uma tarefa simplificada em edificações com estruturas de aço. Mesmo quando é

necessário intervir em algum desses sistemas, a execução do serviço é conveniente, sem causar bagunça ou ruído excessivo. Isso contribui para evitar adiamentos frequentes em reformas residenciais, uma vez que a perturbação aos moradores é minimizada (Castro, 2005).

Além disso, a incorporação de materiais isolantes, como lã de rocha e lã de vidro entre as paredes e o teto, melhora de forma significativa o desempenho acústico e térmico das edificações com estruturas metálicas. Esses materiais isolantes, quando comparados com as paredes de alvenaria tradicionais, demonstram ser aproximadamente 2,5 vezes mais eficientes na contenção de ruídos e na regulação da temperatura interna, contribuindo para um ambiente interno mais confortável e eficiente em termos energéticos (Grubler, 2021).

No âmbito da construção, esses imperativos adquirem urgência, uma vez que cerca de 40% dos recursos naturais extraídos são destinados a essa indústria, agravando o desafio exponencial relacionado à gestão dos resíduos gerados, muitas vezes carentes de destinação adequada (Benite; Gonzales e Taniguti, 2019).

A reciclagem do aço é impulsionada por sua característica magnética, simplificando a separação por meio de sistemas de campo magnético em processos de triagem. Comparativamente a outros materiais, o aço apresenta uma taxa de reciclagem elevada em circuito fechado, atingindo 93%, com 6% destinados à reutilização e apenas 1% encaminhado para aterros (Instituto Aço Brasil, 2018).

O princípio de operação segue uma lógica semelhante na maioria dos mercados, embora os percentuais variem de acordo com o grau de desenvolvimento do mercado de reciclagem em cada localidade. No Brasil, aproximadamente 30% de todo o aço produzido provém da reciclagem (Instituto Aço Brasil, 2018). Além de sua capacidade intrínseca de ser reciclado, a fabricação de componentes de aço em ambientes industriais possibilita a reintrodução de resíduos inevitáveis no processo produtivo, contribuindo para uma abordagem mais sustentável e de economia circular.

Uma característica técnica de suma importância, segundo Campos (2014) é a distribuição equitativa das cargas em toda a estrutura. Ao eliminar o conceito de viga-pilar, que tende a centralizar a carga em um pequeno número de elementos, todas as paredes externas se tornam integrantes do sistema estrutural. Isso implica na distribuição igualitária do peso das lajes e pavimentos superiores por todo o edifício, conferindo-lhe uma notável resistência a tremores sísmicos. Nesse contexto, a residência pode ser conceituada como uma robusta caixa metálica reforçada por um revestimento em OSB, ressaltando, assim, o excelente desempenho do sistema em condições de abalos sísmicos.

A flexibilidade e adaptabilidade do sistema *Light LSF* oferece uma vantagem no design e na modificação do projeto, permitindo ajustes ágeis de acordo com as necessidades do cliente ou as mudanças nas especificações. Essa capacidade de adaptação está em consonância com os princípios da filosofia *Lean Construction*, otimizando o tempo e recursos disponíveis (Bortolotto, 2015). Em resumo, o sistema construtivo *Light Steel Frame* exemplifica de maneira prática como a construção enxuta pode ser implementada com sucesso na indústria da construção, segundo Costa (2018) através da eliminação de desperdícios, otimização do tempo, controle de qualidade, minimização de estoques e aumento da flexibilidade. Isso resulta em uma construção mais eficiente e econômica, atendendo de forma integral às demandas da construção enxuta, promovendo o avanço da construção no Brasil e auxiliando na eficiente, econômica e sustentável resposta à crescente demanda do setor, beneficiando não apenas a indústria da construção, mas também impactando positivamente a qualidade de vida e o desenvolvimento urbano do país.

Em última análise, a associação da construção com o sistema *Light Steel Frame* (LSF) representa um marco na evolução da indústria da construção no Brasil. Essa sinergia entre práticas eficientes, sustentáveis e flexíveis, intrínsecas ao LSF, e os princípios da construção enxuta, tem o potencial de revolucionar a forma como concebemos e realiza-se projetos

construtivos. A união entre a construção enxuta e o sistema LSF não é apenas um avanço técnico, mas também uma declaração de compromisso com um desenvolvimento urbano mais eficiente, econômico e sustentável, melhorando a qualidade de vida e impulsionando o crescimento do país. Este é um caminho que, sem dúvida, merece ser explorado e amplamente adotado na construção brasileira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil no Brasil, embora ainda defasada em comparação com países desenvolvidos, está demonstrando avanços notáveis em diversas áreas, que variam desde inovações incrementais até mudanças significativas na execução do produto, nos processos construtivos e na organização. Nesse contexto, a sustentabilidade emerge como uma aliada indispensável para minimizar os impactos negativos da construção civil.

Uma alternativa promissora, para reduzir esses impactos é o uso de técnicas construtivas inovadoras, sendo o LSF uma opção viável para substituir as técnicas tradicionais. Apesar de suas limitações, em termos de pavimentos e da necessidade de mão de obra especializada, o LSF oferece a combinação de alta produtividade nas etapas construtivas e menores impactos ambientais, tornando-se uma alternativa concreta às construções convencionais.

A crescente demanda na construção civil impulsiona a busca por métodos construtivos mais rápidos e eficientes. O LSF se destaca como uma opção, pois é um sistema industrializado, estruturado por perfis de aço galvanizado e totalmente reciclável, garantindo durabilidade superior em comparação aos métodos convencionais. Além disso, a construção civil é um setor economicamente crucial, contribuindo significativamente para o PIB nacional, mas também consumindo grande parte dos recursos naturais, gerando resíduos e impactando negativamente o meio ambiente.

A adoção do sistema LSF não apenas reduz os resíduos no canteiro de obras, como também diminui as emissões de CO₂ e o consumo energético. A gestão enxuta na produção de edificações em LSF, especialmente na fabricação da estrutura metálica, permite explorar os benefícios da implementação de ferramentas alinhadas aos princípios da construção enxuta, contribuindo para melhorias contínuas nos processos, a integração do sistema construtivo LSF com os princípios da Construção Enxuta promove elevados níveis de Racionalização Construtiva, aumentando a eficácia durante a fase de projeto. No entanto, é essencial que o estágio do projeto seja bem elaborado, uma vez que sistemas industrializados não toleram imprevistos no canteiro de obras, que podem resultar em prejuízos substanciais.

Diante do contexto abordado para Gorgolewski (2006 apud Sousa 2021), o sistema LSF apresenta uma série de vantagens comprovadas, como alta resistência, baixo peso (tanto da estrutura como dos demais componentes), grande precisão dimensional, resistência ao ataque de insetos e materiais quase totalmente recicláveis, contribuindo assim para a sustentabilidade das edificações. Portanto, a sustentabilidade e a inovação na construção civil, representadas pelo LSF, são elementos essenciais para mitigar os impactos negativos desse setor vital para a economia nacional. Em conclusão, o sistema *Light Steel Frame* se configura como uma opção viável e sustentável para a construção civil no Brasil, oferecendo soluções eficazes para enfrentar os desafios ambientais e econômicos desse setor em constante evolução.

Ressalvando o desenvolvimento tecnológico associado a aspectos sustentáveis, torna-se de suma importância um estudo de caso para análise das ferramentas de Lean Construction combinadas com o sistema construtivo Light Steel Framing, buscando a afirmação dos benefícios sustentáveis e sociais, tendo em pauta que os dois buscam desenvolver a indústria da construção de maneira racional e industrializada, necessitando de mão de obra e

fornecedores capacitados e qualificados, para que essa junção possa gerar resultados benéficos, principalmente no contexto sustentável, onde o aço desempenha um fato relevante, diante de sua alta produção no Brasil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Light Steel Framing: normas para aplicação do modelo construtivo**. São Paulo: ABCEM, 2021. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/blog/light-steel-framing-normas-para-aplicacao-do-modelo-construtivo>. Acesso em: 23 de out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15758-1**: Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253**: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715-1**: Chapas de gesso para drywall. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498**: Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas. Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16970-1**: Light Steel Framing – Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formado a frio, com fechamentos em chapas delgadas. Parte 1: Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AZEVEDO, M. J.; NETO, J. P.; NUNES, F. R. M. **Análise dos aspectos estratégicos da implantação da Lean Construction em duas empresas de construção civil de Fortaleza-CE**. 2010. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. São Paulo. Anais... São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/6048/1/2010_eve_jpbarrosneto_analise.pdf. Acesso em: 30 de out. 2023.

BARRETO; V. **Qual o melhor tipo de laje para obras de steel frame?** *In*: Drywall e Steel frame - Fast Drywall. 2022. Disponível em: <https://loja.fastdrywall.com.br/home-page/qual-o-melhor-tipo-de-laje-para-obras-de-steel-frame/>. Acesso em: 01 de nov. 2023.

BENITE, A.; TANIGUTI, E.; GONZALEZ, P. 2019. **Manual da sustentabilidade da Construção em aço**. Instituto Aço Brasil/CBCA. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.jodi.com.br/wp-content/uploads/2021/01/Manual-CBCA-Sustentabilidade-da-construcao-em-aco.pdf>. Acesso: 29 de out. 2023.

BORTOLOTTI, A. L. K. **Análise de viabilidade econômica do método Light Steel Framing para construção de habitações no município de Santa Maria**. 2015. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_ANA%20LARISSA%20KOREN%20BORTOLOTTI.pdf. Acesso em: 31 de out. 2023.

CAMPOS, P. F. **Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-11072014-155539/publico/DISSERTACAO_PATRICIA_CAMPOS_CORRIGIDA.pdf. Acesso em: 31 de out. 2023.

CASTRO, B. G. S. **Utilização de estruturas metálicas em edificações residenciais unifamiliares**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2005. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6708>. Acesso em: 31 de out. 2023.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Light Steel Framing: Aplicações do sistema construtivo**. 2016. Revista Arquitetura e Aço – Roma Editora, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://issuu.com/cbca-acobrasil/docs/101495_aa47_site. Acesso em: 17 de out. 2023.

COSTA, L. R. **A racionalização do processo de trabalho na construção civil**. 2014. Universidade Federal de Viçosa - Editora Impulso. Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-unimep/index.php/impulso/article/view/1978/1414>. Acesso em: 28 de out. 2023.

COSTA, M. Z. **Estudo de dificuldades para implantação da filosofia Lean em empresas construtoras**. 2018. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil), Escola politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2018. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/rep-download.php?farquivo=monopoli10025470.pdf&fcodigo=3625>. Acesso em: 30 de out. 2023.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, 2005. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6246>. Acesso em: 31 de out. 2023.

CONSTRUCCIÓN con acero liviano – Manual de Procedimiento. *In*: Consul Steel. 2002. Buenos Aires: Consul Steel, 2002. Disponível em: <https://consulsteel.com/wp-content/uploads/Manual-de-Procedimiento-Consul-Steel.pdf>. Acesso em: 31 de out. 2023.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem especial: Produção enxuta na indústria da construção brasileira**. DF, Brasília, 2019. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/4f/51/4f51a53a-a4d5-4e7c-866b-72c42a853c53/sondespecial_producaoenxutanaindustriaconstrucaobrasileira_abril2019.pdf. Acesso em: 28 de out. 2023.

- DIAS, L.A.M. **Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil**. 2001. São Paulo: Zigurate Editora, 2001. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/A%C3%A7o_e_arquitetura.html. Acesso em 31 out. 2023.
- FRECHETTE, L.A. **Building smarter with alternative materials**. 1999. Building Smart. Disponível em: <http://www.build-smarter.com/>. Acesso em: 23 de out. 2023.
- GEHBAUER, F. **Racionalização na construção civil**. 2004. Projeto COMPETIR - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas e Cooperação Técnica Alemã (SENAI, SEBRAE, GTZ), Recife, 2004. Disponível em: <https://www.estantevirtual.com.br/livros/fritz-gehbauer/racionalizacao-na-construcao-civil/>. Acesso em: 31 de out. 2023.
- GRUBLER, T. H. **Estudo comparativo entre os métodos construtivos *Light Steel Frame*, alvenaria convencional e alvenaria estrutural**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24385/1/TCC%20postar%20no%20Runa.pdf>. Acesso em: 26 de out. 2023.
- HASS, D. C. G.; MARTINS, L. F. **Viabilidade Econômica do Uso do Sistema Construtivo Steel Frame como Método Construtivo para Habitações Sociais**. 2011 TCC (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8331/2/CT_EPC_2011_2_14.PDF. Acesso em: 31 de out. 2023.
- INSTITUTO AÇO BRASIL (AÇO BRASIL). **Relatório de Sustentabilidade 2018: Dados 2016 e 2017**. Aço Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/relatorios.asp>. Acesso em: 23 de out. 2023.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. 1992. Technical report. No. 72, CIFE, Stanford University, Stanford, California, 1992. Disponível em: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf>. Acesso em: 27 de out. 2023.
- LAFEAETE. **Porque fazer o uso de estrutura de telhado em Steel Frame**. Lafaete Locações. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://www.lafaetelocacao.com.br/artigos/estrutura-telhado-steelframe/>. Acesso em: 23 out. 2023.
- LAKATOS, E.M; MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica**. 2010. Editora Atlas: São Paulo, 2010. Disponível em https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india. Acesso em: 31 de out. 2023.
- LEITE, J.C.P.S; LAHR, F.A.R. **Diretrizes básicas para projetos em Wood frame**. 2015. Fumec -Revista Construindo v.7, n. 2, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/4017>. Acesso em: 28 de out. 2023.

LIMA, T. **Construção a seco: características, vantagens e desvantagens**. 2022. Sienge. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-a-seco/>. Acesso em: 17 de out. 2023.

METALMAG. **History of light steel Framing in steel homes and metal homes**. 2004. Metal construction magazine. Disponível em: <http://www.metalmag.com/>. Acesso em: 23 de out. 2023.

MOURA, T. R. C. **Construção sustentável de casas populares: steel frame e wood frame**. 2019. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ed. 03. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/steel-frame>. Acesso em 31 de out. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para desenvolvimento sustentável**. Traduzido: Centro de informações das nações unidas para o Brasil, Rio de Janeiro 2015.

PARDINI, A. F. **Contribuição ao entendimento da aplicação da certificação LEED e do conceito de custos no ciclo de vida em empreendimentos mais sustentáveis no Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/467979>. Acesso em 28 de out. 2023.

PEREIRA, C. **O que é Radier? Como fazer fundação em radier?** 2013. Escola Engenharia. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/radier/>. Acesso em: 17 de out. 2023.

RETONDO, L. **Steel frame: O que é, e como fazer?** 2021. Construindo Casas. São Paulo 2021. Disponível em: <https://construindocasas.com.br/blog/construcao/steel-frame/>. Acesso em: 17 de out. 2023.

RIBEIRO, V. M.; CARVALHO, L. C. **Vantagens em adotar o *light steel frame*: Comparativo entre o método construtivo *Light Steel Frame* e o método convencional de alvenaria**. 2018. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/644/1/Vitor.pdf>. Acesso em: 25 de out. 2023.

RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. **Steel Framing: Engenharia**. 2016. Manual de Construção em Aço 2a ed. – Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro de Construção em Aço. CBCA, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/332607826/Manual-Light-Steel-Framing-Engenharia-2016>. Acesso em: 31 de out. 2023.

SANTANA, K. **Laje com Steel Frame**. 2019. Casa de Bem com a Terra. Youtube, 30 de Jul de 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5O2QoTzLUNQ>. Acesso em: 17 de out. 2023.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. 2008. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2248/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_UsoSistemaLightSteel.pdf. Acesso em 31 de out. 2023. ok

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing: Arquitetura**. 2012. Manual de Construção em Aço 2a. Ed. - Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro de Construção em Aço. CBCA, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://engprime.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Manual_SF_Arquitetura_web.pdf. Acesso em: 31 de out. 2023.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2001. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6313/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_MapeamentoProblemasGerados.pdf. Acesso em: 31 de out. 2023.

SOUSA, C. S. S. **Construção Enxuta: Aplicada ao sistema construtivo de light steel Framing**. 2021. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de graduação Engenharia Civil) União Metropolitana de Educação e Cultura, UNIME, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/41232/1/CAMILA+SOUSA.pdf>. Acesso em: 27 de out. 2023.

STEEL CONSTRUCTION. **Steel and the circular economy**. Reino Unido, 2018. Disponível em: https://www.steelconstruction.info/Steel_and_the_circular_economy. Acesso em: 23 de out. 2023.

STEELCO. 2023. **Mais tecnologia e menos impacto**. Steel - Sistemas Construtivos Inteligentes em Aço. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://steelco.com.br/casa-branca/>. Acesso em: 30 de out. 2023.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. **Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva**. 2010. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente, ANTAC. Canela, Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274384648_VANTAGEM_PRODUTIVA_DO_SISTEMA_LIGHT_STEEL_FRAMING_DA_CONSTRUCAO_ENXUTA_A_RACIONALIZACAO_CONSTRUTIVA. Acesso: 30 de out. 2023.