



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



Gabriela Fagundes Mendes

**ÍNDICE GLOBAL DE IMPACTO DOS MÉTODOS
CONSTRUTIVOS *LIGHT STEEL FRAME* E ALVENARIA
CONVENCIONAL**

Ouro Preto

2021

Índice Global de Impacto dos métodos construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria
Convencional

Gabriela Fagundes Mendes

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 25/08/2021

Área de concentração: Ciências Exatas e da Terra / Engenharia Ambiental

Orientador: Prof.^a Dra. Marina de Medeiros Machado

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M538f Mendes, Gabriela Fagundes.
Índice Global de Impacto dos métodos construtivos Light Steel Frame e Alvenaria Convencional. [manuscrito] / Gabriela Fagundes Mendes. - 2021.
67 f.

Orientadora: Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Impacto ambiental - Avaliação. 2. Construção civil. 3. Alvenaria. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Machado, Marina de Medeiros. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504.5:624.014.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

Índice Global de Impacto dos métodos construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria
Convencional

Gabriela Fagundes Mendes

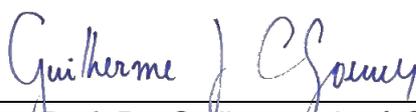
Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 25/08/2021

Banca examinadora:



Orientadora: Prof.^a Dra. Marina de Medeiros Machado



Membro: Prof. Dr. Guilherme José Cunha Gomes



Membro: Prof.^a Dra. Júlia Castro Mendes

*Aos meus pais, que dedicaram parte de suas vidas para que eu
pudesse construir a minha.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por não soltar minha mão em nenhum momento e me ajudar nesta caminhada.

Aos meus pais, Antônio e Regina, pelo amor, carinho e por todo apoio para que eu pudesse realizar os meus sonhos.

Aos meus irmãos, Matheus e Priscila, pelos conselhos e por me ajudarem sempre que precisei.

A minha família e todos os meus amigos que me apoiaram e estiveram comigo durante toda a caminhada.

CAEA e Renovar Jr., por toda experiência, aprendizado e pelas amizades.

À Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas e aos professores pelo ensino de qualidade, em especial à minha orientadora, Profa. Dra. Marina Medeiros, por tanta paciência e por acreditar no meu potencial.

Viva a Escola de Minas!

RESUMO

A busca pelo desenvolvimento sustentável torna a avaliação dos impactos ambientais uma importante ferramenta para estudos de viabilidade construtiva de empreendimentos. Este trabalho compara os impactos de dois métodos construtivos: o método em alvenaria convencional e o *Light Steel Frame*. A metodologia de levantamento dos impactos foi desenvolvida a partir de estudos e trabalhos de dissertação, tornando possível quantificar o consumo de água, geração de resíduos, emissão de CO₂, energia embutida e alteração na qualidade do ar, para que assim fosse possível realizar a mensuração dos impactos. O método construtivo em *Light Steel Frame* demonstrou ser método com impactos negativos menos significativos ao meio ambiente, quando comparado a alvenaria convencional. A construção *Light Steel Frame*, apesar de possuir custo elevado em relação às demais metodologias, se apresenta como um método mais sustentável, pelo baixo consumo de água e menor consumo de materiais e recursos naturais, consequentemente minimizando a geração de resíduos.

Palavras-chave: Avaliação de impacto; Índice Global de Impacto; Construção Civil; Alvenaria Convencional; *Light Steel Frame*.

ABSTRACT

The search for sustainable development makes the evaluation of environmental impacts an important tool for construction feasibility studies. This work compares the impacts of two construction methods: the conventional masonry method and the Light Steel Frame. The methodology for surveying the impacts was developed from studies and dissertation work, making it possible to quantify water consumption, waste generation, CO₂ emission, embedded energy and changes in air quality, so that it was possible to measure the impacts. The Light Steel Frame construction method proved to be a method with less significant negative impacts to the environment, when compared to conventional masonry. The Light Steel Frame construction, despite having a high cost in relation to other methodologies, presents itself as a more sustainable method, due to its low water consumption and lower consumption of materials and natural resources, consequently minimizing the generation of waste.

Key words: Impact assessment; Global Impact Index; Civil Construction; Conventional Masonry; Light Steel Frame.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de vagas geradas pela construção civil no Brasil em 2020.	3
Figura 2 - Exemplo de projeto de construção em LSF.....	7
Figura 3 - Desenho esquemático de uma estrutura em Light Steel Frame.....	8
Figura 4 - Comparação entre avaliação de dano e impacto ambiental.	18
Figura 5 - Extrato da matriz de Leopold.....	21
Figura 6 - Esquema da fundação <i>radier</i>	30
Figura 7 - Estrutura e fechamento das construções em alvenaria convencional e LSF.....	31
Figura 8 - Ciclo de vida energético de uma edificação.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo do sistema em alvenaria convencional.....	6
Tabela 2 - Custo do sistema em <i>Light Steel Frame</i>	9
Tabela 3 - Legislações e Normativas legais aplicáveis na Construção Civil.	13
Tabela 4 - Comparação dos sistemas de certificação LEED x AQUA.	17
Tabela 5 - Estudos utilizados para o levantamento dos impactos.	24
Tabela 6 – Definição dos parâmetros.	25
Tabela 7 - Consumo de água na etapa do revestimento (obra em LSF).	32
Tabela 8 - Mensuração dos impactos causados pelo consumo de água na construção em LSF.	32
Tabela 9 - Consumo de água na etapa do revestimento (obra em alvenaria convencional).	34
Tabela 10 - Mensuração dos impactos causados pelo consumo de água na construção em alvenaria convencional.	34
Tabela 11 - Quantificação dos resíduos da obra em LSF.	36
Tabela 12 - Quantidade de resíduos gerados por m ² na obra em LSF.	36
Tabela 13 - Quantidade de resíduos gerada, por material de construção na obra em LSF.	36
Tabela 14 - Mensuração dos impactos causados pela geração de resíduos na construção em LSF.	37
Tabela 15 - Quantidade de resíduos gerados por m ² na obra em alvenaria convencional.	39
Tabela 16 - Quantidade de resíduos gerada, por material de construção na obra em alvenaria convencional.	39

Tabela 17 - Mensuração dos impactos causados pela geração de resíduos na construção em alvenaria convencional.	40
Tabela 18 - Insumos energéticos utilizados nos processos de fabricação dos materiais de construção (%).	41
Tabela 19 - Geração de CO ₂ embutida nos materiais de construção.	42
Tabela 20 - Emissões de CO ₂ pelos resíduos da obra em LSF.	43
Tabela 21 - Mensuração dos impactos causados pela emissão de CO ₂ incorporada à geração de resíduos na construção em LSF.	44
Tabela 22 - Emissões de CO ₂ pelos resíduos da obra em alvenaria convencional.	45
Tabela 23 - Mensuração dos impactos causados pela emissão de CO ₂ incorporada à geração de resíduos na construção em alvenaria convencional.	46
Tabela 24 - Energia embutida nos materiais de construção.	47
Tabela 25 - Energia embutida nos resíduos da obra em LSF.	48
Tabela 26 - Mensuração dos impactos causados pela energia embutida nos resíduos da obra em LSF.	49
Tabela 27 - Energia embutida nos resíduos da obra em alvenaria convencional.	50
Tabela 28 - Mensuração dos impactos causados pela energia embutida nos resíduos da obra em alvenaria convencional.	51
Tabela 29 - Atividades potencialmente geradoras de material particulado e principais serviços de construção.	53
Tabela 30 - Mensuração dos impactos causados pela alteração na qualidade do ar na obra em LSF.	54
Tabela 31 - Mensuração dos impactos causados pela alteração na qualidade do ar na obra em alvenaria convencional.	56
Tabela 32 - Comparação dos valores de magnitude, importância e significância dos impactos.	57

LISTA DE SIGLAS

- ACV - Análise do Ciclo de Vida
- ACVCO₂ - Análise do Ciclo de Vida de CO₂
- ACVE - Análise do Ciclo de Vida Energético
- AIA - Avaliação de Impacto Ambiental
- AQUA - Alta Qualidade Ambiental
- CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- COMAM – Conselho Municipal do Meio Ambiente
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CTF/ APP - Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais
- EIA - Estudo de Impacto Ambiental
- GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
- HQE – *Haute Qualité Environmentale*
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IGI - Índice Global de Impacto
- ISO - *International Organization for Standardization*
- LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*
- LSF - *Light Steel Frame*
- MG – Minas Gerais
- MP – Material Particulado

MTR - Manifesto de Transporte de Resíduos

NBR - Norma Brasileira

NEPA - *National Environmental Policy Act*

OSB - *Oriented Strand Board*

PAE - Plano de Ação de Emergência

PIB - Produto Interno Bruto

PMRCC - Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

QAE - Qualidade Ambiental do Edifício

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SGE - Sistema de Gestão do Empreendimento

SGRCC - Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Panorama da construção no Brasil.....	3
2.2	Metodologias de construção	4
2.2.1	Sistema Construtivo Convencional	5
2.2.2	Sistema Construtivo <i>Light Steel Frame</i>	6
2.3	Impactos ambientais na construção civil	10
2.4	Legislação ambiental na construção civil.....	12
2.5	Construção sustentável	15
2.5.1	Certificações Ambientais na Construção Civil.....	16
2.6	Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental	18
2.7	Análise do Ciclo de Vida.....	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	Levantamento dos impactos ambientais dos métodos construtivos convencionais e <i>Light Steel Frame</i>	23
3.2	Determinação do Índice Global de Impacto (IGI) dos impactos ambientais dos diferentes métodos estudados	24
3.3	Comparação dos impactos ambientais dos métodos construtivos analisados e identificação dos aspectos contribuintes para a mitigação dos impactos ambientais.....	28
4	RESULTADOS.....	29

4.1	Levantamento dos impactos ambientais dos métodos construtivos convencionais e <i>Light Steel Frame</i>	29
4.1.1	Etapas da construção civil.....	29
4.2	Determinação do Índice Global de Impacto (IGI) dos diferentes métodos estudados	31
4.2.1	Consumo de água	31
4.2.2	Geração de resíduos.....	35
4.2.3	Emissão de CO ₂ incorporada à geração de resíduos	41
4.2.4	Energia embutida nos resíduos.....	47
4.2.5	Alteração na qualidade do ar	52
4.3	Comparação dos impactos ambientais dos métodos construtivos analisados.....	57
5	CONCLUSÃO	60
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional traz consigo a problemática de aumento da demanda da construção de novas edificações ou adaptação das moradias já existentes (DE CRISTO, ROSSATO, *et al.*, 2014). Atrelado a este fator, o ramo da construção civil cresce com a necessidade de buscar novas técnicas de construção que permitam um aumento de produtividade e menor desperdício (CRASTO, 2005).

O método de alvenaria convencional da construção civil, também chamado alvenaria de vedação e amplamente empregado no Brasil, gera muitos impactos ao meio ambiente em todo o processo, desde a extração de matéria-prima até a execução da obra, gerando grande volume de resíduos (ROTH e GARCIAS, 2009). No Brasil, estes resíduos de construção e demolição representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente (FERREIRA, 2009).

Por falta de planejamento na concepção dos projetos, por razões econômicas, ou até mesmo, por falta de conscientização sobre as questões ambientais, o setor da construção civil se torna um setor que causa grandes impactos ao meio ambiente (SILVEIRA, 2011). O setor é, também, responsável pelo consumo de dois terços da madeira, 50% dos recursos naturais e matérias primas da terra, além de ser considerado o terceiro maior em emissões de CO₂ e outros gases nocivos à atmosfera (SILVEIRA, 2011).

Apesar da grande diversidade de métodos construtivos, o Brasil ainda se mostra resistente à inovações, optando muitas vezes pelo método tradicional de alvenaria, que possui mão de obra mais barata que os demais, por exigir menos qualificações (CASSAR, 2018). Ainda há de se considerar que este método, por utilizar mão de obra menos qualificada, pode ter importante papel na redução da pobreza do país (GHINIS e FOCHEZATTO, 2013). O setor da construção civil foi o segundo maior responsável pela geração de novos empregos, demonstrando a importância do setor na economia nacional (CBIC, 2020).

A partir de 2009, no Brasil, houve uma transformação no mercado da construção civil, buscando diminuir o déficit habitacional do país, através de programas como o

“Minha Casa Minha Vida” (CBIC, 2016). Buscando atender à demanda habitacional e atrelado à busca pela sustentabilidade, surgem os novos métodos construtivos que são mais rápidos e reduzir o uso de recursos naturais, já que a metodologia em alvenaria convencional além gerar um expressivo volume de resíduos, precisa de um prazo maior para entrega (SENA JÚNIOR e DO CARMO, 2015).

Apesar de ser um grande produtor de aço, este recurso ainda é pouco empregado no uso de estruturas metálicas em construções (CRASTO, 2005).

Neste contexto, a construção em *Light Steel Frame* pode se tornar uma alternativa que favorece o crescimento urbano de forma sustentável, através da utilização do aço, que pode vir a contribuir para uma menor geração de resíduos, já que estes podem ser reaproveitados através de métodos de reciclagem, além da rapidez na execução da obra.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo identificar os principais impactos dos métodos construtivos em alvenaria convencional e *Light Steel Frame*, de modo a contribuir com a mitigação deste impactos, em vista da necessidade de obras mais sustentáveis.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetiva identificar os impactos do método construtivo em *Light Steel Frame* (LSF) que contribuem para a mitigação dos impactos ambientais da construção civil.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- 1) Levantar os impactos ambientais dos métodos construtivos convencionais e *Light Steel Frame*;
- 2) Determinar o Índice Global de Impacto (IGI) dos impactos ambientais dos diferentes métodos estudados;
- 3) Comparar os impactos ambientais dos métodos construtivos analisados.

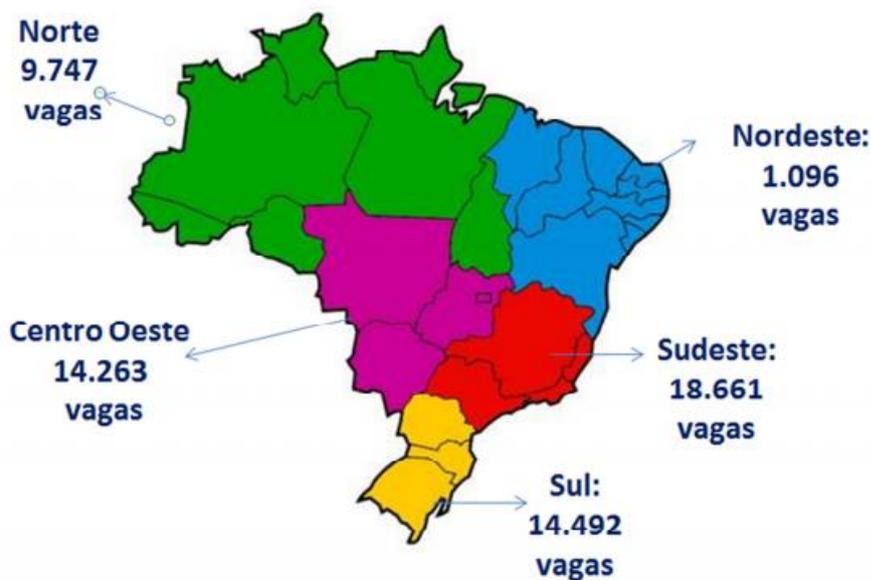
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama da construção no Brasil

A indústria da construção civil tem grande participação no PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, representando cerca de 6% de acordo com dados do IBGE (2016). Dados da CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção), no ano de 2020, mostram que este mercado se destacou na geração de empregos naquele ano, ocupando o primeiro lugar na geração de empregos em 12 estados brasileiros. Ainda de acordo com a CBIC (2020), os estados de São Paulo e Minas Gerais possuem o maior número de trabalhadores na construção civil, representando 574.690 e 314.669 trabalhadores, respectivamente.

Como mostrado na Figura 1, a região sudeste foi a que mais gerou vagas com carteira assinada no mercado da construção (CBIC, 2020). Este setor mostra-se de extrema importância para a melhoria do mercado de trabalho brasileiro, pois quando comparados os números de admissões e demissões, o mercado da Construção Civil fica atrás apenas do setor da Agropecuária, como informa a CBIC.

Figura 1 - Mapa de vagas geradas pela construção civil no Brasil em 2020.



Fonte: CBIC (2020).

No Brasil, o sistema de construção mais utilizado é o de alvenaria convencional, e, segundo Cassar (2018), a utilização deste método deve-se ao fato de que a mão de obra exigida é bem mais barata em relação às demais. Por se tratar de mão de obra menos qualificada, as obras, muitas vezes, apresentam baixa produtividade.

Foi apenas no final da década de 90 que o Brasil começou a introduzir as construções a seco, chamadas *drywall* (CRASTO, 2005). Segundo Crasto (2005), esta introdução começou após importações de kits pré-fabricados em *Light Steel Frame* (LSF) para a montagem de casas, método que se provou eficiente, mesmo não sendo adequados ao clima brasileira.

Desde então, o mercado da construção brasileira começou a se planejar para o uso destas tecnologias e assim desenvolver e consolidar o uso deste sistema construtivo.

2.2 Metodologias de construção

Sistema construtivo é o termo usado para definir o conjunto de elementos que formam uma edificação (MACEDO, 2011). O setor da construção civil conta com diversas metodologias de construção, destacando entre elas:

- Alvenaria convencional;
- Alvenaria estrutural;
- *Light Steel Frame*;
- *Wood Frame*;
- Paredes de concreto.

A escolha do sistema construtivo depende do objetivo e função da construção, área construída, mão de obra disponível, recursos e desempenho (BATISTA FILHO, 2015). As construções em *wood frame* e *steel frame* são também chamadas de Construção Energética Sustentável, que, de acordo com a empresa *LP Building Products* (2013), são assim designadas pelo ótimo desempenho térmico e energético, além de permitir uma execução eficiente, com redução do desperdício de materiais, menor geração de resíduos e de emissões de CO₂.

O sistema *Wood Frame* é utilizado em aproximadamente 95% das construções nos Estados Unidos (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010). Ainda segundo os autores,

o sistema consiste em um sistema construtivo que utiliza perfis de madeira, para formação de painéis, pisos e paredes, de modo que, quando combinados com outros materiais, tornem-se mais resistentes ao fogo. As construções em *Wood Frame* podem ser feitas em até 5 pavimentos, por se tratar de estrutura leve em que as cargas são distribuídas através das paredes (AMARAL). O sistema de construção em *Wood Frame* se divide em dois tipos principais: o *Balloon Frame* (Sistema Balão), que a madeira é utilizada desde a base até a cobertura da construção e o *Platform Frame* (Sistema Plataforma), em que a cada nível de piso é montada uma plataforma (BATISTA FILHO, 2015).

A alvenaria estrutural leva este nome pois são os elementos de alvenaria que desempenham a função estrutural e muito utilizado no país, por ser um sistema economicamente interessante quando bem projetado e bem executado (PASTRO, 2007).

O método de paredes de concreto é utilizado em maior escala em zonas sísmicas, pois, como explicam Taylor, Cote e Wallace (1998), conseguem permitir deformações inelásticas na base da parede, fazendo com que as paredes precisem “resistir menos”, limitando os danos causados aos demais elementos da estrutura. No Brasil o método é bem utilizado por proporcionar alta produtividade e menor custo quando comparado a outros métodos construtivos (BRAGUIM, 2013).

2.2.1 Sistema Construtivo Convencional

Quando se trata da formação das cidades brasileiras, é possível notar que o processo construtivo em alvenaria está fortemente presente ao longo de toda a história, seja com a alvenaria desempenhando papel estrutural ou de vedação (SILVA, 2003).

O sistema construtivo convencional, também conhecido como alvenaria de vedação é, de acordo com o Fórum da Construção (2021), o sistema em que a carga da estrutura é absorvida pelas lajes, vigas, pilares e fundação. Como as paredes não

desempenham papel estrutural, é possível alternar o dimensionamento da espessura das paredes de acordo com a especificação do projeto.

De acordo com Cassar (2018), a construção em alvenaria convencional é dividida basicamente em oito etapas, sendo elas: fundação, estrutura de concreto armado, alvenaria, revestimentos, esquadrias, cobertura, instalações elétricas e sanitárias.

Por ser um processo dividido em várias etapas, este sistema demanda uma elevada contratação de mão de obra e grande quantidade de insumos, que, por sua vez, possuem valor de mercado reduzido devido ao baixo nível de industrialização, fazendo com que sejam geradas grandes quantidades de resíduo pela falta de cuidado com os materiais (CASSAR, 2018).

Os valores do custo do sistema em alvenaria convencional são expostos na Tabela 1:

Tabela 1 - Custo do sistema em alvenaria convencional.

Material (Considerando uma residência de 55m²)	Quantidade (Un.)	Preço unitário (R\$)	Total (R\$)
Pilares, vigas e lajes	4,09 m ³	1225,06	5.017,85
Paredes (blocos com 6 furos)	96,45 m ²	82,85	7.991,21
Chapisco	192,90 m ²	10,34	1.994,67
Reboco	192,90 m ²	30,39	5.862,47
Telhado com telha cerâmica e armação de madeira (considerando beiral e inclinação)	78,39 m ²	149,56	11.724,01
Forro de PVC com estrutura metálica	56 m ²	83,28	4.663,68
		TOTAL	37.253,89
		R\$/m ²	677,34

Fonte: Adaptado de FRASSON e BITENCOURT (2017).

2.2.2 Sistema Construtivo *Light Steel Frame*

O sistema construtivo *Light Steel Frame* (LSF), ou *Light Steel Framing*, do inglês “*Light* = leve”, “*Steel* = aço” e “*Frame* = esqueleto/estrutura”, é assim denominado por se tratar de uma estrutura leve, pois trata-se de um esqueleto estrutural em aço que resiste às cargas da edificação (CRASTO, 2005). Este modelo de construção é, na verdade, uma adaptação de um sistema norte-americano muito utilizado, o *wood frame* (BATISTA FILHO, 2015).

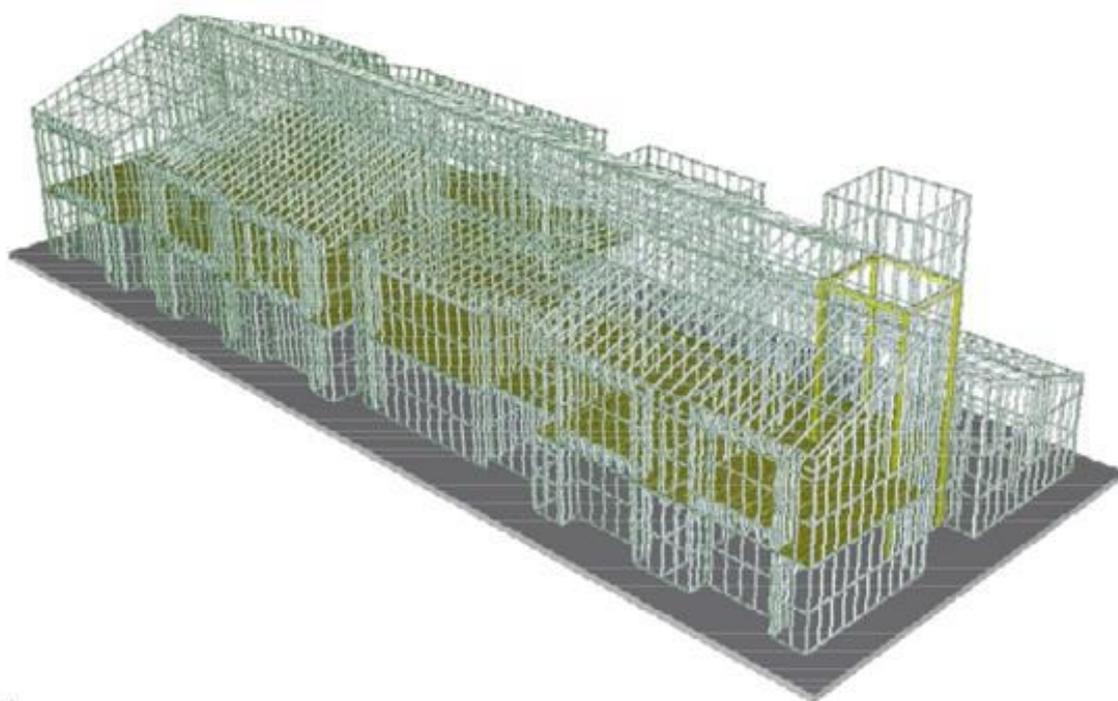
O sistema LSF constitui-se de vários subsistemas: fundação, estrutura, instalações elétricas e hidráulicas, isolamento termo acústico e o fechamento interno,

externo, vertical e horizontal (SOUZA, 2014). Ainda segundo Souza (2014), a escolha de todos os materiais, mão-de-obra e execução precisam ser feitas com excelência e interligadas entre si, de modo a garantir a qualidade da construção.

O LSF destaca-se em relação aos demais métodos, por apresentar características de alto padrão de qualidade, utilização de materiais recicláveis em sua grande maioria, redução de desperdício de materiais, agilidade de execução e por se tratar de uma obra a seco.

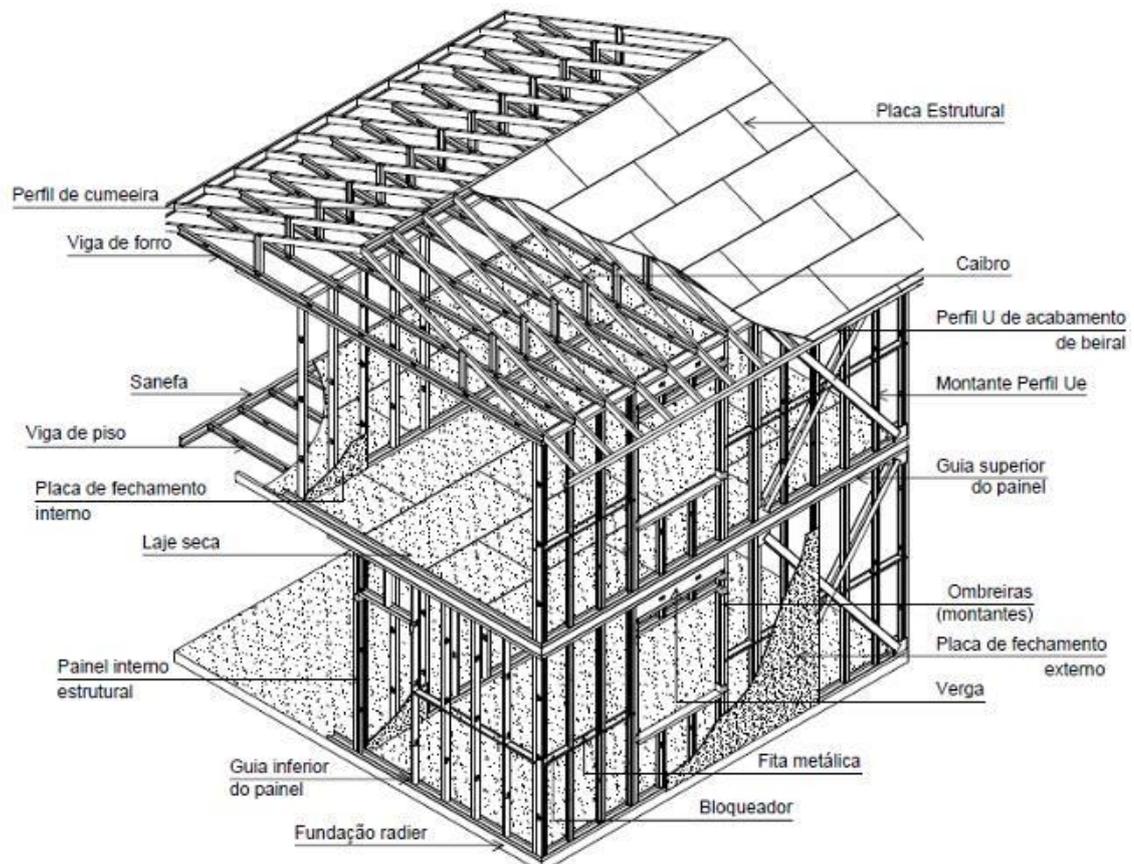
Este tipo de construção consiste em paredes portantes, pisos que formam plataformas, travamentos, contraventamentos e estrutura de telhado (BATISTA FILHO, 2015), como ilustrado nas Figuras 2 e 3. As estruturas das paredes são em chapas de aço dobradas que possuem espessura reduzida, o que as tornam leves e dão nome ao sistema.

Figura 2 - Exemplo de projeto de construção em LSF.



Fonte: Batista Filho (2015).

Figura 3 - Desenho esquemático de uma estrutura em Light Steel Frame



Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO (2012).

Segundo Melo (2015), é possível destacar as seguintes vantagens deste método:

- Qualidade dos materiais;
- Redução da mão de obra no canteiro;
- Sustentabilidade;
- Rapidez na execução;
- Organização do canteiro;
- Facilidade nas instalações elétricas e hidráulicas.

Em contrapartida, o sistema possui baixo desempenho acústico, exige mão de obra especializada, tem limitação no número de pavimentos e resistência de aceitação no mercado (MELO, 2015).

Este sistema pode ser dividido essencialmente em três métodos de construção, como explicam Santiago, Freitas e Crasto (2012): o “*stick*”, por painéis ou por construção modular.

- Método *Stick*: os perfis de aço que compõe a construção são cortados dentro do próprio canteiro e os painéis, lajes, colunas, contraventamentos e tesouras de telhado são montadas no local. Com a utilização desta técnica, o construtor não precisa de um segundo local para a pré-fabricação do sistema e o transporte das peças até o canteiro é facilitado;
- Método por painéis: os painéis, sejam eles estruturais ou não estruturais são pré-montados fora do canteiro da obra e apenas montados no local. A velocidade na construção ao utilizar esta metodologia é aumentada, pois a medida que os painéis vão sendo contados na fábrica, são enviados e montados no canteiro;
- Método por construção modular: é um método mais comum em módulos de banheiros para obras comerciais ou residenciais de grande porte, pois são aquelas unidades em que todo o sistema é pré-fabricado fora do canteiro da obra e já é entregue com os acabamentos, revestimentos, instalações e até mesmo alguns mobiliários fixos.

O custo do sistema em LSF, de acordo com Frasson e Bitencourt (2017), é aproximadamente 7% maior que o custo da obra em alvenaria convencional, conforme mostrado na Tabela 2, entretanto o orçamento desta metodologia apresenta alto controle, já que o projeto prevê a compra exata dos painéis em LSF para atender à necessidade da obra.

Tabela 2 - Custo do sistema em *Light Steel Frame*.

Material (Considerando uma residência de 55m²)	Total (R\$)
Kit <i>Steel Frame</i> completo (com lã de vidro, painel OSB) (materiais)	23.977,49
Kit <i>Light Steel Frame</i> (mão de obra)	14.076,00
Acessórios para montagem	1.074,00
TOTAL	39.127,49
R\$/m ²	711,41

Fonte: Adaptado de FRASSON e BITENCOURT (2017).

O Kit LSF é montado de acordo com a necessidade do projeto, utilizando o método por painéis, em que eles são produzidos fora do canteiro e, posteriormente, são levados prontos ao canteiro apenas para montagem (FRASSON e BITENCOURT, 2017).

2.3 Impactos ambientais na construção civil

A definição de impacto ambiental é dada pelo Art. 1º da Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 como:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.” (Brasil, 1986).

Como já se sabe, a indústria da construção civil é de grande importância quando se trata de desenvolvimento econômico, mas, ao mesmo passo, é um forte potencial poluidor do meio ambiente ao longo de toda sua cadeia produtiva (ROTH e GARCIAS, 2009). Os impactos ambientais causados pelos canteiros das construções, podem ser divididos em dois grandes grupos: um grupo que trata sobre as perdas por entulho e geração de resíduos e o outro grupo, que trata das interferências causadas nos meios antrópico, biótico e físico (CARDOSO, FIORANI e DEGANI, 2006).

Ao mesmo passo que este setor é de extrema importância para o desenvolvimento social e econômico, é também um potencial poluidor dos recursos naturais.

Quando comparada aos demais países, a construção civil no Brasil é caracterizada pela baixa produtividade e desperdício de materiais (CRASTO, 2005). Além do desperdício de materiais, os resíduos de construção, reparos e demolição na construção civil geram um problema ainda maior, pois são gerados em volumes expressivos, além de não receberem soluções adequadas, impactando o ambiente urbano e aumentando os problemas de saneamento em áreas urbanas (PINTO, 1999).

Portanto, é necessário pensar nos impactos da construção civil de uma forma macro: desde a extração de recursos naturais, produção de materiais e equipamentos e a preparação do canteiro até iniciar a construção.

De acordo com dados do SENAI (2006), a construção civil é um grande consumidor de recursos naturais, como por exemplo o consumo de madeira, que chega a atingir mais de 60% de toda madeira natural extraída. Além disso, o desmatamento tem importante papel no agravamento de emissões de CO₂ na atmosfera e o setor industrial vem crescendo e aumentando as emissões deste gás que principais gases causadores do efeito estufa, pelo fato de permanecer na atmosfera por longos períodos.

O cimento, matéria muito utilizada na construção civil é também uma importante fonte emissora do CO₂, pois estima-se que cerca de 6% das emissões deste gás provém da indústria do cimento (MATOS, 2015).

Os chamados resíduos de construção e demolição (RCD), popularmente conhecidos como entulho, são gerados em grandes volumes, que de acordo com dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) de 2019, foram gerados 4,4 milhões de toneladas, sendo que menos de 20% deste valor foi enviado para reciclagem e reutilização, enquanto o restante foi disposto em aterros. Quando dispostos em regiões urbanas, sem nenhuma preocupação com o meio ambiente, os RCD podem causar assoreamento de corpos d'água, além de contribuir como abrigo para vetores e proliferar diversas doenças (PINTO, 1999).

A geração destes resíduos em grandes quantidades, está relacionado com a falta de qualificação da mão de obra, o elevado grau de desperdício durante o processo construtivo e a resistência ao uso de novas tecnologias construtivas que gerem menos resíduos (SILVA, 2017). Ainda depois de finalizada a construção, o ambiente construído continua impactando o meio ambiente, seja através da geração de resíduos, da utilização de recursos naturais como água e energia, impacto visual ou em atividades de reformas e reparos (LARUCCIA, 2014).

2.4 Legislação ambiental na construção civil

O licenciamento ambiental na implantação dos empreendimentos, objetiva a prevenção de impactos causados ao meio ambiente, ou que ao menos estes sejam minimizados. Para atividades que tenham potencial poluidor ou que utilizem recursos ambientais, são exigidos estudos ambientais para obtenção da licença ambiental, ou seja, a autorização governamental para exercer tal atividade (SÁNCHEZ, 2013). No que se refere à construção civil, os principais requisitos legais são em relação ao uso e ocupação do solo e gerenciamento de resíduos.

As licenças exigidas para cada empreendimento, podem variar de acordo com o estado e o município em que ele está inserido. Quanto às principais licenças de âmbito federal, temos:

- Lei n^o 6.938/1981, institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) que tem como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental. É através da PNMA que o poluidor tem a obrigação de recuperar danos provocados ao meio ambiente, para se resguardar de possível passivo ambiental. Órgãos como SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) fiscalizam e dão suporte ao cumprimento desta lei;
- Lei n^o 12.305/2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos que trata da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, priorizando a ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A lei classifica os resíduos de acordo com sua origem e periculosidade e determina a obrigação do plano de gerenciamento de resíduos, em âmbito nacional, estadual e municipal. Geradores de determinados tipos de resíduos também tem a obrigatoriedade da elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, como empresas de construção civil;
- Resolução CONAMA n^o 307/2002 orienta sobre os procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, que deverão realizar o manejo ambientalmente adequado dos resíduos. Nesta resolução, os resíduos de construção civil são classificados como

- Classe A: (...) são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (...);

- Classe B: (...) são os resíduos recicláveis para outras destinações (...);
- Classe C: (...) são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (...);
- Classe D: (...) são resíduos perigosos oriundos do processo de construção (...).

- Lei nº 10.257/2001 estabelece normas de expansão urbana harmônicas à sustentabilidade ambiental, evitando poluição e degradação do meio ambiente.

Além destas, há vários outros requisitos legais aplicáveis na construção civil, como na Tabela 3 abaixo, considerando obras localizadas em Belo Horizonte, MG – Brasil:

Tabela 3 - Legislações e Normativas legais aplicáveis na Construção Civil.

Legislações e Normativas Legais Aplicáveis na Construção Civil		
Âmbito	Requisito Legal	Assunto
Federal	Lei Complementar 140/11	Fixa normas para cooperação entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção de paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, fauna e flora.
	Lei 9.605/98	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao Meio Ambiente. (Regulamentada pelo decreto 6.514/08) (Alterada pelas leis 11.284/06, 12.305/10, 12.408/11, 13.052/14 e 14.064/20)
	Decreto 6.514/08	Regulamenta a Lei 9.605/98, que dispõe sobre crime ambiental e dispõe sobre o processo administrativo federal para apuração destas infrações.
	Instrução Normativa 7/02	Aprova os procedimentos a serem adotados na apuração de infração administrativa e cobrança de débito para como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.
	Instrução Normativa 2/18	Disciplina procedimentos para conversão de multas simples em serviços de preservação, melhoria e recuperação da qualidade do meio ambiente no âmbito do ICMBio para unidades de conservação federal.

Legislações e Normativas Legais Aplicáveis na Construção Civil		
Âmbito	Requisito Legal	Assunto
Federal	Deliberação 11/17	Disciplina a implementação de sistemas de Logística Reversa e os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.
	Portaria 53/79	Estabelece normas para disposição de resíduos sólidos. Proíbe a utilização do solo como destinação final de resíduos. (Alterada pela resolução CONAMA 05/93)
	Portaria 280/20	Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR, como ferramenta de gestão e documento de declaração nacional de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.
	Resolução 275/01	Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores e divulgado nas campanhas sobre a coleta seletiva.
	Instrução Normativa 13/12	Estabelece a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos, a ser utilizada para prestar informações ao IBAMA sobre a geração e gerenciamento dos resíduos sólidos no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais - CTF/APP.
Estadual (Minas Gerais)	Lei 18.031/09	Dispõe sobre a Política de Resíduos Sólidos no Estado de Minas Gerais. Estabelece obrigações aos agentes públicos e privados para que desenvolvam ações que envolvam geração e gestão dos resíduos.
	Decreto 47.629/19	Regulamenta o serviço de atendimento a emergências e a elaboração do Plano de Ação de Emergência - PAE, relativos a acidentes no transporte de produtos ou resíduos perigosos.
	Deliberação Normativa 232/19	Institui e disciplina o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR/MG, para o controle de fluxo de resíduos sólidos e de rejeitos no estado de Minas Gerais, desde a geração até a destinação final.
Municipal (Belo Horizonte)	Lei 4.253/85	Dispõe sobre a Política de Proteção, de controle e conservação do meio ambiente e da melhoria de qualidade de vida no Município de Belo Horizonte.
	Lei 10.522/12	Institui o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos (SGRCC) e o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos (PMRCC), no Município de Belo Horizonte.
	Decreto 13.972/10	Institui a Licença Especial de Operação a Título Provisório - LETP para áreas destinadas ao manejo de resíduos de construção civil e resíduos volumosos no Município de Belo Horizonte.
	Lei 8.327/02	Dispõe sobre o plantio, supressão e poda de árvores no Município de Belo Horizonte.

Legislações e Normativas Legais Aplicáveis na Construção Civil		
Âmbito	Requisito Legal	Assunto
Municipal (Belo Horizonte)	Deliberação Normativa 67/10	Disciplina a compensação ambiental nos casos de supressão vegetal no Município de Belo Horizonte.
	Deliberação Normativa 58/07	Estabelece o enquadramento e os critérios para o licenciamento ambiental das obras de infraestrutura no Município de Belo Horizonte - MG. (Revoga a Deliberação Normativa COMAM 26/99)
	Portaria 5/15	Estabelece a metodologia a ser adotada pela Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana (SMARU) para licenciamento e controle das obras em logradouro público do Município de Belo Horizonte - MG.
	Portaria 6/16	Estabelece procedimentos referentes à análise de solicitação de autorização para intervenção em vegetação, motivada por implantação ou ampliação de edificação em lote(s), no Município de Belo Horizonte - MG. (Alterada pela Portaria SMMA 11/17)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.5 Construção sustentável

O termo sustentabilidade foi citado pela primeira vez em 1987 no relatório de Brundtland, também conhecido como *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), definindo desenvolvimento sustentável como “atender as necessidades de hoje sem sacrificar a habilidade das futuras gerações de atenderem as suas próprias necessidades” (LEITE, 2011).

A construção sustentável é, segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014), uma forma de garantir o equilíbrio entre o crescimento econômico e a proteção ao meio ambiente, de forma a promover a inclusão social e a justiça ambiental.

A busca pela construção sustentável surge como forma de reduzir os impactos ambientais considerando todo o ciclo de vida da edificação (LEITE, 2011). Ao se falar sobre a construção sustentável, é preciso considerar uma série de fatores como área

construída, eficiência energética, redução no uso de recursos naturais, redução do desperdício de materiais e qualidade do ambiente (DARDENGO, 2017).

Na concepção do projeto sustentável, aspectos como aproveitamento de água de chuva, energia solar e o maior aproveitamento de luz e ventilação natural são boas práticas que contribuem para a conservação do meio ambiente (LEITE, 2011).

2.5.1 Certificações Ambientais na Construção Civil

As certificações ambientais são um meio de incentivar a sustentabilidade na construção civil. Ao considerar o investimento inicial para tornar a construção sustentável é notável que há um aumento no custo, entretanto empresas buscam certificações ambientais pois há uma vantagem competitiva, já que além da conscientização ambiental, nota-se que a longo prazo há uma redução de custos do usuário, devido à redução de consumo de água e energia, por exemplo (LEITE, 2011).

Vários sistemas de certificação ambiental são utilizados ao redor do mundo e, cada um, adotando diferentes parâmetros de avaliação. No Brasil, os sistemas de certificação ambiental mais utilizados são o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental), adaptado da certificação francesa *Démarche HQE – Haute Qualité Environnementale* (RODRIGUES, 2020).

O sistema de certificação LEED utiliza o critério de pontos para a obtenção do certificado, sendo que os critérios já são pré-definidos, e incluem o projeto, construção, operação e manutenção de edifícios, casas e bairros verdes (RODRIGUES, 2020). Já o sistema AQUA, se baseia no Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e a Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), que definem o perfil de cada empreendedor para posterior avaliação, controlando as fases de programa, concepção, realização e operação (CORRÊA, 2011).

A escolha do sistema de certificação irá depender do tipo de empreendimento, pois cada uma das certificações é baseada em diferentes critérios de avaliação (RODRIGUES, 2020), como apresentado na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Comparação dos sistemas de certificação LEED x AQUA.

	LEED	AQUA
País de origem	EUA	Brasil/França
Instituição fundadora	<i>U.S. Green Building Council (USGBC)</i>	Fundação Vanzolini / USP
Ano de criação	1998	2008
Ano de início no Brasil	2008	2009
Crítérios	69 (LEED – NC)	A depender do perfil do empreendimento
Classificação final	<i>Certified / Silver / Gold / Platinum</i>	Bom (B) / Superior (S) / Excelente (E)
Adequação os critérios locais	Não há adequação	Adequado a normatização e regulamentação brasileira
Etapas de avaliação	Concepção	Programação, concepção e execução
Expressão dos resultados	Nível global de desempenho	Perfil de desempenho nos diferentes temas

Fonte: Adaptado de CORRÊA (2011); RODRIGUES (2020).

Ao se comparar os dois sistemas, o LEED abrange um maior número de tipos de empreendimentos e os pesos dos critérios são diferentes, pois, por se tratar de um sistema norte-americano, dá maior valor às questões energéticas, enquanto o AQUA, por ser adaptado à realidade brasileira, pode garantir um melhor desempenho ambiental em âmbito geral (LEITE, 2011).

Ambos os sistemas demonstram preocupações com economia de água e energia, redução de emissões de gás carbônico, implantação no território, conforto interno e geração de resíduos (RODRIGUES, 2020). A certificação AQUA possui validade de um ano e não há possibilidade de renovação, enquanto o certificado

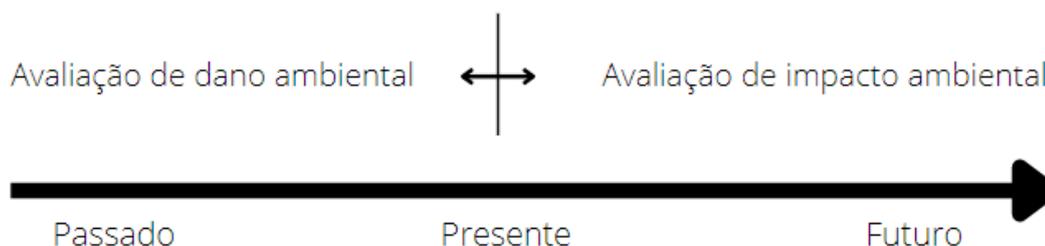
LEED é concebido ao final da obra e tem validade de dois anos, podendo ser renovadas após uma reavaliação (LEITE, 2011).

2.6 Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental

O termo Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) surgiu ao final da década de 60, nos Estados Unidos, quando o país criou a política nacional do meio ambiente (*National Environmental Policy Act* – NEPA) que passou a exigir declarações detalhadas sobre os impactos ambientais advindos de iniciativas do governo federal americano (SÁNCHEZ, 2013). Ainda segundo o autor, estas “declarações detalhadas” às quais o governo se referia, hoje em dia são equivalentes ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (SÁNCHEZ, 2013).

Avaliação de impacto e avaliação de dano ambiental são termos distintos, pois, de forma sucinta, o dano compara uma situação do passado com a situação atual, enquanto o impacto considera o cenário atual e uma projeção de uma situação futura, como explica Sánchez (2013) e pode ser entendido mais facilmente através da Figura 4.

Figura 4 - Comparação entre avaliação de dano e impacto ambiental.



Fonte: Adaptado de SÁNCHEZ (2013).

Os métodos para a Avaliação de Impacto Ambiental são derivados de antigas técnicas e estudos já existentes, baseadas em modelos matemáticos, análises de potencialidade de utilização do solo, ou considerando os requisitos legais envolvidos no estudo (BRAGA et al, 2005)

A escolha da metodologia a ser empregada irá depender de diversos fatores e da particularidade de cada caso, mas, de acordo com Munn (1975 apud BRAGA et al, 2005), a metodologia deve atender às seguintes funções na avaliação:

- Identificação;
- Predição;
- Interpretação;
- Comunicação;
- Monitoramento.

Há diversas metodologias utilizadas atualmente, mas podemos destacar entre elas: métodos espontâneos (*Ad hoc*), metodologia de listagem, redes de interação, modelos de simulação e matrizes de interação.

Os métodos espontâneos (*Ad Hoc*), quando comparados com os demais métodos, talvez possa ser considerado o mais informal, pois baseia-se nas experiências dos profissionais envolvidos no estudo. É realizado por uma equipe multidisciplinar que, nem sempre, é composta por profissionais relacionados ao tema, através de reuniões, utilizando-se questionários previamente respondidos pelas pessoas interessadas (BRAGA et al, 2005). É um método adotado quando há poucos dados que forneçam orientações e os impactos são, normalmente, identificados através de um *brainstorming* e caracterizados por meio de tabelas e matrizes (COSTA, CHAVES e OLIVEIRA, 2005).

A metodologia de listagem, ou *checklist*, baseia-se na identificação e enumeração dos impactos da fase de implantação e operação do empreendimento, através de uma listagem contendo impactos positivos e negativos dos meios físico, biótico e socioeconômico (COSTA, CHAVES e OLIVEIRA, 2005). Estas listagens podem ser descritivas, comparativas, ponderais ou em questionários e, normalmente, já são encontradas listas associadas a cada tipo de empreendimento (FINUCCI, 2012).

As redes de interações, também conhecidas como *networks*, são capazes de estabelecer relações da cadeia causa-condição-efeito, através da identificação dos impactos diretos e indiretos, permitindo a minimização dos impactos (BRAGA et al,

2005). De acordo com Finucci (2012), o conjunto de ações e condições, na maioria das vezes, causam mais de um efeito e formam uma rede em que os impactos são ordenados de forma hierárquica (primários, secundários, terciários...), fazendo com que seja possível analisar os impactos como um todo.

Modelos de simulação são modelos matemáticos que utilizam programas computacionais que simulam sistemas ambientais. É um modelo capaz de processar variáveis qualitativas e quantitativas para analisar o comportamento de parâmetros ambientais ou relações de interações entre os efeitos (OLIVEIRA e MOURA, 2009). Segundo Finucci (2012), estes modelos são muito utilizados em casos de sistema de controle de poluição, pois fornecem diagnósticos e prognósticos ambientais sobre a qualidade ambiental da área em questão.

A Matriz de interação é uma técnica bidimensional que faz uso da distribuição de pesos para os parâmetros relacionados ao meio ambiente. Neste método, as ações e os fatores ambientais são dispostos em linhas e colunas e, ao relacionar os impactos de cada ação, é possível constatar as ações que potencialmente causam mais impactos (BRAGA et al, 2005).

Segundo Oliveira e Moura (2009), a Matriz de Leopold é uma das matrizes de interação mais utilizada no Brasil e no mundo, criada em 1971 para atender o Serviço Geológico do Interior dos Estados Unidos.

A Matriz de Leopold avalia o cruzamento de linhas e colunas, referentes aos fatores e às ações potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, para avaliar os impactos associados ao projeto (BRAGA et al, 2005). Originalmente, a Matriz de Leopold possui 88 linhas e 100 colunas, entretanto a partir dela, foram feitas muitas outras adaptações de matrizes para a avaliação de impacto ambiental. Como ilustrado na Figura 5 abaixo, em um extrato da matriz de Leopold, os impactos recebem os valores de magnitude e importância.

Figura 5 - Extrato da matriz de Leopold.

	Sítios industriais e edifícios II B.b.	Estradas e pontes II B.d.	Linhas de transmissão II B.h.	Detonação e perfuração II C.a.	Escavações de superfície II C.b.	Processamento de minério II D.f.	Transporte por caminhões II G.c.	Disposição de rejeitos II H.c.	Vazamentos II J.b.
A.2.d. Qualidade da água					2 2	1 1		2 2	1 4
A.3.a. Qualidade da atmosfera						2 3			
A.4.b. Erosão		2 2			1 1			2 2	
A.4.c. Sedimentação		2 2			2 2			2 2	
B.1.b. Arbustos					1 1				
B.1.c. Gramíneas					1 1				
B.1.f. Plantas aquáticas					2 2			2 3	1 4
B.2.c. Peixes					2 2			2 2	1 4
C.2.e. Camping e caminhadas					2 4				
C.3.a. Vistas cênicas e paisagem	2 3	2 1	2 3		2 3		2 1	3 3	
C.3.b. Qualidade do ambiente selvagem	4 4	4 4	2 2	1 1	3 3	2 5	2 5	3 5	
C.3.h. Espécies raras e importantes		2 5		5 10	2 4	5 10	5 10		
C.4.b. Saúde e segurança							3 3		

Fonte: SÁNCHEZ (2013).

De acordo com a resolução CONAMA nº 001/1986 o estudo de impacto ambiental deve desenvolver a

“Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.” (CONAMA nº 001/1986).

A avaliação da importância dos impactos é uma difícil etapa no estudo de impacto ambiental, pois atribui o maior ou menor grau de importância de uma

alteração ambiental enquanto a magnitude diz respeito à intensidade do impacto causado ao meio (SÁNCHEZ, 2013).

2.7 Análise do Ciclo de Vida

Uma ferramenta importante na avaliação dos impactos ambientais é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), pois ela considera os impactos com uma visão de todo o processo, desde a extração da matéria prima para fabricação dos materiais, até sua disposição final após o uso (MASS, 2017).

De acordo com a NBR ISO 14040, a ACV pode ser definida como:

“A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.” (NBR 14040:2001).

O estudo da ACV tenta abordar uma visão global do sistema, não se limitando aos processos industriais, mas considerando a natureza das matérias primas e recursos energéticos e, também, os subprodutos de cada etapa (TAVARES, 2006).

De acordo com a norma regulamentadora ISO 14040, pode-se classificar as fases de uma ACV da seguinte maneira:

- Definição do objetivo e escopo;
- Análise do inventário;
- Avaliação dos impactos;
- Interpretação dos resultados.

Após realizadas estas etapas, é possível realizar a comparação entre diferentes alternativas e optar por aquele que, de modo geral, contribui com menos impactos significativos ao meio ambiente.

A ACV é um estudo que pode demandar muitos recursos e a duração deste estudo pode levar anos, já que os estudos da produção de edificações, diferentemente de outros bens de consumo, irá variar muito de acordo com a realidade de cada construção (OBA, 2014). Ainda segundo Oba (2014), é por este motivo que surge o conceito da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que considera apenas a energia consumida pela edificação, auxiliando na tomada de

decisões de acordo com a eficiência energética do projeto, avaliando a energia embutida e a energia operacional.

Paralelamente à ACVE, há também a Análise do Ciclo de Vida de CO₂ (ACVCO₂), que calcula as emissões que CO₂ que ocorrem durante o ciclo de vida dos materiais (MASS, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 Levantamento dos impactos ambientais dos métodos construtivos convencionais e *Light Steel Frame*

Esta etapa consiste no levantamento de impactos através de estudos ambientais de empreendimentos que utilizam a metodologia construtiva convencional e LSF. Também, partindo do estudo bibliográfico realizado, foi possível fazer o levantamento de informações a respeito da implantação das metodologias construtivas convencionais e LSF e, assim, propor os principais impactos ambientais relacionados a elas para uma posterior avaliação de cada impacto. Os impactos foram levantados considerando apenas o meio físico.

Por se tratar de um levantamento de impactos baseado na revisão bibliográfica, é preciso entender que há subjetividade no estudo, porém ele auxilia no entendimento dos impactos, para que possam ser comparados e avaliados qualitativamente. Através do levantamento dos impactos, é possível avaliar a intensidade em que afetam o meio ambiente, de forma positiva ou negativa.

Os dados para este levantamento foram obtidos através de diferentes estudos de caso, devido ao fato de possuir pouco material bibliográfico comparando os aspectos e impactos sobre estas metodologias construtivas, sendo que os valores de magnitude e de importância foram determinados pela autora.

Na fase de operação, os impactos não foram considerados pois apesar de terem influência da metodologia, são significativamente mais influenciados pelos projetos arquitetônicos e comportamento dos usuários.

Na fase de instalação, os impactos analisados foram escolhidos optando-se por aqueles que poderiam ser os mais discrepantes entre os métodos, levando em consideração que muitos impactos seriam semelhantes aos dois métodos, como por exemplo a supressão vegetal para liberação do canteiro, desencadeamento de processos erosivos causados pela terraplanagem do terreno, afugentamento de fauna, perda de *habitat*, alteração da paisagem etc., já que estes impactos para ambas metodologias são provenientes de características locais e não variam de acordo com a metodologia construtiva aplicada.

Os impactos escolhidos para serem avaliados, bem como os estudos que foram utilizados como base para entendimento destes encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5 - Estudos utilizados para o levantamento dos impactos.

Impacto a ser avaliado	Estudo
Consumo de água	(LIMA, 2016) (OLIVIERI, BARBOSA, <i>et al.</i> , 2017)
Geração de resíduos	(MASS, 2017) (SANTOS, 2017) (COSTA, 2012)
Emissão de CO ₂ incorporada à geração de resíduos	(MASS, 2017)
Energia embutida nos resíduos	(MASS, 2017)
Alteração na qualidade do ar	(RESENDE e CARDOSO, 2008)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os impactos levantados para a alvenaria convencional e LSF foram os mesmos, para que possa ser feita a comparação entre os métodos, pois a partir das características de ambos os métodos construtivos, consideremos que não há diferença entre os tipos de impactos.

3.2 Determinação do Índice Global de Impacto (IGI) dos impactos ambientais dos diferentes métodos estudados

A ponderação dos impactos foi feita baseada em uma matriz de interação utilizando a metodologia de (BRESSANE, *et al.*, 2017), que considera os valores de magnitude e importância de cada metodologia utilizada, para que se possa obter o

valor da significância e, por fim, construir um Índice Global de Impacto (IGI). Na Tabela 6 abaixo, estão descritos os parâmetros avaliados, bem como seus respectivos pesos.

Tabela 6 – Definição dos parâmetros.

Parâmetro	Ponderador (p_i)	Definição	Modificador (m_{kj})	Peso (w_{kj})
Magnitude (μ)	Duração (p_1)	Qualificação da amplitude temporal do impacto (tempo de permanência)	Curta a média (m_{11})	1/9 (w_{11})
			Longo prazo (m_{21})	2/9 (w_{21})
			Permanente (m_{31})	3/9 (w_{31})
	Extensão (p_2)	Quantificação da abrangência espacial do impacto (território atingido)	Pontual (m_{12})	1/9 (w_{12})
			Local (m_{22})	2/9 (w_{22})
			Regional (m_{32})	3/9 (w_{32})
	Intensidade (p_3)	Quantificação do nível de alteração da característica ambiental (grau de modificação)	Baixa (m_{13})	1/9 (w_{13})
			Média (m_{23})	2/9 (w_{23})
			Alta (m_{33})	3/9 (w_{33})
Importância (Υ)	Acumulação (p_4)	Quantificação quanto à possibilidade de melhoria ou agravamento das alterações	Ausente (m_{44})	0 (w_{44})
			Incerta (m_{54})	2/9 (w_{54})
			Presente (m_{64})	3/9 (w_{64})
	Reversibilidade (p_5)	Quantificação quanto à capacidade de retorno a uma situação de equilíbrio ambiental	Sim (m_{45})	1/9 (w_{45})
			Talvez (m_{55})	2/9 (w_{55})
			Não (m_{65})	3/9 (w_{65})
	Sensibilidade (p_6)	Quantificação quanto à tolerância às alterações considerando a condição atual	Nula (m_{46})	0 (w_{46})
			Parcial (m_{56})	2/9 (w_{56})
			Total (m_{66})	3/9 (w_{66})

Fonte: Adaptado de BRESSANE et al. (2017).

Seguindo a metodologia de Bressane et al (2017), o cálculo do IGI para cada uma das metodologias será feito da seguinte forma:

Equação 1 - Índice Global de Impacto.

$$IGI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Em que:

IGI = Índice Global de Impacto para a metodologia avaliada

n = número total de impactos

i = (1, 2, 3, ..., n)

σ_i = significância do impacto i

A significância do impacto é dada por:

Equação 2 - Cálculo da significância do impacto.

$$\sigma_i = \mu_i \times \gamma_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Onde:

μ_i = magnitude do impacto

γ_i = importância do impacto

Os valores de magnitude e importância dos impactos são calculados pela Equação 3 e pela Equação 4, respectivamente:

Equação 3 - Cálculo da magnitude do impacto.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^3 (p_j)_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Equação 4 - Cálculo da importância do impacto.

$$\gamma_i = \sum_{j=4}^6 (p_j)_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Sendo que $(p_j)_i$ é o valor dado ao ponderador associado ao impacto. Este valor é calculado da mesma maneira para a magnitude e para a importância, como na Equação 5 e Equação 6 abaixo:

Equação 5 - Cálculo do ponderador para a magnitude.

$$(p_j)_i = \sum_{k=1}^3 (m_{kj} \times w_{kj})_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Equação 6 - Cálculo do ponderador para a importância.

$$(p_j)_i = \sum_{k=4}^6 (m_{kj} \times w_{kj})_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

$(m_{kj})_i$ = valor do modificador k relacionado ao ponderador j para o impacto i .

$(w_{kj})_i$ = peso do modificador k relacionado ao ponderador j para o impacto i .

O modificador $(m_{kj})_i$ podem receber os seguintes valores:

$$\begin{cases} 1, & \text{se pertence a condição avaliada} \\ -1, & \text{se a condição está relacionada e o impacto é prejudicial} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Os valores dos pesos foram definidos conforme a Tabela 6. Através disso, temos o vetor de magnitude dos impactos na Equação 7 e o vetor de importância na Equação 8.

Equação 7 - Vetor de magnitude dos impactos.

$$M = [\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n]$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Equação 8 - Vetor de importância dos impactos.

$$I = [\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_n]$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

Sendo assim, o índice global de impacto para cada metodologia pode ser calculado através da equação abaixo:

Equação 9 - Índice Global de Impacto para cada metodologia.

$$IGI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i I_i$$

Fonte: BRESSANE et al. (2017).

3.3 Comparação dos impactos ambientais dos métodos construtivos analisados e identificação dos aspectos contribuintes para a mitigação dos impactos ambientais

A partir da obtenção dos valores de IGI de cada método construtivo, em que os valores de IGI variam entre -1 e 1, de acordo com a natureza dos impactos (positiva ou negativa) e os limites inferior (-1) e superior (1) representam o pior e o melhor cenário, ou seja quanto mais próximo o IGI estiver do valor 1, mostra que o método possui impactos negativos menos significativos ou um maior número de impactos

positivos (BRESSANE, et al., 2017). Foi realizada a comparação dos valores de magnitude e importância de cada impacto, considerando os ponderadores de duração, extensão, intensidade, acumulação, reversibilidade e sensibilidade, para identificar os impactos que mais contribuem em cada uma das cadeias produtivas dos métodos analisados.

Desta forma, foi possível avaliar os impactos classificados como menos significativos, sendo possível entender e analisar como os métodos podem colaborar com a mitigação dos impactos causados ao meio ambiente, podendo classificar qual é o método construtivo mais sustentável, através da identificação dos impactos que contribuem para a minimização dos impactos ambientais.

4 RESULTADOS

4.1 Levantamento dos impactos ambientais dos métodos construtivos convencionais e *Light Steel Frame*

Como apresentado na metodologia, os impactos avaliados consideram o meio físico das etapas de planejamento e instalação:

- Consumo de água;
- Energia embutida nos materiais;
- Geração de resíduos;
- Emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduos;
- Alteração na qualidade do ar.

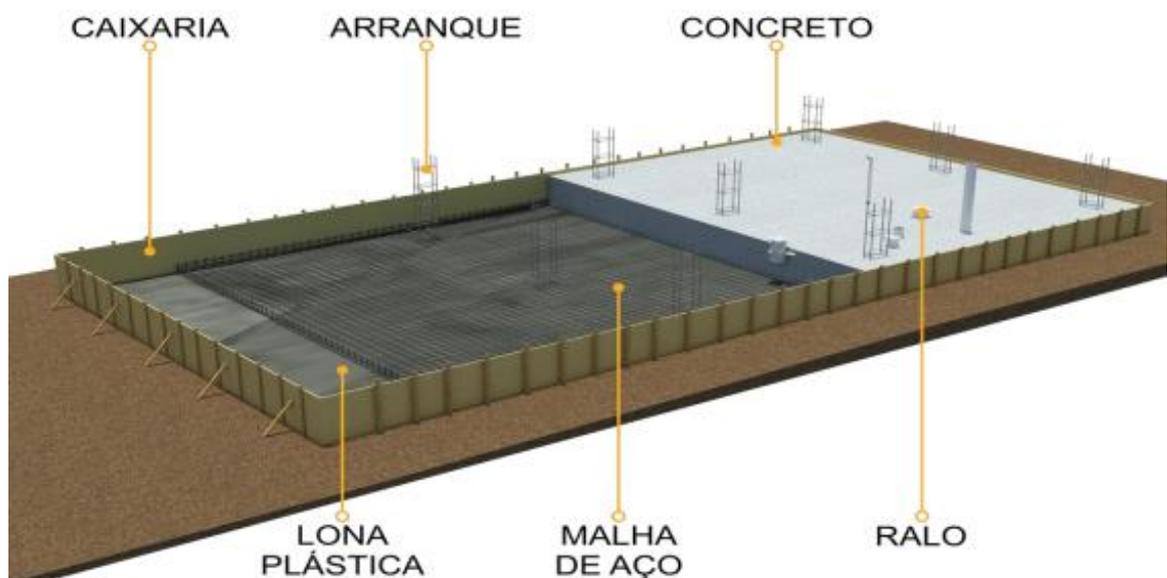
4.1.1 Etapas da construção civil

A fundação tem a função de transferir os esforços e cargas recebidos da superestrutura, podendo ser do tipo fundação profunda ou fundação em superfície, também chamada de fundação rasa, direta ou superficial (YAZIGI, 2009). Ainda segundo o autor, a fundação profunda por ser do tipo estaca, tubulão, caixão, estaca cravada ou estaca perfurada, enquanto a fundação em superfície pode ser do tipo

bloco, sapata, sapata associada, viga de fundação ou *radier*, sendo este último tipo utilizado nos estudos que foram base para este trabalho.

O *radier* (Figura 6) consiste em um tipo de fundação em que todos os pilares ou paredes de uma edificação transmitem as cargas ao solo através de uma única sapata, podendo ser executado em concreto armado, protendido ou em concreto reforçado com fibras de aço (MILITO, 2009). Este tipo de fundação é semelhante a uma laje de concreto armado, caracterizado por execução rápida e fácil (JUNIOR e BRITO, 2018).

Figura 6 - Esquema da fundação *radier*.



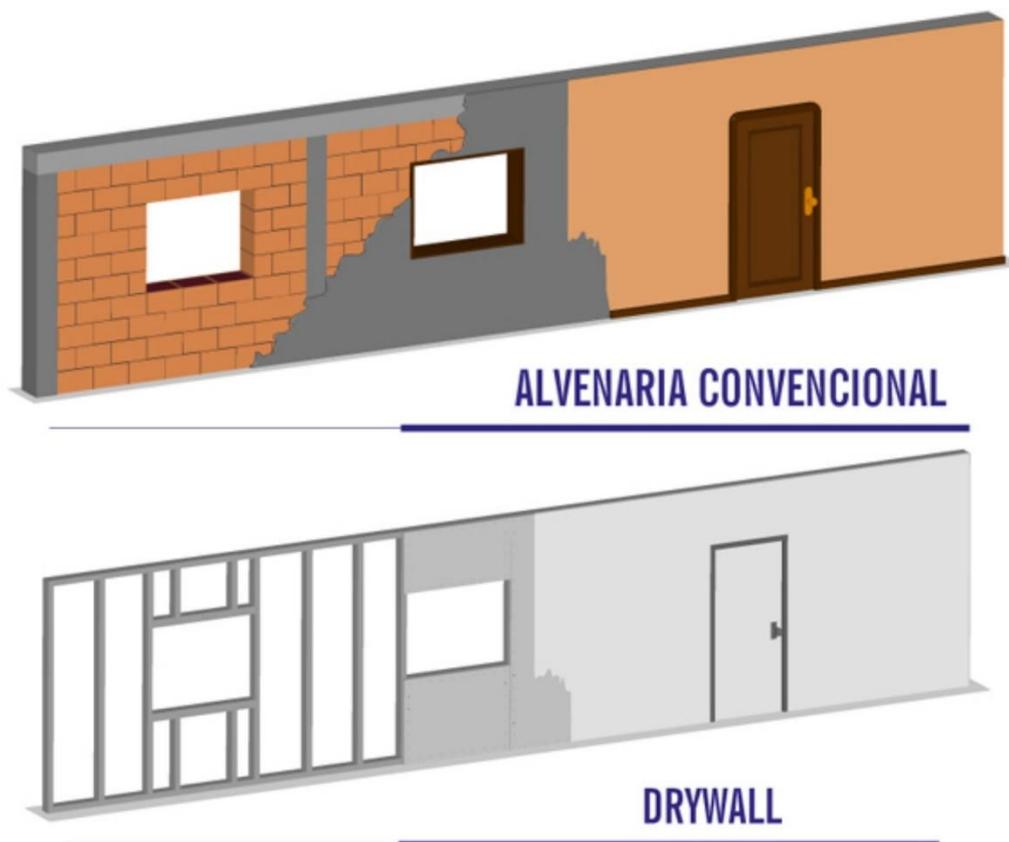
Fonte: JUNIOR e BRITO (2018).

No que se refere à estrutura do sistema de alvenaria convencional, os pilares são os elementos que dão a estabilidade, alocados em eixo vertical reto e executados em concreto armado, participando de todo o sistema de contraventamentos, enquanto o fechamento das paredes é feito por blocos cerâmicos interligados por argamassa (Figura 7), garantindo o isolamento interno (JUNIOR e BRITO, 2018).

A parte estrutural do sistema em LSF é constituída por perfis de aço galvanizado, transmitindo os carregamentos aos quais são submetidos para a fundação (Figura

7), que além disso participam, também, da parte não-estrutural, como vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e outros componentes (CRASTO, 2005).

Figura 7 - Estrutura e fechamento das construções em alvenaria convencional e LSF.



Fonte: ASTRA (2016).

4.2 Determinação do Índice Global de Impacto (IGI) dos diferentes métodos estudados

4.2.1 Consumo de água

4.2.1.1 Consumo de água na obra em LSF

Na obra em LSF, as etapas que mais consomem água são o radier e a calçada com concreto magro, sendo que de acordo com os estudos feitos por Lima (2016), são gastos 1640 litros de água em uma residência de 60m², totalizando 27,33L/m²

de área construída. O estudo feito por Olivieri, et al. (2017), não considera a água utilizada na fundação, mas sim o consumo de água no tratamento das juntas na etapa do revestimento, como recomendado pelo fabricante.

Tabela 7 - Consumo de água na etapa do revestimento (obra em LSF).

Obra	Área da fachada (m ²)	Quantidade de água utilizada (L/m ²)
Estudo de caso A	15.000m ²	1,77 L /m ²
Estudo de caso D	8.032 m ²	3,71 L /m ²

Fonte: Adaptado de OLIVIERI, BARBOSA, et al. (2017).

A discrepância entre a quantidade de água utilizada nos dois estudos de caso, pode ser devido à forma em que os estudos foram realizados: para o estudo A foram feitas entrevistas e visitas ao canteiro de obras, sendo possível quantificar o consumo; enquanto que no estudo D foram feitas estimativas do consumo através de análise do estudo de viabilidade do projeto e informações obtidas com os fornecedores.

A construção em LSF é um método que utiliza pouca água em seu processo, pois o grande volume de água é utilizado na fase da fundação, já que a parte estrutural é montada com os painéis de aço. Nas outras etapas, quando necessária a utilização de água, o volume utilizado é considerado pequeno.

Além da água utilizada durante a construção do empreendimento, o consumo feito pelos colaboradores também pode ser significativamente menor do que o consumo em obras de alvenaria, já que a mão de obra nesta metodologia é menor do que nas demais.

Tabela 8 - Mensuração dos impactos causados pelo consumo de água na construção em LSF.

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Curta a média (m ₁₁)	Durante a fase da obra, apenas na fase de fundação é usada quantidade significativa de água.	(w ₁₁) - 1/9	-4/9
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	Dependendo do sistema de distribuição de água pode afetar a comunidade do entorno.	(w ₂₂) - 2/9	

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Intensidade (p ₃)	Baixa (m ₁₃)	O volume de água utilizado é relativamente pequeno.	(w ₁₃) - 1/9	-4/9
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Não há acumulação do impacto.	(w ₄₄) 0	2/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	Se houver tratamento, parte da água pode ser reutilizada em outras etapas.	(w ₅₅) 2/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Nula (m ₄₆)	O ambiente é pouco afetado com o volume de água gasto ao se considerar uma única obra.	(w ₄₆) 0	
Total de significância					- 8/81

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Portanto, de acordo com a Tabela 8 nota-se que a água utilizada na construção em LSF possui uma duração curta e baixa intensidade, como já falado anteriormente, o volume maior de água utilizado na obra é na fase de fundação. Além disso, o consumo causa um impacto considerado local, já que pode afetar principalmente a comunidade local, dependendo do sistema de distribuição de água no entorno.

Considerando os fatores de importância, não é um impacto acumulativo e a reversibilidade deste impacto irá depender de fatores como o tratamento de água, já que em algumas situações ela pode ser reaproveitada. Vale ressaltar que nem toda a água consumida na construção poderá ser reaproveitada, já que ela é incorporada em alguns processos, como por exemplo na concretagem.

Como o volume de água utilizado é relativamente baixo, o ambiente é pouco sensível a este impacto.

4.2.1.2 Consumo de água na obra em alvenaria convencional

O consumo de água na obra em alvenaria convencional se dá nas etapas do radier, na construção dos pilares, na laje, argamassa, chapisco, emboço e reboco,

vergas e contra vergas, encunhamento, contrapiso e na calçada com concreto magro.

De acordo com Lima (2016), para uma residência familiar de 60 m² são gastos 3.520 litros de água, aproximadamente 58,67 L/m² de área construída. Para este método construtivo, na etapa de revestimento, o estudo feito por Olivieri et al. (2017) considerou também o volume de água na execução das alvenarias externas e gesso liso, incluindo chapisco, limpeza e argamassa cimentícia, obtendo os valores da Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Consumo de água na etapa do revestimento (obra em alvenaria convencional).

Obra	Área da fachada (m ²)	Quantidade de água utilizada (L/m ²)
Estudo de caso A	15.000m ²	27,04 L /m ²
Estudo de caso D	8.032 m ²	17,69 L /m ²

Fonte: Adaptado de OLIVIERI, BARBOSA, et al. (2017).

Os valores encontrados para o estudo de caso A e D são 93,45% e 79,03% maiores que os valores na construção em LSF, demonstrando que a demanda do uso de água nas obras em alvenaria é bem maior. Além disso, a água gasta pelos colaboradores no canteiro durante a execução da obra também se estima que seja elevada, já que há mais mão de obra incorporada no processo e o prazo de entrega deste método também é maior.

Tabela 10 - Mensuração dos impactos causados pelo consumo de água na construção em alvenaria convencional.

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Durante a fase da obra, grandes quantidades de água são utilizadas durante todo o processo.	(w ₁₁) - 2/9	- 2/3
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	Dependendo do sistema de distribuição de água pode afetar a comunidade do entorno.	(w ₂₂) - 2/9	
	Intensidade (p ₃)	Média (m ₂₃)	São utilizados grandes volumes de água.	(w ₂₃) - 2/9	

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Não há acumulação do impacto.	(w ₄₄) 0	2/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	Se houver tratamento, parte da água pode ser reutilizada em outras etapas	(w ₅₅) -2/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Nula (m ₄₆)	O ambiente é pouco afetado com o volume de água gasto ao se considerar uma única obra.	(w ₄₆) 0	
Total de significância					- 4/27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com a Tabela 10, o consumo de água na construção em alvenaria convencional é maior do que na construção em LSF, já que em praticamente todos os processos utiliza-se água, fazendo com que a duração deste consumo também seja maior. Bem como na construção em LSF, na alvenaria também não é possível fazer o tratamento e reaproveitar toda a água que foi utilizada, já que ela é incorporada aos processos de alvenaria. Por possuir mais mão de obra, o consumo de água pelos colaboradores é maior.

Os fatores ligados à importância dos impactos são iguais aos fatores da construção em LSF.

4.2.2 Geração de resíduos

4.2.2.1 Geração de resíduos na obra em LSF

No estudo feito por Santos (2017), foram considerados os resíduos de dois métodos da construção em LSF: na obra 1 utilizou-se o método *Stick* e na obra 2 foi utilizado o método de montagem por painéis. Dentre os resíduos quantificados ao final da obra, tem-se principalmente placas cimentícias, placas compensadas plastificadas, placas de piso (OSB), placas de gesso acartonado e retalhos de perfis de aço, sendo estes últimos encontrados apenas na obra que utilizou o método *Stick*,

já que os resíduos da fábrica não foram quantificados. A quantidade de cada um destes materiais encontra-se na Tabela 11:

Tabela 11 - Quantificação dos resíduos da obra em LSF.

Amostra	Obra 1 (Área construída: 491,47 m ²)		Obra 2 (Área construída: 15,28 m ²)	
	Massa (kg)	%	Massa (kg)	%
Perfis de aço	18,00	3,52	-	-
Gesso acartonado	269,57	52,77	17,48	28,87
Placa cimentícia	131,22	25,69	31,52	52,07
Placa OSB	30,60	5,99	11,54	19,06
Placa compensada plastificada	61,43	12,03	-	-
TOTAL	510,82	100	60,54	100

Fonte: SANTOS (2017).

Sendo assim, de acordo com a área construída, é possível calcular a quantidade de resíduos gerada por m² da obra, como consta na Tabela 12:

Tabela 12 - Quantidade de resíduos gerados por m² na obra em LSF.

Obra	Área construída (m ²)	Massa descartada de RCC (kg)	Taxa de geração de RCC (kg/m ²)
LSF 1	491,47	510,82	1,04
LSF 1	15,28	60,54	3,96
Média de resíduos por m²			1,13 kg/m ²

Fonte: Adaptado de SANTOS (2017).

Já o estudo realizado por Mass (2017), considerou os resíduos mais expressivos nas duas metodologias construtivas levando em conta toda fase de construção, sendo eles: aço, areia, brita, cal, cimento, gesso acartonado, lâ de vidro, madeira compensada, madeira serrada, OSB, *Panel H-smartside*, perfil de aço, telha de fibrocimento, telha *Shingle* e tijolo cerâmico.

Tabela 13 - Quantidade de resíduos gerada, por material de construção na obra em LSF.

Material	Quantidade necessária (kg)	Perdas por resíduo (kg)	Quantidade total (kg)	Perdas por RCC (%)
Aço	382,052	378,660	3,392	0,90%
Areia	14.182,582	13.132,020	1.050,562	8,00%
Brita	22.987,272	19.298,400	3.688,872	19,11%
Cimento	4.942,080	4.576,000	366,080	8,00%
Gesso acartonado	1.258,560	1.235,470	23,090	1,87%
Lã de vidro	120,000	96,000	24,000	25,00%
Madeira serrada	236,250	236,250	236,250	100,00%

Material	Quantidade necessária (kg)	Perdas por resíduo (kg)	Quantidade total (kg)	Perdas por RCC (%)
OSB	784,214	772,015	12,199	1,58%
Panel H-smartside	764,694	736,254	28,440	3,86%
Perfil de aço	1.356,460	1.323,460	33,000	2,49%
Telha <i>Shingle</i>	904,800	858,503	46,297	5,39%
Total	47.918,964	42.643,033	5.512,181	12,93%

Fonte: MASS (2017).

Pode-se notar que os valores mais elevados de perdas de resíduos são de madeira serrada, lã de vidro e brita, respectivamente. A perda de 100% da madeira serrada se deve ao fato que a madeira foi utilizada apenas para forma na fundação da obra e depois foi descartada, porém em outras condições poderia ter sido reutilizada em outras obras. Já os valores de lã de vidro e brita são justificados pela compra precisar ser feita em quantidades comerciais, mesmo que no projeto já seja de conhecimento que nem todo material será utilizado.

Desta maneira, levando em consideração a variedade e a quantidade de resíduos gerados, tem-se os seguintes valores para magnitude e importância na Tabela 14. Deve-se levar em consideração que os resíduos gerados na construção em LSF são, em sua maioria, resíduos classificados pela NBR 10004, da ABNT, como resíduos inertes, que devido às suas características, não sofrem transformações químicas, físicas ou biológicas ao longo do tempo, apresentando propriedades de biodegradabilidade.

Tabela 14 - Mensuração dos impactos causados pela geração de resíduos na construção em LSF.

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os resíduos são gerados durante toda a fase de implantação da obra.	(w ₁₁) - 2/9	- 5/9
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	O impacto é considerado local, já que os resíduos gerados são levados posteriormente para aterros.	(w ₂₂) - 2/9	
	Intensidade (p ₃)	Baixa (m ₁₃)	Devido ao baixo quantitativo de resíduos gerados e que muitos deles podem ser reciclados após o uso.	(w ₁₃) - 1/9	

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Os principais resíduos gerados são resíduos não perigosos, sendo assim não tendem a agravar as alterações ao meio.	(w ₄₄) 0	4/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	Os impactos causados pela geração dos resíduos podem ser parcialmente reversíveis se houver sistema de reciclagem.	(w ₅₅) 1/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado localmente pela deposição de resíduos	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 20/81

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A magnitude dos impactos da geração de resíduos pode variar muito de acordo com a metodologia de construção em LSF (*stick*, por painéis ou por construção modular), pois na metodologia por painéis, por exemplo, os resíduos de painéis não serão gerados no canteiro (ou serão gerados em quantidades bem pequenas em casos de reajustes do projeto), já que os painéis são montados de acordo com o projeto e chegam ao canteiro com todas as dimensões necessárias, não sendo necessários outros cortes. O método *stick* seria o maior gerador de resíduos de aço, durante o corte dos painéis para aplicação na estrutura, mas ainda assim, grande parte dos resíduos ainda podem ser reaproveitados. Os resíduos gerados em maiores quantidades, se devem ao fato que a compra de alguns insumos precisa ser feita a granel, não podendo fazer a compra de acordo com o projeto, havendo assim um desperdício de materiais.

Os resíduos não causam grandes danos ao meio ambiente devido às suas características e estes podem ser revertidos caso os resíduos gerados passem por processos de reciclagem, seja ela a reciclagem como agregados ou a reciclagem com outras destinações. Alguns resíduos, como o caso da madeira, podem ser reutilizados em outras obras ou outras atividades, já que foi usada unicamente na etapa de fundação, no processo da forma.

4.2.2.2 Geração de resíduos na obra em alvenaria convencional

Os RCC gerados na obra de alvenaria convencional são descritos na Tabela 15 abaixo, baseado nos estudos de Costa (2012).

Tabela 15 - Quantidade de resíduos gerados por m² na obra em alvenaria convencional.

Obra	Área construída (m ²)	Massa descartada de RCC (kg)	Taxa de geração de RCC (kg/m ²)
1	985,50	99.425,00	100,89
2	43.858,80	3.950.862,50	90,08
3	16.976,51	1.553.387,50	91,50
4	1.250,00	123.000,00	98,40
5	950,00	102.500,00	107,89
6	1.780,00	143.500,00	80,62
7	1.949,00	184.500,00	94,66
8	1.194,50	147.600,00	123,57
9	998,00	107.625,00	107,84
10	70,00	10.250,00	146,43
11	95,00	10.762,50	113,29
12	150,00	11.275,00	75,17
13	2.299,02	208.177,50	90,55
14	997,64	169.586,25	169,99
15	840,00	73.800,0	87,86
16	445,56	49.712,50	111,57
17	232,45	36.900,00	158,74
18	394,30	39.462,50	100,08
19	754,93	78.412,50	103,87
20	4.997,00	521.007,50	104,26
21	455,40	40.487,50	88,91
22	1.031,80	102.910,00	99,74
Média de resíduos por m²			93,89

Fonte: Adaptado de COSTA (2012).

Diferentemente dos resíduos das obras em LSF, os resíduos da alvenaria representam uma média de 93,89kg/m² construído. Além disso, como consta na Tabela 16 abaixo, todos os materiais utilizados tiveram, pelo menos, 10% de perda.

Tabela 16 - Quantidade de resíduos gerada, por material de construção na obra em alvenaria convencional.

Material	Quantidade necessária (kg)	Perdas por resíduo (kg)	Quantidade total (kg)	Perdas por RCC (%)
Aço	1.994,031	209,373	2.203,404	10,50%
Areia	48.965,141	19.765,204	68.730,345	40,37%
Brita	35.192,970	5.102,981	40.295,951	14,50%
Cal hidratada	1.450,599	1.193,050	2.643,649	82,25%
Cimento	10.487,931	3.003,747	13.491,677	28,64%
Fibrocimento - telha	1.684,980	168,498	1.853,478	10,00%
Madeira compensada	862,102	991,417	991,417	115,00%
Madeira serrada	4.831,707	4.091,263	5.556,463	84,68%

Tijolo 9x14x19cm	8.758,933	1.313,840	10.072,773	15,00%
Total	114.228,393	35.839,373	145.839,157	31,38%

Fonte: MASS (2017).

Os maiores valores para geração de resíduos foram para a madeira, cal hidratada e areia. É importante ressaltar que os valores de perdas estão ligados a dois tipos de perda: a primeira, que trata da perda de material, é a perda que ocorre na fase de mistura para obtenção de outro material; a segunda é a perda por produto, que é o descarte do resíduo (MASS, 2017).

Assim como os resíduos gerados na construção em LSF, os resíduos da obra em alvenaria não causam grandes danos ao meio ambiente devido às suas características. Entretanto, é preciso ressaltar que na alvenaria convencional, além dos resíduos serem gerados em grandes quantidades.

Tabela 17 - Mensuração dos impactos causados pela geração de resíduos na construção em alvenaria convencional.

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os resíduos são gerados durante toda a fase de implantação da obra	(w ₁₁) - 2/9	- 2/3
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	O impacto é considerado local, já que os resíduos gerados são levados posteriormente para aterros	(w ₂₂) - 2/9	
	Intensidade (p ₃)	Média (m ₂₃)	Todos os materiais aplicados na obra geram elevadas quantidades de resíduos.	(w ₂₃) - 2/9	
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Os principais resíduos gerados são resíduos não perigosos, sendo assim não tendem a agravar as alterações ao meio.	(w ₄₄) 0	4/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	Os impactos causados pela geração dos resíduos podem ser parcialmente reversíveis se houver sistema de reciclagem.	(w ₅₅) 1/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado localmente pela deposição de resíduos	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 8/27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Tabela 17 é possível ver que os resíduos são gerados na fase de instalação, entretanto são gerados mais resíduos do que na construção em LSF. Se os resíduos forem depositados em aterros podem causar impactos locais, já que afetam toda a vizinhança ao entorno. Este método apresenta elevados valores de geração de resíduos, pois conforme visto anteriormente são gerados em média 93,89kg por metro quadrado de área construída.

Os resíduos podem ser reciclados como agregados, já que a maioria dos resíduos gerados é composto de concreto, blocos, tijolos e argamassa.

4.2.3 Emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduos

Para a caracterização da emissão de CO₂ (dióxido de carbono) incorporada à geração de resíduos, é importante compreender os insumos energéticos gastos para a fabricação dos materiais utilizados na construção civil, bem como a geração de CO₂ derivada destas fontes. Os cálculos da emissão de CO₂ nas metodologias construtivas deste trabalho foram baseadas nos cálculos feitos por Tavares e Bragança (2016), como mostram as tabelas 18 e 19 abaixo e pelos estudos de Mass (2017).

Tabela 18 - Insumos energéticos utilizados nos processos de fabricação dos materiais de construção (%).

Fontes	Fósseis não renováveis						Renováveis					
	Óleo diesel e combustível	Gás natural	GLP	Coque de Petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Eletricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes primárias	Outras
Aço e ferro	1	6					45	10	19			19
Alumínio	17	13						55				15
Areia	25	15						30				20
Argamassa	30	10		10				30				20

Cal	10	20					15		55		
Cerâmica de revestimento	15	60	10				15				
Cerâmica vermelha	4	2	8				5		80		1
Cimento	1			70		2	13	3			11
Cobre	10	20				5	60				5
Concreto	25	15		10			30				20
Fibrocimento	15			50			30				5
Impermeabilizante	5	30				3	30		2		30
Madeira	5	3	2				8		82		
Papel	2	7					15	2	15	45	14
Pedra	30	10					30				30
Plásticos	20	20					30				30
Tintas	5	20	5				70				
Vidro	2	60	10				28				
Outros materiais	4	23	3		7		50	1	12		

Fonte: TAVARES e BRAGANÇA (2016).

Tabela 19 - Geração de CO₂ embutida nos materiais de construção.

Materiais	Kg CO₂ / kg
Aço e ferro	2,73
Alumínio	10,19
Areia	0,03
Argamassa	0,34
Cal	0,87
Cerâmica de revestimento	0,29
Cerâmica vermelha	0,17
Chapa de compensado	0,41
Cimento	0,79
Cobre	3,95
Concreto	0,12
Fibrocimento	0,72
Impermeabilizantes	5,50
Madeira	0,11
Papel	1,54
Pedra	0,10
Plásticos	5,02
Tintas	3,57
Vidro	0,99
Outros materiais	2,58

Fonte: TAVARES e BRAGANÇA (2016).

Os cálculos demonstrados na Tabela 18 acima representam a participação em porcentagem das fontes de energia utilizadas para a fabricação dos principais insumos utilizados. Já na Tabela 19, Tavares e Bragança (2016) utilizam os índices de CO₂ nos materiais de construção, definidos pelo protocolo do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e, através de cálculos, torna-se possível apresentar os valores de emissões de CO₂ por kg de material de construção.

4.2.3.1 Emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduo na obra em LSF

A emissão de CO₂ é calculada de acordo com os estudos realizados por Mass (2017), que quantifica os resíduos separando-os na aplicação da estrutura, paredes e cobertura.

Tabela 20 - Emissões de CO₂ pelos resíduos da obra em LSF.

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	Kg CO ₂ / kg	Kg CO ₂	
Estrutura	Lastro	Brita	2.475,00	0,10	247,50	
	Fôrmas	Madeira serrada	236,25	0,11	25,99	
	Aço	Aço	3,39	2,73	9,26	
	Concreto usinado	Cimento		366,08	0,79	289,20
		Areia		1.050,56	0,03	31,52
		Brita		1.213,87	0,10	121,39
Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	23,11	2,73	63,09	
	Fechamento externo	Panel smartside	28,44	0,75	21,33	
	Fechamento interno	Gesso acartonado		23,09	0,39	9,01
		OSB		7,17	0,28	2,01
	Isolamento	Lã de vidro	24,00	1,35	32,40	
Cobertura	Perfil de aço	Aço galvanizado	9,89	2,73	27,00	
	Subcobertura	OSB <i>Techshield</i>	5,03	0,28	1,41	
	Cobertura	Telha <i>shingle</i>	46,30	0,30	13,89	

Fonte: MASS (2017).

Como pode-se notar, nem sempre o resíduo que é gerado em grande quantidade será o que mais irá emitir CO₂, como o caso da areia que é o terceiro material que mais gera resíduos, entretanto devido ao baixo valor de kg de CO₂ incorporado ao material, conseqüentemente gera pouco CO₂.

Baseado na tabela acima, a obra em LSF gerou 895 kg de CO₂ e obteve uma média de geração de 0,16kg de CO₂ por kg de resíduo. Com estes dados, podemos fazer a mensuração da emissão de CO₂ da seguinte forma:

Tabela 21 - Mensuração dos impactos causados pela emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduos na construção em LSF.

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os impactos da geração de CO ₂ são gerados desde a fase pré-operacional, na fabricação dos materiais.	(w ₂₁) - 2/9	- 2/3
	Extensão (p ₂)	Regional (m ₃₂)	O CO ₂ , depois de emitido, espalha-se pela atmosfera.	(w ₃₂) - 3/9	
	Intensidade (p ₃)	Baixa (m ₁₃)	A quantidade de CO ₂ incorporada aos resíduos é baixa.	(w ₁₃) 1/9	
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Presente (m ₆₄)	O CO ₂ acumula-se na atmosfera junto aos demais gases.	(w ₆₄) 3/9	7/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	O impacto causado pelo CO ₂ na atmosfera pode ser reversível através de sistemas de captura e remoção deste gás.	(w ₅₅) 2/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado regionalmente pela emissão de CO ₂ .	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 14/27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Portanto, de acordo com a avaliação feita na Tabela 21, nota-se que o CO₂ incorporado aos resíduos gera impactos que, por sua vez, podem ser considerados irreversíveis, já que uma vez emitidos na atmosfera o tratamento e recuperação torna-se algo difícil. Mesmo que emitidos em quantidades relativamente pequenas, o gás carbônico é um dos gases do efeito estufa, razão pela qual deve ser feito o

controle da emissão e a busca por utilização de materiais que emitam menos CO₂ ao ambiente.

4.2.3.2 Emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduo na obra em alvenaria convencional

As emissões de CO₂ provenientes da geração de resíduos em obras que utilizam alvenaria convencional ocorrem em todas as etapas da obra, desde a estrutura até a cobertura, como pode ser visto através da Tabela 22.

Tabela 22 - Emissões de CO₂ pelos resíduos da obra em alvenaria convencional.

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	Kg CO ₂ /kg	Kg CO ₂
Estrutura	Concreto	Cimento	176,093	0,79	139,11
		Areia	815,677	0,03	24,47
		Brita	569,759	0,10	56,98
	Armadura	Aço	5,557	2,73	15,17
		Cimento	1.650,439	0,79	1.303,85
	Concreto	Areia	6.032,483	0,03	180,97
		Brita	4.533,222	0,10	453,32
		Aço	203,817	2,73	556,42
	Fôrmas	Madeira serrada	3.871,483	0,11	425,86
		Compensado	991,417	0,41	406,48
Parede	Alvenaria	Tijolo	1.313,840	0,17	223,35
		Cimento	180,093	0,79	142,27
	Argamassa e assentamento	Areia	733,438	0,03	22,00
		Cimento	190,397	0,79	150,41
	Chapisco	Areia	872,006	0,03	26,16
		Cimento	721,970	0,79	570,36
	Emboço externo	Areia	5.988,141	0,03	179,64
		Cal hidratada	696,574	0,87	606,02
		Cimento	84,755	0,79	66,96
	Emboço interno	Areia	4.790,513	0,03	143,72
		Cal hidratada	406,502	0,87	353,66
		Areia	532,948	0,03	15,99
	Reboco	Cal hidratada	89,974	0,87	78,28
Madeiramento		Madeira serrada	219,780	0,11	24,18
Cobertura	Telhas	Fibrocimento	168,489	0,72	121,32

Fonte: MASS (2017).

O cimento é um componente que faz parte de várias etapas na alvenaria convencional, totalizando sozinho 2372,26 kg CO₂.

A construção em alvenaria gerou 6286,95 kg de CO₂, com uma média de emissão de CO₂ para a construção em alvenaria convencional é de 0,18 kg de CO₂ para cada kg de resíduo.

Tabela 23 - Mensuração dos impactos causados pela emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduos na construção em alvenaria convencional.

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os impactos da geração de CO ₂ são gerados desde a fase pré-operacional, na fabricação dos materiais.	(w ₂₁) - 2/9	-7/9
	Extensão (p ₂)	Regional (m ₃₂)	O CO ₂ , depois de emitido, espalha-se pela atmosfera.	(w ₃₂) - 3/9	
	Intensidade (p ₃)	Média (m ₂₃)	A quantidade de CO ₂ incorporada aos resíduos é média.	(w ₂₃) - 2/9	
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Presente (m ₆₄)	O CO ₂ acumula-se na atmosfera junto aos demais gases.	(w ₆₄) 3/9	7/9
	Reversibilidade (p ₅)	Talvez (m ₅₅)	O impacto causado pelo CO ₂ na atmosfera pode ser reversível através de sistemas de captura e remoção deste gás.	(w ₅₅) 2/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado regionalmente pela emissão de CO ₂ .	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 49/81

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

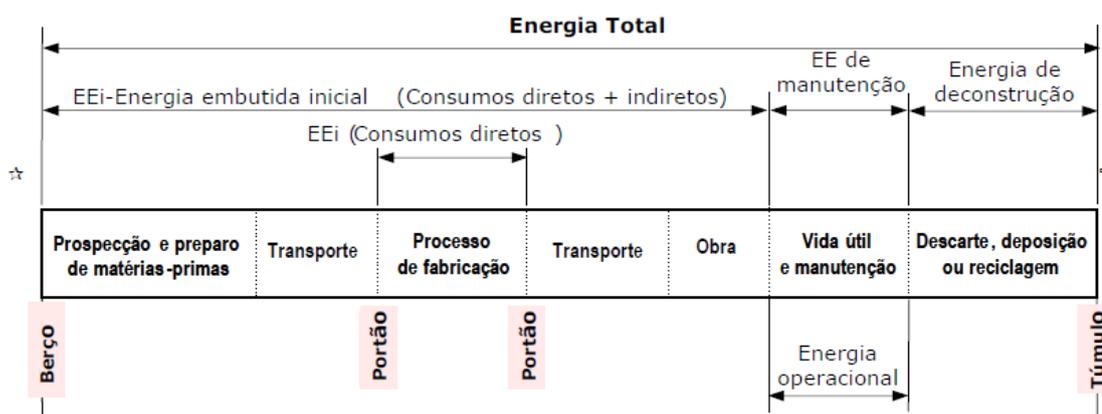
Podemos notar que quando se trata da emissão de CO₂, quase todos os parâmetros da construção em alvenaria convencional apresentam o mesmo peso da LSF, exceto o ponderador de intensidade. Apesar de possuírem valores parecidos de CO₂ por kg de resíduo (a construção em LSF apresenta 0,16kgCO₂/kg de resíduo e a construção em alvenaria apresenta 0,16kg CO₂/kg de resíduo), a alvenaria gera aproximadamente 6,5 vezes o valor de resíduos da LSF, fazendo com que o total de

geração de CO₂ também seja maior. Sendo assim, para esta metodologia construtiva, a intensidade de CO₂ foi elevada.

4.2.4 Energia embutida nos resíduos

A energia embutida refere-se ao total de insumos energéticos, sejam eles diretos ou indiretos, que são necessários para uma construção, em todas as etapas pré-operacionais de seu ciclo de vida, como exemplificado na Figura 8 (TAVARES, 2006).

Figura 8 - Ciclo de vida energético de uma edificação.



Fonte: TAVARES (2006).

A abaixo Tabela 24 representa os valores de energia embutida nos materiais de construção mais utilizados nas construções brasileiras:

Tabela 24 - Energia embutida nos materiais de construção.

Materiais	EE (MJ/kg)
Aço e ferro	35,0
Alumínio	155,0
Areia	0,5

Materiais	EE (MJ/kg)
Argamassa	2,1
Cal	3,0
Cerâmica de revestimento	3,0
Cerâmica vermelha	5,0
Chapa de compensado	8,0
Cimento	4,5
Cobre	75,0
Concreto	1,2
Fibrocimento	6,0
Impermeabilizantes	90,0
Madeira	2,0
Papel	20,0
Pedra	1,5
Plásticos	80,0
Tintas	75,0
Vidro	18,5
Outros materiais	50,0

Fonte: TAVARES e BRAGANÇA (2016).

4.2.4.1 Energia embutida nos resíduos na obra em LSF

Na obra em LSF, são demonstrados abaixo os valores de energia embutida nos resíduos da obra, considerando o estudo feito por Mass (2017), em uma residência de 58,15m².

Tabela 25 - Energia embutida nos resíduos da obra em LSF.

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	EE (MJ/kg)	EE (MJ)
Estrutura	Lastro	Brita	2.475,00	1,50	3.712,50
	Fôrmas	Madeira serrada	236,25	2,00	472,50
	Aço	Aço	3,39	35,00	118,71
	Concreto usinado	Cimento	366,08	4,50	1.647,36
		Areia	1.050,56	0,50	525,28
		Brita	1.213,87	1,50	1820,81
Paredes	Perfil de aço	Aço galvanizado	23,11	35,00	808,85
	Fechamento externo	Panel <i>smartside</i>	28,44	13,11	372,85
	Fechamento interno	Gesso acartonado	23,09	6,75	155,86
		OSB	7,17	4,81	34,49

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	EE (MJ/kg)	EE (MJ)
Paredes	Isolamento	Lã de vidro	24,00	28,00	672,00
Cobertura	Perfil de aço	Aço galvanizado	9,89	35,00	346,15
	Subcobertura	OSB <i>Techshield</i>	5,03	4,81	24,19
	Cobertura	Telha <i>shingle</i>	46,30	11,30	523,15

Fonte: MASS (2017).

Os valores de energia embutida nos resíduos da obra em LSF totalizam 11.234,70 MJ e o maior valor encontrado é o da brita, que também foi o resíduo gerado em maior quantidade, gerando 3.712,50 MJ de energia embutida. Nota-se, também, que o maior valor de energia embutida por kg de resíduo é o do aço, entretanto, no resultado final, este valor ainda assim foi menor, já que a quantidade de resíduos gerados é pequena, gerando um total de 1.273,71 MJ de energia.

A média de energia embutida por kg de resíduo na construção em LSF foi de 2,04 MJ/kg e o somatório total de energia incorporada à geração de resíduos neste estudo foi de 11.234 MJ.

Tabela 26 - Mensuração dos impactos causados pela energia embutida nos resíduos da obra em LSF.

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{ki})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os impactos referentes à energia embutida são gerados desde a fase pré-operacional, na fabricação dos materiais.	(w ₂₁) - 2/9	-2/3
	Extensão (p ₂)	Regional (m ₃₂)	Na produção dos materiais da construção faz-se o uso da matriz energética da região.	(w ₃₂) - 3/9	
	Intensidade (p ₃)	Baixa (m ₁₃)	Para a obra em LSF, a quantidade de energia embutida nos resíduos é relativamente baixa.	(w ₂₃) - 1/9	
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Não há agravamento dos impactos com o tempo devido ao consumo de energia.	(w ₄₄) 0	5/9
	Reversibilidade (p ₅)	Não (m ₆₅)	Após o consumo da energia, não é possível reverter o impacto.	(w ₆₅) 3/9	

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Importância (Y)	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O consumo de energia afeta parcialmente o ambiente através da queima de combustíveis.	(w ₅₆) 2/9	5/9
Total de significância					-10/27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em média, a construção em LSF possui um alto valor de energia embutida agregado aos materiais, cerca de 2,04 MJ/kg. Porém, ao analisar a quantidade de resíduos gerados na obra, a intensidade de energia que está incorporada é baixa, já que são gerados poucos resíduos. Este gasto para fabricação dos materiais ocorre em longo prazo, pois considera-se a energia gasta desde a fase pré-operacional.

O impacto relacionado ao consumo de energia, afeta o ambiente de forma regional, pois faz o uso de recursos naturais e energéticos brasileiros.

4.2.4.2 Energia embutida nos resíduos na obra em alvenaria convencional

A quantificação de energia embutida nos resíduos da obra em alvenaria, foi baseada nos estudos feitos por Mass (2017), que por sua vez quantificou os resíduos da obra através de uma simulação e os valores de referência para energia embutida foram baseados em Tavares (2006).

Tabela 27 - Energia embutida nos resíduos da obra em alvenaria convencional.

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	EE (MJ/kg)	EE (MJ)	
Estrutura	Concreto	Cimento	176,093	4,50	792,42	
		Areia	815,677	0,50	407,84	
		Brita	569,759	1,50	854,64	
	Armadura	Aço	5,557	35,00	194,48	
Estrutura	Concreto	Cimento	1.650,439	4,50	7.426,97	
		Areia	6.032,483	0,50	3.016,24	
		Brita	4.533,222	1,50	6.799,83	
	Fôrmas	Aço	203,817	35,00	7.133,58	
		Madeira serrada	Compensado	3.871,483	2,00	7.742,97
			Compensado	991,417	8,00	7.931,33
Parede	Alvenaria	Tijolo	1.313,840	5,00	6.569,20	
		Argamassa e assentamento	Cimento	180,093	4,50	810,42
	Areia		733,438	0,50	366,72	
	Chapisco		Cimento	190,397	4,50	856,79
		Areia	872,006	0,50	436,00	

Aplicação	Descrição		Quantidade de resíduos	EE (MJ/kg)	EE (MJ)
	Emboço externo	Cimento	721,970	4,50	3.248,87
		Areia	5.988,141	0,50	2.994,07
		Cal hidratada	696,574	3,00	2.089,72
	Emboço interno	Cimento	84,755	4,50	381,40
		Areia	4.790,513	0,50	2.395,26
		Cal hidratada	406,502	3,00	1.219,51
	Reboco	Areia	532,948	0,50	266,47
		Cal hidratada	89,974	3,00	269,92
Cobertura	Madeiramento	Madeira serrada	219,780	2,00	439,56
	Telhas	Fibrocimento	168,498	6,00	1.010,99

Fonte: MASS (2017).

Na edificação em alvenaria, a quantidade de energia embutida é mais do que cinco vezes maior, num total de 65.655,196 MJ. Somente o cimento já gera um valor maior do que o valor total encontrado na obra em LSF, chegando ao total de 13.518,69 MJ. Outro resíduo que gera altos valores de energia embutida é areia, que apesar de ter um valor de energia embutida no material ser baixa, apenas 0,50 MJ/kg, tem elevados valores de resíduos e totaliza 9.882,62 MJ de energia embutida.

A média de energia embutida por kg de resíduo na construção em alvenaria foi de 1,83 MJ/kg e o somatório total de energia incorporada à geração de resíduos neste estudo foi de 65.679,14 MJ.

Tabela 28 - Mensuração dos impactos causados pela energia embutida nos resíduos da obra em alvenaria convencional.

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{ki})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Os impactos referentes à energia embutida são gerados desde a fase pré-operacional, na fabricação dos materiais.	(w ₂₁) - 2/9	-7/9
	Extensão (p ₂)	Regional (m ₃₂)	Na produção dos materiais da construção faz-se o uso da matriz energética da região.	(w ₃₂) - 3/9	

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Intensidade (p ₃)	Média (m ₂₃)	Apesar de possuir baixo valor de energia embutida por kg de resíduo, são gerados muitos resíduos e, conseqüentemente, maior gasto energético.	(w ₂₃) - 2/9	-7/9
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	Não há agravamento dos impactos com o tempo devido ao consumo de energia.	(w ₄₄) 0	5/9
	Reversibilidade (p ₅)	Não (m ₆₅)	Após o consumo da energia, não é possível reverter o impacto.	(w ₆₅) 3/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O consumo de energia afeta parcialmente o ambiente através da queima de combustíveis.	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					-35/81

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Apesar de apresentar um menor valor de energia embutida por kg de resíduo do que na construção em LSF, a alvenaria apresenta maior energia embutida gerada no total. Este valor deve-se ao fato que a quantidade de resíduos gerada é aproximadamente 6,5 vezes maior do que na construção em LSF, fazendo com que no total, a intensidade de energia da obra seja maior, causando mais impactos negativos relacionados ao consumo de recursos energéticos.

4.2.5 Alteração na qualidade do ar

De acordo com os estudos feitos por Resende e Cardoso (2008), a emissão de material particulado (MP) ocorre em três fases distintas:

- Demolições;
- Movimentação de terra e serviços preliminares;
- Serviços de construção.

Entretanto, como o objetivo do trabalho é diferenciar os impactos das metodologias construtivas, apenas os serviços de construção serão considerados. Nas construções, segundo os autores, o MP é gerado em cortes e perfurações, no

manuseio e uso de materiais pulverulentos (como na produção de argamassas e concretos), desgaste superficial de atividade de lixamento de paredes, lançamento e projeção de argamassa para o revestimento, escavação manual e no transporte dos resíduos.

Tabela 29 - Atividades potencialmente geradoras de material particulado e principais serviços de construção.

	Cortes com serra de disco	Corte serra bancada	Serragem manual (serrota)	Perfuração	Desgaste superficial	Uso de material pulverulento	Aspersão de partículas líquidas	Lançamento/projeção de material com queda e ressuspensão	Quebra de materiais pulverulentos	Queima	Uso de maçarico/soldas	Limpeza com varrição	Escavação manual
Fôrma		◇	◆	X								◇	
Armação		◆									X	◇	
Concretagem	X			X	X	◇		◇	X			◇	
Forros e divisórias	X		◆	X	X	X						◇	
Alvenarias	◇			X		◇		◇	X			◇	
Revestimentos internos					X	◇		◇	X			◇	
Revestimentos externos					X	◇		◇	X			◇	
Pisos argamassados						◇		◇	X			◇	
Revestimentos cerâmicos	◇			◆		◆		◆	X			◇	
Esquadrias	◆		◆	◆	◆							◇	
Pintura					◇	◆	◇					◇	
Cobertura*	◇		◆	X		X		X	X			◇	
Impermeabilização**						◆		X		◇	◆	X	
Pavimentação***	◇				X	◇		◆	X	◆		◇	◇
Paisagismo						◆							◇
Sistemas prediais****	X	X	X	◆		X		X	X	X	X	X	◇

Fonte: Adaptado de RESENDE e CARDOSO (2008).

◆ Ocorre com maior intensidade/frequência

x Ocorre com maior intensidade/frequência

◇ Atividades com maior potencial de emissão de MP

* As coberturas de madeira com telhas cerâmicas, telhas de concreto ou pétreas são potencialmente mais nocivas quanto à emissão de MP que as coberturas metálicas.

** Os serviços de impermeabilização são bastante variados. As atividades de queima e uso de maçarico estão presentes em diversos sistemas de impermeabilização flexíveis. O manuseio de material pulverulento e mistura de agregados e aglomerantes ocorre nas impermeabilizações rígidas e nas proteções mecânicas e regularizações.

***Os serviços de pavimentação podem ser compostos por pavimentos flexíveis onde ocorrem praticamente todas as técnicas citadas, ou por pavimentos rígidos, onde, geralmente, não ocorrem queimas.

**** O corte com serra manual ou mesmo a quebra podem ocorrer com grande frequência na execução de sistemas prediais, dependendo da técnica empregada. Exemplo: rasgos para embutir tubulações.

4.2.5.1 Alteração na qualidade do ar na obra em LSF

Como já exibido anteriormente na Tabela 29 e já falado sobre as etapas da construção em LSF, é possível perceber que das atividades potencialmente geradoras de MP são as etapas iniciais de fôrma, armação e concretagem.

Outra etapa em que pode ocorrer a emissão de particulados é pela necessidade de corte de placas cimentícias ou de gesso acartonado. A cobertura que na maioria das vezes é feita com material metálico tem pouca significância na emissão de particulados, mas no caso de ser feita com material cerâmico tem grande participação na emissão de material particulado.

Tabela 30 - Mensuração dos impactos causados pela alteração na qualidade do ar na obra em LSF.

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Curta a média (m ₁₁)	As etapas que são potencialmente geradoras de material particulado são mais significativas na fase inicial da fundação.	(w ₁₁) - 1/9	- 4/9
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	Há alteração da qualidade do ar na vizinhança.	(w ₂₂) - 2/9	
	Intensidade (p ₃)	Baixa (m ₁₃)	Poucas atividades são potencialmente geradoras de material particulado.	(w ₁₃) - 1/9	

Parâmetro	Ponderador (p _j)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	O material particulado é gerado em processos pontuais, não acumulando no ar.	(w ₄₄) 0	1/3
	Reversibilidade (p ₅)	Sim (m ₄₅)	O material particulado que fica em suspensão no ar, com o tempo irá sedimentar.	(w ₄₅) 1/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado apenas localmente e a alteração é reversível	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 4/27

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A construção em LSF, devido às características dos materiais de construção utilizados, é uma metodologia que causa poucos impactos relacionados à alteração de qualidade do ar. As atividades potencialmente geradoras de material particulado, estão na etapa de fundação, que é semelhante a todos os métodos construtivos e não característica exclusiva da construção em LSF.

O fato de utilizar painéis de aço na estrutura e paredes, faz com que a quantidade de material particulado seja relativamente pequena. Vale lembrar, que outros fatores que são comuns a outras metodologias, como por exemplo o tráfego de veículos, não foi um fator considerado.

4.2.5.2 Alteração na qualidade do ar na obra em alvenaria convencional

Na alvenaria convencional, a emissão de MP ocorre durante quase toda a execução da obra. Nas fases iniciais, de fôrma, armação e concretagem e também nas fases de alvenaria e revestimento, sendo que estas são atividades com grande potencial de emissão de material particulado. Na fase de acabamento, para realizar a pintura é necessário um desgaste superficial na parede, para que a tinta possa aderir, gerando elevados valores de MP.

As coberturas, sejam elas de madeira com telhas cerâmicas, telhas de concreto ou pétreas, também são fontes mais nocivas quando se trata da emissão de poeira

do que nas construções com material metálico, que neste tipo de metodologia não é utilizado.

Tabela 31 - Mensuração dos impactos causados pela alteração na qualidade do ar na obra em alvenaria convencional.

Parâmetro	Ponderador (p _i)	Mensuração	Justificativa	Peso (w _{kj})	Total
Magnitude (μ)	Duração (p ₁)	Longo prazo (m ₂₁)	Há, durante toda a obra atividades que são potencialmente geradoras de MP.	(w ₂₁) - 2/9	- 2/3
	Extensão (p ₂)	Local (m ₂₂)	Há alteração da qualidade do ar na vizinhança.	(w ₂₂) - 2/9	
	Intensidade (p ₃)	Média (m ₂₃)	Há muitas atividades que geram material particulado na fase da obra.	(w ₂₃) - 2/9	
Importância (Y)	Acumulação (p ₄)	Ausente (m ₄₄)	O material particulado é gerado em processos pontuais, não acumulando no ar.	(w ₄₄) 0	1/3
	Reversibilidade (p ₅)	Sim (m ₄₅)	O material particulado que fica em suspensão no ar, com o tempo irá sedimentar.	(w ₄₅) 1/9	
	Sensibilidade (p ₆)	Parcial (m ₅₆)	O ambiente é afetado apenas localmente e a alteração é reversível	(w ₅₆) 2/9	
Total de significância					- 2/9

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A construção em alvenaria possui atividades potencialmente geradoras de material particulado durante toda a fase da obra. As etapas de fundação, nas alvenarias e nos revestimentos internos e externos são todas potencialmente geradoras de MP.

Este tipo de metodologia, muitas vezes caracterizado pela falta de planejamento, gera um retrabalho na fase de instalações prediais, ao fazer o corte da alvenaria, por consequência gerando poeira.

4.3 Comparação dos impactos ambientais dos métodos construtivos analisados

De acordo com a mensuração feita acima, é possível comparar os impactos analisados nas diferentes metodologias:

Tabela 32 - Comparação dos valores de magnitude, importância e significância dos impactos.

Impactos	<i>Light Steel Frame</i>			Alvenaria Convencional		
	(μ)	(Y)	(σ_i)	(μ)	(Y)	(σ_i)
Consumo de água	-4/9	2/9	- 8/81	-2/3	2/9	- 4/27
Geração de resíduos	-4/9	4/9	- 16/81	-5/9	4/9	- 20/81
Emissão de CO ₂ incorporada à geração de resíduos	-2/3	7/9	- 14/27	-7/9	7/9	- 49/81
Energia embutida nos resíduos	-2/3	5/9	- 10/27	-7/9	5/9	- 35/81
Alteração na qualidade do ar	-4/9	1/3	- 4/27	-2/3	1/3	- 2/9
IGI (n=5)	- 13/47			- 31/91		
IGI (n=5)	- 0,277			- 0,341		

(μ) = magnitude / (Y) = importância / (σ_i) = significância

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com o exposto na Tabela 32 acima, nota-se que os valores de importância dos impactos são iguais nas duas metodologias, visto que os impactos causados ao meio ambiente possuem a mesma importância. Os valores de magnitude variam principalmente devido às características de duração e intensidade do impacto.

Nota-se que o ponderador de intensidade foi diferente para todos os impactos nas duas metodologias construtivas, demonstrando a construção em alvenaria gera impactos mais intensos do que a construção em LSF.

O consumo de água na obra em LSF é feito na fase de fundação ou quando for indicado pelo fabricante para o tratamento das juntas. Já na obra em alvenaria, a água é um recurso que precisa ser utilizado em quase todos os processos da obra, o que faz com além da duração ser maior, a intensidade na qual este recurso é utilizado também aumenta.

A geração de resíduos nas duas metodologias é um fator bem discrepante, já que a construção em alvenaria gera aproximadamente 6,5 vezes mais resíduos do que a construção em LSF.

No que tange a emissão de CO₂ incorporada à geração de resíduos e a energia embutida nos resíduos, o único ponderador que foi diferente nas duas metodologias foi a intensidade.

Já a qualidade do ar teve diferentes valores associados à duração e intensidade, visto que na construção em LSF a quantidade maior de particulados é gerada na fundação, enquanto a metodologia construtiva de alvenaria convencional, desde fundação até a cobertura, possui atividades com potencial de emissão de material particulado.

Sendo assim, diante do acima exposto, a metodologia construtiva que mais se aproxima do limiar superior (1) é a construção em LSF, o que demonstra que, de acordo com o IGI é o método que apresenta menos impactos negativos ou impactos menos significativos ao meio ambiente. Sendo assim o método de construção mais sustentável ao comparar os impactos de consumo de água, geração de resíduos, emissão de CO₂, energia incorporada e alteração na qualidade do ar.

Em todos os impactos analisados, a construção LSF mostrou contribuir com a mitigação dos impactos, por possuírem menor significância, visto que os parâmetros de duração e intensidade são menores quando comparados com os impactos da construção em alvenaria convencional.

O consumo de água é menor, pois a água é utilizada em grande quantidade apenas na etapa de fundação. Por se tratar de uma obra industrializada, os painéis de aço para a montagem da estrutura já são planejados, fazendo que com a taxa

desperdício de materiais seja baixa, diminuindo a geração de resíduos. Como consequência da baixa geração de resíduos, os impactos de energia embutida e CO₂ incorporados à geração de resíduos também é baixa. O fato de utilizar painéis de aço também diminui a emissão de material particulado na obra.

5 CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento deste trabalho, após a aplicação do método do cálculo do IGI, criado por Bressane et al. (2017), foi possível observar que a construção em alvenaria convencional possui um elevado nível de impactos negativos significativos quando comparada com a construção em *Light Steel Frame*.

Através do estudo comparativo das duas metodologias construtivas, pode-se notar que apesar do sistema em *Light Steel Frame* possuir um custo maior em relação ao sistema convencional de alvenaria, apresenta diversos benefícios quando se trata de sustentabilidade, entre eles o tempo de construção, o baixo consumo de água, a racionalização de materiais e, conseqüentemente, a minimização na geração de resíduos.

Mesmo que o método de construção em alvenaria convencional seja economicamente viável e comum nas construções brasileiras, vale citar que o *Light Steel Frame* se apresenta como uma opção sustentável e rápida, por exemplo, na construção de casas populares para suprir o déficit habitacional brasileiro, principalmente em regiões que passam por situações de escassez de água.

Entretanto, vale ressaltar que, para que uma construção em *Light Steel Frame* obtenha o sucesso em termos de sustentabilidade, é necessário um projeto de engenharia e arquitetura que considere todo o sistema para que não haja falhas, já que esta metodologia, por ser um sistema industrializado, não permite improvisações na aplicação das estruturas.

Constatou-se, também, que para que seja alcançada a busca por sustentabilidade, são necessárias ações mais rigorosas em relação aos estudos de impacto de construções, para que sejam expostas as ações mitigatórias dos impactos, já que muitas construções sequer são passíveis de licenciamento ambiental, fazendo com que muitas vezes as construtoras não tomem ações voltadas à preservação do uso de recursos naturais e do meio ambiente.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se que sejam feitas abordagens mais profundas sobre o tema, já que a metodologia em *Light Steel Frame* ainda não é muito difundida no cenário de construções brasileiras e poucos estudos ambientais tratam deste tema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, L. Wood Frame, o que é? Vantagens, desvantagens e características. **IBDA (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura - Fórum da Construção)**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=2283>>. Acesso em: 17 março 2021.

ASPECTOS da Construção Sustentável no Brasil. **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>>. Acesso em: 15 abril 2021.

ASTRA. Conheça os 4 sistemas de construção mais utilizados. **Blog Astra**, 2016. Disponível em: <<https://www.astra-sa.com/destaques/conheca-os-4-sistemas-de-construcao-mais-utilizados/>>. Acesso em: 7 agosto 2021.

BATISTA FILHO, C. A. **Uso de sistema industrializado na construção: adequação e mudança da estrutura convencional para o sistema Light Steel Frame**. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belo Horizonte. 2015.

BRAGA ET AL, B. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª edição. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de modelos de cálculo para projeto de edifícios de paredes de concreto armado moldadas no local**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

BRASIL, I. A. Dados do setor. **Aço Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/site/dados-do-setor/>>. Acesso em: 07 julho 2021.

BRESSANE, A. et al. Construção de um índice global de impacto para análise comparativa aplicada à adequação de empreendimentos irregulares. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 11, p. 111-122, jan/fev 2017.

CARDOSO, F. F.; FIORANI, V. M. A.; DEGANI, C. M. **Impactos ambientais dos canteiros de obras: uma preocupação que vai além dos resíduos**. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construídos: A construção do Futuro. Florianópolis. 2006.

CASSAR, B. C. **Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: Alvenaria convencional x Light Steel Frame**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 2018. 2018.

CBIC. **Construção civil lidera a geração de emprego em 12 estados e fica em segundo lugar em outros seis, no período de janeiro a agosto**. Informativo Econômico. [S.l.]. 2020.

CBIC, C. B. D. C. C. Catálogo de inovação na construção civil, 2016.

CORRÊA, A. P. **Caminhos para adaptação de certificação de qualidade ambiental de edifícios no Brasil: Reflexões**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. D. **Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará**. Intercom - Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação. [S.l.]. 2005.

COSTA, R. V. G. D. **Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2012.

CRASTO, R. C. M. D. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 255. 2005.

DARDENGO, B. C. **Vantagens e Impactos de Certificações Ambientais para a Construção Civil**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017.

DE CRISTO, A. F. I. et al. Reciclagem de resíduos da construção civil: uma abordagem dos gastos necessários à implantação de uma usina recicladora. **XXI Congresso Brasileiro de Custos**, Natal, 17 a 19 novembro 2014.

FARIAS, J. L. **Estudo de viabilidade técnica e econômica do uso do método construtivo Light Steel Framing numa residência unifamiliar de baixa renda**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e exterior**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

FINUCCI, M. **Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos: uma contribuição ao estado da arte no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

FRASSON, K. C.; BITENCOURT, M. **Análise comparativa dos sistemas construtivos alvenaria convencional e light steel frame: um estudo de caso em residência unifamiliar**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão. 2017.

GHINIS, C. P.; FOCHEZATTO, A. Crescimento pró-pobre nos estados brasileiros: análise da contribuição da construção civil usando um modelo de dados em painel dinâmico, 1985-2008. **Economia Aplicada**, v. 17, n. 3, p. 243-266, Setembro 2013.

JUNIOR, D. B. D. S.; BRITO, P. T. **Estudo comparativo dos métodos construtivos de Light Steel Framing e Alvenaria Convencional**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - UniEvagélica. Anápolis/GO. 2018.

LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa**, Guarulhos, v. 3, n. 1, p. 69-84, jan-jun 2014.

LEITE, V. F. **Certificação Ambiental na Construção Civil - Sistemas LEED e AQUA**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

LIMA, W. G. D. **Avaliação do impacto ambiental de residência de alvenaria x steel frame**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Vale do Paraíba. São José dos Campos. 2016.

LP BUILDING PRODUCTS. CES - Construção Energética Sustentável. **LP Brasil**, 2013. Disponível em: <https://www.lpbrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Constru%C3%A7%C3%A3o-CES_PDV.pdf>. Acesso em: 17 março 2021.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos - Aplicação em um sistema estruturado em aço**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

MASS, B. H. **Resíduos de construção civil na obra de uma edificação e seus impactos: estudo de caso de uma residência em Light Steel Framing e simulação de uma em alvenaria**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2017.

MATOS, L. W. D. **Análise dos métodos de redução de emissão de CO2 em uma indústria de cimento**. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. [S.I.], p. 14. 2015.

MELO, V. O. **Viabilidade Construtiva**. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2015.

MILITO, J. A. D. **Técnicas de Construção Civil**. Campinas, p. 295. 2009.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 31, n 2, p143-156. Londrina. 2010.

OBA, M. M. **O projeto de readequação visando a construção mais sustentável no edifício moderno: estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014.

OLIVEIRA, F. C. D.; MOURA, H. J. T. D. **Uso das Metodologias de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará**. Pretexto, v. 10, n. 4. Belo Horizonte. 2009.

OLIVIERI, H. et al. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 45-60, out/dez 2017.

PASTRO, R. Z. **Alvenaria estrutural: sistema construtivo**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco. Itatiba. 2007.

PINTO, T. D. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 1999.

RESENDE, F.; CARDOSO, F. F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/485). São Paulo, p. 23. 2008.

RODRIGUES, L. S. **Certificação Ambiental na Construção Civil: Sistemas LEED e AQUA**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2020.

ROTH, C. D. G.; GARCIAS, C. M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, n. 7, jan./jun 2009. ISSN 13.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impactos Ambientais: Conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. D. Steel Framing: arquitetura. **Manual de Construção em Aço**, Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, n. 2, p. 151, 2012.

SANTOS, L. J. **Light Steel Framing: um estudo do método construtivo e análise da geração de resíduos nos canteiros de obra**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí. 2017.

SENA JÚNIOR, C. A. S.; DO CARMO, L. R. S. **Estudo comparativo em habitações sociais: Alvenaria Convencional x Light Steel Frame**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Instituto DOCTUM de Educação e Tecnologia. Caratinga. 2015.

SILVA, A. C. **Diagnóstico dos impactos ambientais dos resíduos de construção e demolição: subsídios para proposição e avaliação de um modelo de gestão para o município de Frutal - MG**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2017.

SILVA, A. S. D. O. D. **Agricultura familiar no estado de Santa Catarina: Avaliação dos Impactos Ambientais e de Trabalho dos Produtores de Morango**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-graduação em Ciências Ambientais. Palhoça. 2019.

SILVA, M. M. D. A. **Diretrizes para o projeto de alvenaria de vedação**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2003.

SILVEIRA, P. D. S. **O conceito de sustentabilidade aplicado à construção civil**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Candido Mendes, Pós-Graduação "Lato Sensu" - Faculdade Integrada AVM. Rio de Janeiro. 2011.

SOUZA, E. L. D. **Construção civil e tecnologia: estudo do sistema construtivo Light Steel Framing**. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

TAVARES, S. F.; BRAGANÇA, L. Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras. **SBE16 Brazil & Portugal**, Vitória, p. 927 - 936, 2016.

TAYLOR, C. P.; COTE, P. A.; WALLACE, J. W. Design of slender reinforced concrete walls with openings. **ACI Structural Journal**, July 1998.

VEIGA, A. J. P.; VEIGA, D. A. M.; DA MATTA, J. M. B. Densidade demográfica como instrumento de planejamento urbano: Um estudo de caso sobre Vitória da Conquista - BA. **Edições UESB**, 2013.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini: SudusCon, 2009.