

ESTUDO COMPARATIVO DA EMISSÃO DE CO₂ E ENERGIA EMBUTIDA ENTRE ESTRUTURAS EM ALVENARIA E EM *STEEL FRAME*

Hellen Cristina Alves da Silva (IESC/Faculdade Guaraf-FAG) E-mail: hellencristina.alves@hotmail.com

Vitória Ferreira dos Santos (IESC/Faculdade Guaraf-FAG) E-mail: vitoriaferreira131@hotmail.com

Shara Carvalho Lopes (UFSCar/Universidade Federal de São Carlos) E-mail: shara_cl@hotmail.com

Resumo: O presente trabalho aborda um comparativo entre as emissões de CO₂ do sistema construtivo em alvenaria e o sistema estrutural em *Steel Frame*. Tendo em vista que o método construtivo em alvenaria é o mais comum, utilizado nas maiores partes das construções civis, onde utiliza-se concreto armado na superestrutura e alvenaria em seu fechamento, e o método *Steel Frame*, onde é utilizado perfis de aço galvanizado no lugar do concreto armado. Diante disso, foi dissertado sobre cada sistema construtivo, apresentando os materiais que compõem cada sistema no desenvolvimento de uma obra. Posteriormente, desenvolveu-se sobre o dióxido de carbono, explanando os efeitos que sua emissão pode causar na atmosfera e que pode ser calculada através da técnica “pegada de carbono”. Por fim, foi realizado o cálculo da pegada de carbono demonstrando um comparativo da quantidade de CO₂ e o ciclo de vida energético durante o processo construtivo da estrutura do edifício exemplificado, isso para os dois sistemas. Ao final do estudo constatou-se que o sistema construtivo em *Steel Frame* emite menos CO₂ para a atmosfera e tem-se um índice de energia embutida menor, isto em comparação com o sistema construtivo em alvenaria.

Palavras-chave: Pegada de carbono, Análise do ciclo de vida energético, Alvenaria, *Steel Frame*.

COMPARATIVE STUDY OF CO₂ EMISSIONS AND BUILT-IN ENERGY BETWEEN MASONRY AND STEEL FRAME STRUCTURES

Abstract: The present work approaches a comparison between the CO₂ emissions of the construction system in masonry and the structural system in Steel Frame. Considering that the masonry construction method is more common used in most civil constructions, where reinforced concrete is used in the superstructure and masonry in its closing, and the Steel Frame method is less common, where galvanized steel profiles are used instead of reinforced concrete. In view of this, it was lectured on each constructive system presenting the materials that make up each system in the development of a work. Later, he developed about carbon dioxide, explaining the effects that its emission can cause in the atmosphere, which can be calculated using the “carbon footprint” technique. Finally, the calculation of the carbon footprint was carried out, demonstrating a comparison of the amount of CO₂ and the energy life cycle during the constructive process of the exemplified building structure, for the two systems. At the end of the study, it was found that the Steel Frame construction system emits less CO₂ into the atmosphere and has a lower embodied energy index, compared to the masonry construction system.

Keywords: Carbon Footprint, Energy Life Cycle Analysis, Masonry, Steel Frame.

1. Introdução

O termo "desenvolvimento sustentável" tornou-se popular em 1987, com a divulgação do *Relatório Brundtland*, intitulado *Nosso futuro comum*, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (1988), que define o desenvolvimento sustentável como “Um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988). De acordo com Oliveira *et al.* (2018) os principais

componentes deste desenvolvimento são: o crescimento econômico, a proteção ao meio ambiente e a igualdade social. Entretanto, segundo Fonseca e Maintinguer (2018), a construção civil é uma das que mais impactam o meio ambiente devido a grande quantidade utilizada de matéria prima, ao excesso de barulho e a sujeira que é reproduzida, e pela quantidade considerável de resíduos que é gerado.

Segundo Thomas (2019), a energia é um princípio fundamental para o crescimento da população, seja ele social ou econômico, e seu suprimento é uma estratégia fundamental para o contínuo de atividades humanas na sociedade. Portanto, a discussão sobre como minimizar os gastos energéticos bem como políticas governamentais neste sentido passa a ter uma alta relevância atualmente. O autor (THOMAS, 2019) afirma que as edificações apresentam uma parte considerável nas emissões de carbono, o que justifica a questão de urgência e a importância de investigar o ciclo de vida do carbono nas construções, com o intuito de diminuir a emissão de material poluente, substituindo por materiais e sistemas que propagam menores emissões em seu processo de manufatura e aplicação na obra.

Segundo Soares *et al.* (2017) a Agência Internacional de Energia ou International Energy Agency, aponta que os edifícios residenciais e comerciais são responsáveis por cerca de 32% do uso global de energia e quase 10% do total de emissões diretas de CO₂ relacionadas à energia. A racionalização da construção aliada à adoção de materiais de caráter sustentável pode contribuir com a diminuição do efeito estufa, principal agente responsável pelas atuais mudanças climáticas (THOMAS, 2019). Diante disto, foram criadas ferramentas com o objetivo de diminuir emissões de gás carbono e mitigar os danos causados pela ação antrópica aos ecossistemas e à vida no planeta (BRAZ; SILVA, 2021). Segundo Schmitz *et al.* (2020) a Pegada de Carbono é definida como uma totalidade de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), associados, diretamente ou indiretamente, a uma organização, atividade ou produto, no qual os resultados obtidos através da ferramenta traduzem a quantidade de CO₂ ou de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), emitido no ciclo de vida de um produto ou serviço, para um intervalo de tempo previamente definido.

A tecnologia está em processo de inovação recorrente na Indústria da Construção Civil, ocasionando melhora na qualidade das obras, delimitando o tempo e os custos (POTT; EICH; ROJAS, 2017). De acordo com Penning (2018) com a evolução da engenharia civil e a industrialização dos processos construtivos, surgiu o *Steel Frame* que tem como característica a sua tecnologia construtiva limpa, leve, econômica e ágil, que é a utilização de estruturas metálicas compostas por perfis que são formados a frio. Entretanto, Ponciano e Silva (2020) afirmam que o método Construtivo Convencional, constituído de uma superestrutura em concreto armado, ainda é o mais utilizado para a construção de casa unifamiliares. Segundo Cassar (2018) este método possui características pouco vantajosas, com o grande desperdício de material, a falta de padronização da execução do trabalho, dificultando a fiscalização e controle de qualidade dos serviços prestados.

Desta forma, esse trabalho tem por objetivo difundir o conhecimento sobre o sistema construtivo *Steel Frame* e sistema construtivo convencional, visando ressaltar sobre o ciclo de vida energético e a liberação de dióxido de carbono na construção, que causa grande impacto ambiental.

2. Material e Métodos

Neste trabalho, primeiramente foi feita uma pesquisa bibliográfica em artigos dos últimos 5 anos na Scielo e Google Acadêmico para que se pudesse entender como é o processo construtivo entre uma estrutura em alvenaria e *Steel Frame*. Com isso, tendo uma teoria sobre cada sistema de construção foram abordados os principais materiais que serão utilizados na obra.

Foi utilizada uma abordagem descritiva e quantitativa, sendo descrito sobre os sistemas construtivos em estudo, sobre o dióxido de carbono e o ciclo de vida energético, mostrando uma comparação de quantidade de CO₂ e energia embutida em cada modelo estrutural. A finalidade metodológica do trabalho será uma pesquisa pura, onde não solucionaremos o impasse, mas abordaremos sobre.

Para realizar o comparativo foi feita uma planta baixa de uma casa no Autodesk Revit ® (2022), como base para calcular o quantitativo dos materiais que serão utilizados na parte estrutural e de fechamento do edifício.

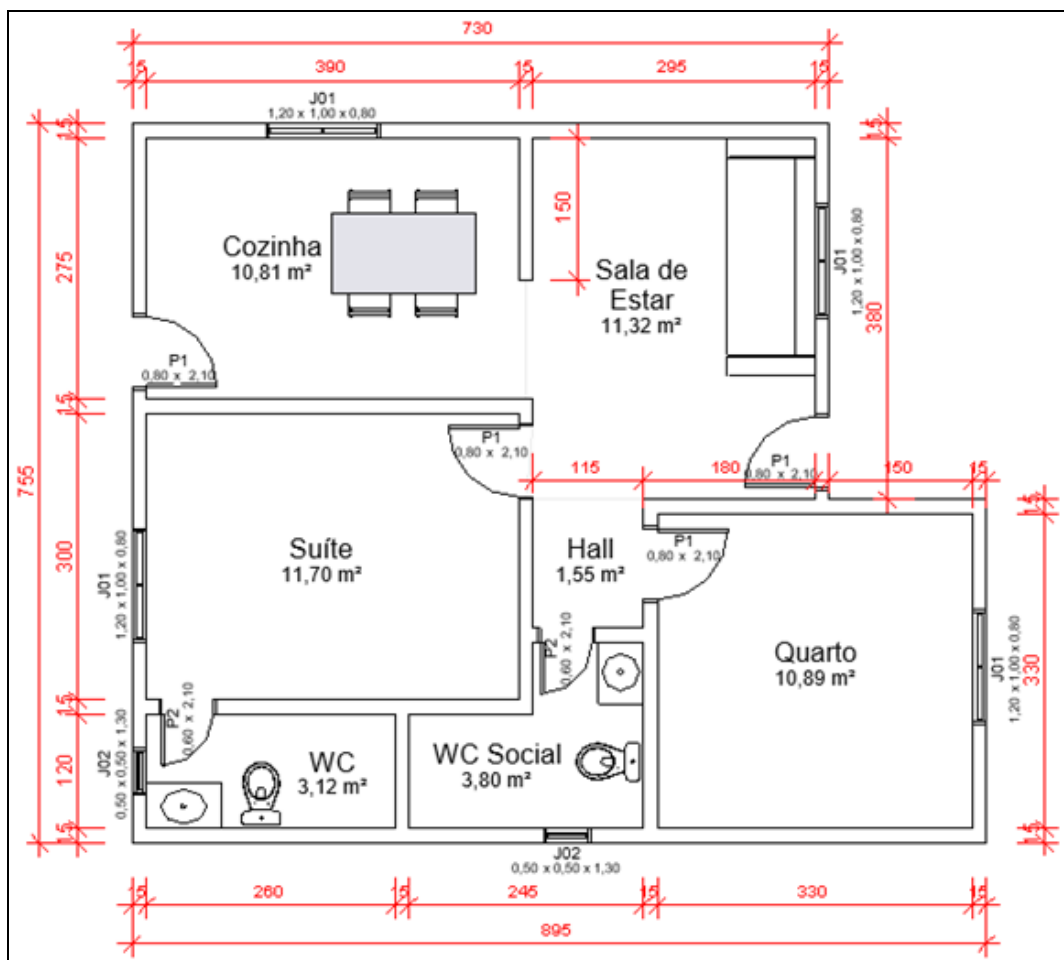


Figura 1. Planta baixa (Autores,2022).

A residência analisada possui 61,06 m² de área, uma casa típica brasileira do século XXI, com um quarto e uma suíte, sala de estar, WC social e uma cozinha. Além disso, tem-se um pé direito de 3,0 m.

3.1. STEEL FRAME

O sistema construtivo *Steel Frame* é um método construtivo que em sua execução, é utilizado o aço. Os painéis estruturais que são feitos com perfis de aço zincado dobrados a frio, são projetados e produzidos como elementos estruturais e após a sua montagem disponibiliza para a edificação resistência mecânica (LIMA, 2018).

Segundo Grubler (2021), uma estrutura de *Steel Frame* compreende-se como um esqueleto estrutural em aço, que é formado por vários elementos individuais que são ligados entre si, passando a funcionar em conjunto para resistir as cargas solicitantes e dando forma à mesma. É possível observar a síntese dos elementos em uma estrutura de *Steel Frame* (Figura 2).

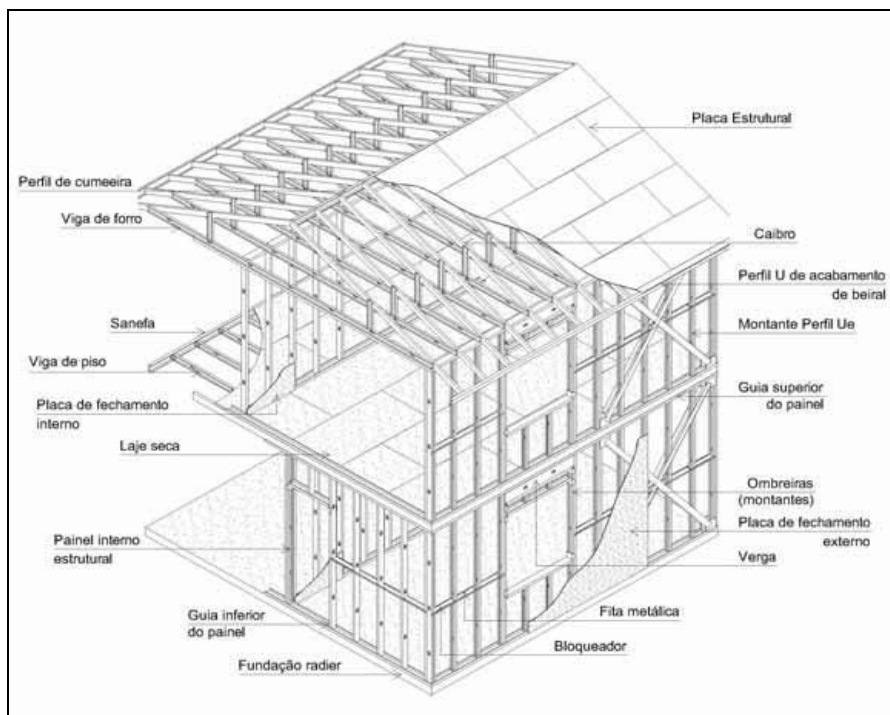


Figura 2. Síntese de elementos do *Steel Frame* (Souza, 2014).

O *Steel Frame* tem como característica a limpeza de canteiro da edificação durante a sua execução, por não utilizar água em nenhum momento da obra e por ser um sistema construtivo offsite. É uma construção seca, que dispensa o uso de concreto e cimento, que são causadores de sujeira. Outro efeito é a sua precisão no quantitativo e material a ser aplicado, devido a sua grande padronização e por ser um sistema industrializado (TEIXEIRA; SIMPLÍCIO, 2018).

2.1.1. Processo construtivo no *Steel Frame* e materiais

Segundo Azevedo (2018) a estrutura do *Steel Frame* tem como vantagem a sua leveza, fazendo com que as solicitações de carregamento sejam reduzidas consideravelmente à fundação, tornando o radier (Figura 3) e a sapata corrida (Figura 4) como melhores opções para fundação.



Figura 3. Fundação Radier (Steel Frame Brasil, 2018).

Segundo Penning (2018) a fundação em radier (Figura 3) consiste em uma laje que abrange em toda a área da edificação com a funcionalidade de transmitir as cargas procedentes da estrutura. Já a sapata corrida, de acordo com Azevedo (2018) é um tipo de fundação na qual são formadas por vigas contínuas de concreto armado com o seu topo reto ou piramidal apoiadas diretamente sobre o solo (Figura 4).

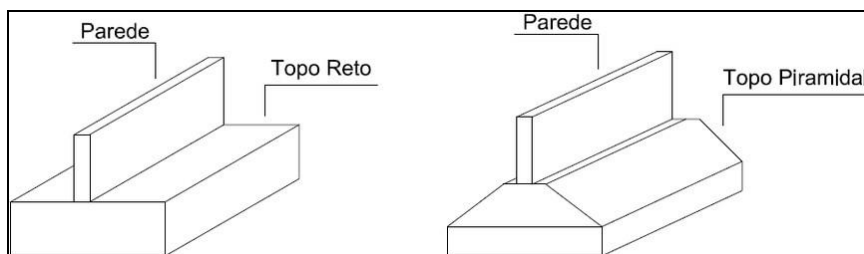


Figura 4. Perspectiva sapata corrida (Azevedo, 2018).

Segundo Paula (2021), para formar a estrutura do *Steel Frame*, é utilizando perfis de aço galvanizado, fazendo a união dos perfis necessitando de fechamento. Carleto e Tonon (2019) afirmam que os painéis são obtidos por chapas que são dobradas a frio, e que quando são estruturais suportam toda a carga solicitante da edificação e quando não são, funcionam como fechamento ou divisória.

De acordo com Azevedo (2018) os perfis de aço, designados montantes, são instalados geralmente de 400 mm ou 600 mm de distância, variando de acordo com o projeto e as solicitações que cada perfil será submetido, conforme a Figura 5.

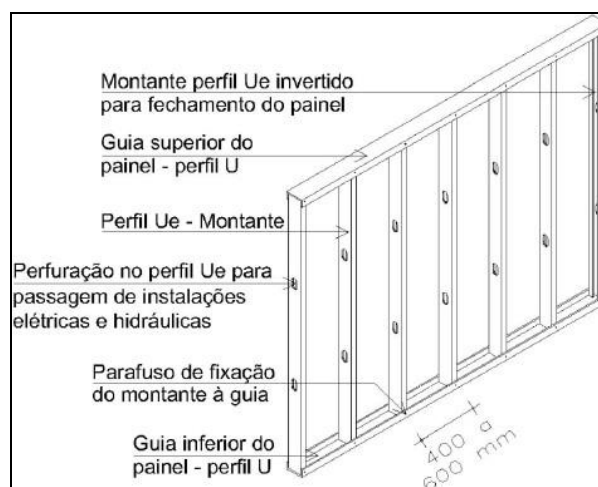


Figura 5. Painel típico em *Steel Frame* (Azevedo, 2018).

Segundo Paula (2021) após finalizar a estrutura metálica, é iniciado o processo de vedação, utilizando inicialmente placas de OSB (*oriented strand board*), que servem como painéis estruturais. De acordo com Penning (2018) as placas em OSB são chapas prensadas de lascas de madeiras que são reflorestadas em camadas, na qual são formadas por tiras orientadas em três camadas cruzadas perpendicularmente, garantindo alta rigidez e resistência mecânica.

Carleto e Tonon (2019) afirmam que na maioria das obras as placas cimentícias são utilizadas externamente e sua utilização é recomendada para áreas molhadas, já o gesso acartonado é recomendado que seja utilizado em ambientes internos integrando no fechamento da estrutura. Os autores ainda afirmam que o *Steel Frame* possui um isolamento termoacústico bom, devido aos materiais utilizados como a lã de vidro, sendo instalada dentro dos painéis.

3.2. SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL

Segundo Firmino (2019) o sistema construtivo convencional é formado por pilares, vigas e lajes de concreto armado, sendo que os seus vãos sejam preenchidos com tijolos cerâmicos para vedação, e o peso da estrutura seja distribuído nos pilares, vigas, lajes e fundações. De acordo com Miola (2019) no sistema construtivo convencional, as fundações recebem as cargas provenientes da superestrutura e distribuem uniformemente para o solo, para que a estrutura não sofra instabilidade e rupturas.

2.1.2. Elementos do sistema construtivo convencional

O concreto é um material constituído por cimento, água e agregados, além de poder contar com aditivos químicos que podem ser inseridos para melhorar ou modificar suas características, apresenta alta resistência à compressão, porém possui uma baixa resistência à tração, limitando sua aplicação (SANTOS; SILVA, 2021). Segundo Ramos (2018) após análises no setor da construção, a fabricação do cimento é a principal emissora dos gases de efeito estufa, além de ser a maior geradora de resíduos e poluidores da água e da atmosfera.

Souza (2021) considera as fôrmas como um conjunto de componentes que tem como função de molde dando forma ao concreto, controlar o concreto até que possua resistência para se suportar sozinho, e proporcionar ao concreto a superfície para textura solicitada. Segundo Freitas *et al.* (2015) as fôrmas podem ser de madeira ou metálicas, onde fôrmas de madeira não possuem padronização, causando muito desperdício dos materiais. Segundo Santos e Silva (2021), a moldagem de um elemento estrutural em concreto armado, é feita através da colocação da armadura de aço dentro das fôrmas, em seguida é lançado o concreto fresco, envolvendo as armaduras e assim preenchendo as fôrmas.

De acordo com Cassar (2018) os blocos cerâmicos são definidos como um componente de alvenaria de um prisma reto, que possui furos cilíndricos ou prismáticos que são perpendiculares às faces que os contém. Segundo Santos e Junior (2018) durante produção dos blocos cerâmicos, são ocasionadas consequências suscitadas pela emissão de CO₂ na atmosfera advinda da queima da argila. Firmino (2019) afirma que a argamassa é o elemento responsável pela ligação entre os blocos cerâmicos, sendo normalmente uma massa homogênea que é constituída por areia, cimento e cal.

3.3. PEGADA DE CARBONO

De acordo com Diffenbaugh e Burke (2019), os impactos ambientais que causam o aquecimento global, as mudanças climáticas, a saúde humana, segurança alimentar, entre outros, estão aumentando cada vez mais. Cerca de 70-80% do consumo das emissões de dióxido de carbono vem das áreas urbanas, e de acordo com o estudo mais de 60% da população mundial provavelmente viverá em cidades até 2050, o que causará mais influência ao impacto ambiental (NAÇÕES UNIDAS, 2019). A forma como a população urbana está crescendo, tanto física quanto economicamente, determina o quanto de impactos ecológicos, sociais e econômicos em todo o mundo, pois os problemas crescem junto com estes (DOU *et al.*, 2021).

A partir da forma que as cidades estão crescendo as construções também vão aumentando igualmente. No processo de construção vêm-se junto os impactos ambientais, como a emissão de dióxido de carbono. Essas emissões acontecem desde a fabricação dos materiais a serem utilizados, que impactam o lugar onde está sendo realizada a produção desses componentes, e essa liberação de CO₂ contribuem para o aquecimento global e mudanças climáticas (CALDAS, 2020). De acordo com as estatísticas, as emissões de dióxidos de carbono na construção civil representam 11% das emissões globais de carbono (DIFFENBAUGH E BURKE, 2019). Contudo, é possível calcular o quanto de CO₂ será transmitido durante a execução de um serviço ou produto, este cálculo é conhecido como “cálculo da pegada de carbono”.

Este cálculo é realizado através dos materiais que são utilizados na obra. Primeiro é feito um quantitativo de materiais que vão ser necessários para a realização do projeto, em seguida é realizada a conversão do kg de cada elemento para kg de dióxido de carbono, e assim se obtém uma quantidade aproximada do quanto de CO₂ foi circulada para se obter a finalização de uma estrutura (CALDAS, 2020). Diante disso, dispõem-se através da Tabela 1 os fatores de conversão de dióxido de carbono de cada material de construção.

Tabela 1 – Fator de conversão tCO₂

Materiais	Unidade	Valor
Gesso (placas)	tCO ₂ /m ³ produto	0,766
Madeira para HDF, MDF, MDP e OSB	tCO ₂ /m ³ produto	0,331
Aço	tCO ₂ /t produto	1,845
Argamassa	tCO ₂ /t produto	0,137
Cerâmica (revestimento)	tCO ₂ /t produto	0,187
Cerâmica (telhas e tijolos)	tCO ₂ /t produto	0,111
Concreto	tCO ₂ /t produto	0,184
Vidro	tCO ₂ /t produto	0,844
Agregados (grãos e miúdos)	tCO ₂ /t produto	0,086
Cimento	tCO ₂ /t produto	0,652
Lã de vidro	tCO ₂ /Kg produto	1,350
Placa cimentícia	tCO ₂ /t produto	0,491

Fonte: modificada Costa, 2012; ICE, 2008; Marcos, 2015

Esses dados foram apurados desde a extração dos materiais (mineração) até que o produto esteja pronto para sair do portão da fábrica, ou seja, neste sistema são incluídos todos os procedimentos até mesmo o transporte utilizado, com isso é computado o valor de CO₂ de cada produto (HAMMOND E JONES, 2011). Diante disso, a Tabela 1 pode ser comumente utilizada para realizar os cálculos na fase operacional da execução do projeto.

3.4. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO

Esta análise se define pela quantidade de energia que é necessário para fazer algum produto ou serviço, ou seja, tudo que fazemos hoje em dia requer o uso de energia, então o ciclo de vida energético estuda o quanto de energia, seja qual for, é envolvida em alguma atividade (PATRÍCIO, 2019). Logo, ainda de acordo com a autora, pensando em uma construção de uma casa, os materiais que envolvidos nesse processo passam por muitas fases até chegar em uma loja de materiais de construção como, as variedades de materiais primas que precisam ser extraídas, equipamentos e máquinas que são utilizados para fazer os produtos para uma obra, e nisso usa-se muita energia.

Diante disso, sabe-se que é perdida bastante energia durante a fabricação de um produto, como energia nuclear e eletricidade fotovoltaica (SILVA, 2014). Um conceito que flui na análise do ciclo de vida energético é o canibalismo de energia, que se trata de um efeito quando se tem um rápido crescimento de uma indústria que consome muita energia, tal que se faz necessário canibalizar a energia de usinas existentes (SILVA, 2014). Contudo, para se calcular a energia embutida em uma edificação é preciso utilizar os fatores de conversões de cada material contidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Fator de conversão da Energia Embutida (MJ/unidade)

Materiais	Unidade	Valor
Placa de gesso acartonado (2,40m x 1,20m x 12,5mm)	peças	50,90
Placas OSB (1,20m x 2,40m x 10mm)	peças	1,30
Aço	kg	31,00
Argamassa	kg	4,30
Cerâmica (telhas e tijolos)	peças	23,20
Concreto	m ³	13.862,30
Cimento	kg	4,20
Lã de vidro	kg	19,00
Placa cimentícia	peças	243,90
Madeira	m ³	0,50

Fonte: modificada Junior, 2012; Tavares, 2006

Os dados apresentados foram apurados desde a extração dos materiais até a retirada do produto da fábrica, sendo assim, neste sistema são incluídos todos os seus processos. Diante disso, a energia embutida de cada material foi quantificada através da análise do ciclo de vida energético, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 2.

3. Resultados e Discussões

3.5. DIÓXIDO DE CARBONO

Com os dados necessários foi possível calcular a quantidade em cada sistema construtivo. Diante disto, a Tabela 3 apresenta os resultados do quantitativo da emissão de dióxido de carbono de cada material no sistema construtivo convencional.

Tabela 3 – Sistema construtivo convencional (Dióxido de carbono)

Materiais	Unidade	Quantidade	Fator de conversão	tCO ₂
Concreto	t	14,398	0,184	2,649
Fôrma de madeira (pilar)	m ³	0,990	0,331	0,328
Aço	t	0,147	1,845	0,271
Fôrma de madeira (viga)	m ³	4,163	0,331	1,378
Argamassa de assentamento	t	2,688	0,137	0,368
Blocos cerâmicos	t	9,032	0,111	1,003
Total				5,997

Fonte: Autores, 2022

Diante da quantidade de materiais calculadas foi feita a conversão de cada produto para tCO₂ com os fatores de conversões contido na Tabelas 1, chegando no total de 5,997 toneladas de dióxido de carbono emitidas através do somatório das emissões para a fabricação desses materiais, uma quantidade bem significativa.

Tabela 4 – Sistema construtivo em *Steel Frame* (Dióxido de carbono)

Materiais	Unidade	Quantidade	Fator de conversão	tCO ₂
Estrutura de aço	t	0,141	1,845	0,260
Gesso acartonado	m ³	2,220	0,766	1,700
Placa cimentícia	t	0,032	0,491	0,016
Placa OSB	m ³	0,940	0,331	0,311
Lã de vidro	kg	0,669	1,350	0,903
Total				3,190

Fonte: Autores, 2022

Usando o mesmo método de cálculo no sistema construtivo convencional, na Tabela 4 emitiu-se 3,190 toneladas de dióxido de carbono no sistema estrutural em *Steel Frame*. Diante disso, foi possível observar que a estrutura em *Steel Frame* gerou menos CO₂ do que na estrutura em alvenaria, tendo uma diferença de 2,807 toneladas de CO₂, chegando a conclusão de que na fase de fabricação dos materiais de uma construção, o *Steel Frame* polui menos a atmosfera em questão de emissões de CO₂, cerca de 46,81% de diferença em relação ao sistema construtivo convencional.

3.6. ENERGIA EMBUTIDA

Com os fatores de conversão de cada material de construção da Tabela 2, foi possível calcular a quantidade de energia embutida na fase estrutural da casa, multiplicando a quantidade de material pelo Fator de conversão.

Tabela 5 – Sistema construtivo convencional (Energia embutida)

Materiais	Unidade	Quantidade	Fator de conversão	EE (MJ)
Concreto	m ³	3,916	13.862,30	54.284,767
Fôrma de madeira (pilar)	m ³	0,990	0,50	0,495
Aço	kg	146,88	31,00	4.553,28
Fôrma de madeira (viga)	m ³	4,163	0,50	2,082
Argamassa de assentamento	kg	2.688	4,30	11.558,40
Blocos cerâmicos	peças	4.014	23,20	93.124,80
Total				163.523,824

Fonte: Autores, 2022

Diante do resultado, na estrutura em alvenaria é possível observar uma quantidade muito grande de energia embutida em mega joules, no total de 163.523,824, em destaque o concreto e o bloco cerâmico, como sendo os materiais com os valores significativos em relação ao valor total.

Tabela 6 – Sistema construtivo em *Steel Frame* (Energia embutida)

Materiais	Unidade	Quantidade	Fator de conversão	EE (MJ)
Estrutura de aço	kg	141,24	31,00	4.378,44
Gesso acartonado	peças	102,78	50,90	5.231,502
Placa cimentícia	peças	34,38	243,90	8.385,282
Placa OSB	peças	34,38	1,30	44,694
Lã de vidro	kg	0,669	19,00	12,711
Total				18.052,629

Fonte: Autores, 2022

De acordo com a Tabela 6, foi chegou-se a um resultado de 18.052,629 Mega Joules de energia embutida na estrutura em *Steel Frame*. Diante disso, foi possível observar que a estrutura em *Steel Frame* gerou menos energia embutida do que a estrutura em alvenaria, tendo uma diferença de 145.471,195 MJ ou seja, a diminuição de energia embutida do *Steel Frame* em relação a alvenaria é em torno de 88,96%.

4. Conclusão

Como foi observado, foram apresentados sistemas construtivos com seus respectivos métodos construtivos e materiais que foram comparados para a obtenção de resultados quanto às emissões de CO₂ e Energia Embutida em cada um desses sistemas.

Quanto a emissão de CO₂ sendo um dos grandes problemas ambientais, os resultados obtidos pelo cálculo de pegada de carbono das emissões de CO₂ a atmosfera, mostraram que, tem-se potencializado no sistema construtivo em alvenaria em comparação com a estrutura em *Steel Frame*. Já nos resultados no cálculo da Energia Embutida os resultados obtidos mostram que o sistema construtivo em alvenaria consome mais energia durante a fabricação de seus materiais do que na estrutura em *Steel Frame*.

Por fim, pode-se concluir que, o sistema construtivo *Steel Frame* possui um melhor desempenho ambiental se comparado ao sistema construtivo em alvenaria, uma vez que, gera menos poluentes e resíduos ao meio ambiente.

Referências

ACAMONPLACE. *Calcule sua obra de light steel frame*. Disponível em: <https://calculadora.acamonplace.com.br/index?sessao=1>. Acesso em: 27 de abril de 2022.

AZEVEDO, Maciel Barbosa de. *Light steel framing: análise estrutural e dimensionamento de uma edificação de habitação de interesse social*. Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília. Brasília-DF, 2018.

BRAZ, Sofia Negri; SILVA, Luiz Henrique Vieira. *Pegada de carbono: uma análise bibliométrica*. Artigo. 2021. Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade. Campinas-SP, 2021.

CALDAS, Lucas Rosse. *Como calcular a pegada de carbono de uma edificação*, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/943023/como-calculer-a-pegada-de-carbono-de-uma-edificacao>. Acesso em: 07 de maio de 2022.

CAMPOS, Patricia Farrielo de; LARA, Arthur Hunold. *Sistemas construtivos alternativos para habitações populares.* Universidade de São Paulo, 2012. 15 p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO(CMMAD). *Nosso futuro comum Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas,* 1988.

CARLETO, Marina; TONON, Patrícia. *Estudo da viabilidade do sistema light steel frame para edificações residenciais.* Artigo. 2019. Universidade de Araraquara. Araraquara-SP, 2019.

CASSAR, Bernardo Camargo. *Análise comparativa de sistemas construtivos para empreendimentos habitacionais: alvenaria convencional x light steel frame.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2018.

DIFFENBAUGH, NS; BURKE, M. *O aquecimento global aumentou a desigualdade econômica global.* Anais da Academia Nacional de Ciências, 2019.

FIRMINO, Adamis Kaike da Silva. *Análise comparativa orçamentária dos sistemas construtivos alvenaria convencional, alvenaria estrutural e light steel frame.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2019. Centro Universitário CESMAC. Maceió-AL, 2019.

FONSECA, Maria Julia M.; MAINTINGUER, Sandra I. *Aplicação da logística reversa na construção civil como mecanismo ambiental sustentável em políticas públicas.* Artigo. 2018. Brazilian Journal of Development.

FREITAS et al. *Sistemas de fôrma para estruturas de concreto armado: estudo de caso com utilização de fôrma metálica perdida.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2015. Faculdade Capixaba da Serra. Serra-ES, 2015.

GILLES, Enrique; ORTIZ, Mateo. *Oportunidades para redução da pegada de carbono da cidade por meio da mudança da fonte de importações: o caso de bogotá.* Revista Recursos, Conservação e Reciclagem, 2021.

GRUBLER, Taleson Huppes. *Estudo comparativo entre os métodos construtivos light steel frame, alvenaria convencional e alvenaria estrutural.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2021. Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Ijuí-RS, 2021.

HAMMOND, Geoffrey; JONES, Craig. *The Inventory of Carbon and energy (ICE).* Universidade de Bath, 2011.

LIMA, Tomás. *Construção a seco: características, vantagens e desvantagens.* Sienge. 2018. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-a-seco/>. Acesso em: 28 de abril de 2022.

MATEUS, João; ISELEY, Tom. *Como a tecnologia sem valas torna a construção de dutos mais ecológica? Uma análise abrangente da pegada de carbono e do consumo de energia.* Revista Jornal de Produção Mais Limpa, 2020.

MIOLA, André João. *Comparativo de custos de sistemas construtivos: convencional, steel frame e alvenaria estrutural.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo-PR, 2019.

NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Sociais. 2019. *Perspectivas da urbanização mundial,* A revisão de 2018 (ST/ESA/SER.A/420) ed. Nações Unidas, Nova York, 2019.

OLIVEIRA, Ana Luiza de; SOARES, Joice Pozenato; D'AVILA, Paulo Renato. *Sustentabilidade na construção civil: possibilidades de efetivação por meio do reaproveitamento de água.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. Faculdade Doctum. Juiz de Fora-MG, 2018.

PATRÍCIO, Izabella Faria. *Análise comparativa das emissões de CO₂ entre edificações de alvenaria convencional e alvenaria Steel Frame.* 2019. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis/GO, 2019.

PAULA, Blenon Yago dos Santos. *Steel frame: sua utilização em território brasileiro.* Artigo. 2021. Repositórios de Trabalhos de Conclusão de Curso.

PENNING, Neifer Rodrigues. *Os sistemas construtivos light steel framing e alvenaria em concreto armado executadas in loco adotado em habitações populares.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. Anhanguera Pelotas. Pelotas-RS, 2018.

PEREIRA, Caio. *Cálculo da quantidade de tijolos.* Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/calculo-da-quantidade-de-tijolos/>. Acesso em: 27 de abril de 2022.

POMPONI, Francesco; ANDRÉ, Stephanb. *Pegadas de água, energia e dióxido de carbono do setor de construção: um estudo de caso sobre economias desenvolvidas e em desenvolvimento.* Revista Water Research, 2021.

PONCIANO, Ana Paula da Silva; SILVA, Giovanna Lyssa. *Estudo comparativo entre sistemas de construção de alvenaria convencional e monolite.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2020. Faculdade Evangélica De Goianésia. Goianésia-GO, 2020.

POTT, Luana Mariana; EICH, Monique Costa; ROJAS, Fernando Cuenca. *Inovações tecnológicas na construção civil.* In: XXII Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. Redes e territórios. Universidade de Cruz Alta, UNICRUZ. Cruz Alta – RS. 2017.

RAMOS, Valéria Mayumi Kushima. *Avaliação do ciclo de vida dos materiais de uma habitação de interesse social em alvenaria convencional, light steel framing e light wood Framing.* Dissertação. 2018. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2018.

SANTOS, Elaine Cristina Oliveira Batista; JÚNIOR, Juliano Moura Chaves Júnior. *Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos. Estudo de caso: tijolos ecológicos comparados a tijolos cerâmicos.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. UNIEVANGÉLICA. Anápolis-GO, 2018.

SANTOS, Lucas Moreira; SILVA, Rafael Fernandes de Melo. *Análise comparativa entre os sistemas construtivos: drywall e alvenaria convencional.* Artigo. 2021. Repositório Universitário da Ânima.

SCHMITZ, Anelise; LIBRAGA, Juliano; SATTLER, Miguel Aloysio. *Pegada energética e a pegada de carbono da municipalidade de feliz/rs.* Artigo. 2020. Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais. Porto Alegre-RS, 2020.

SILVA, Jônatas. *Análise do ciclo de vida energético,* 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/249090274/Analise-Do-Ciclo-de-Vida-Energetico>. Acesso em: 18 de junho de 2022.

SOARES et al. *Energy efficiency and thermal performance of light steel structure (LSF) construction: A review.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 78, p. 194-209, 2017.

SOUZA, Maria Sílvia Santos Ressurreição. *Estudo comparativo de viabilidade econômica para construção de residência unifamiliar: estudo de caso para alvenaria convencional x light steel frame.* Monografia. 2021. o Centro Universitário Maria Milza. Governador Mangabeira-BA, 2021.

SOUZA, Thais Camila de. *O uso do light steel frame na construção civil como forma de minimizar os impactos ambientais urbanos.* 2017. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo/PR, 2017.

TEIXEIRA, Lucas Alves Silva, SIMPLICIO, Maria da Conceição Azevedo. *A Modernização da Construção Civil Através do Uso do Steel Frame.* Artigo. 2018. Revista Boletim do Gerenciamento, v. 2, n. 2, out. 2018.

THOMAS, Pedro Augusto. *Comparativo da emissão de carbono entre o sistema de alvenaria convencional em relação ao sistema steel frame utilizando aço verde.* Trabalho de Conclusão de Curso. 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo-PR, 2019.