UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

MURILO ROOSEVELT HICHUKI

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA ANÁLISE COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO ENTRE LIGHT STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL

PONTA GROSSA
2026

MURILO ROOSEVELT HICHUKI

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA ANÁLISE COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO ENTRE LIGHT STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Maria Magdalena Ribas Döll

PONTA GROSSA

2026

MURILO ROOSEVELT HICHUKI

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA ANÁLISE COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO ENTRE LIGHT STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ponta Grossa, 23 de outubro de 2026.

_____

Prof.ª Dr.ª Maria Magdalena Ribas Döll

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

_____

Prof. Me. Cleyton Cristiano Crovador

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

_____

Eng. Civil Flávio Pacholok

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

RESUMO

A construção civil está associada a diversos impactos ambientais, decorrentes do consumo de recursos naturais e de energia, bem como da geração de emissões e resíduos. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de ferramentas capazes de auxiliar na avaliação do desempenho ambiental de diferentes métodos construtivos. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um aplicativo computacional para a avaliação comparativa dos impactos associados aos sistemas *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional, aplicada em um estudo de caso de uma edificação residencial. Inicialmente, foi estruturado um modelo de cálculo em *Microsoft Excel*, contemplando os quantitativos de materiais, a metodologia de cálculo e os respectivos coeficientes ambientais. Com base nessa estrutura, desenvolveu-se o aplicativo ImpactaBuild, destinado ao processamento e à comparação de indicadores relacionados à energia incorporada, às emissões de dióxido de carbono e à geração de resíduos. Como resultados do desenvolvimento da ferramenta, destacam-se a sua validação computacional com equivalência numérica frente à planilha de referência (diferença máxima de 0,014%), a automatização dos cálculos, a funcionalidade de simulação de arranjos construtivos híbridos e a geração automatizada de relatórios técnicos. A aplicação da ferramenta no estudo de caso demonstrou sua eficiência prática, quantificando o desempenho dos sistemas e evidenciando a vantagem ambiental do sistema Light Steel Frame em relação à Alvenaria Convencional em todos os indicadores analisados, além de permitir serem verificadas diferentes configurações construtivas. Dessa maneira, o trabalho apresenta uma ferramenta que se mostrou eficiente para suporte à tomada de decisões nas etapas de concepção e definição de métodos construtivos.

Palavras-chave: Construção civil; Sustentabilidade; *Light Steel Frame*; Impactos ambientais; Aplicativo computacional.

ABSTRACT

The construction industry is associated with several environmental impacts resulting from the consumption of natural resources and energy, as well as the generation of emissions and waste. In this context, the development of tools capable of assisting in the assessment of the environmental performance of different construction methods becomes relevant. This study aims to develop a computational application for the comparative assessment of the impacts associated with the Light Steel Frame and Conventional Masonry systems, applied in a case study of a residential building. Initially, a calculation model was structured in Microsoft Excel, covering material quantities, the calculation methodology, and the respective environmental coefficients. Based on this structure, the ImpactaBuild application was developed for processing and comparing indicators related to embodied energy, carbon dioxide emissions, and waste generation. The results of the tool's development include its computational validation, with numerical equivalence in comparison to the reference spreadsheet (maximum difference of 0.014%), calculation automation, the functionality to simulate hybrid construction arrangements, and the automated generation of technical reports. The application of the tool in the case study demonstrated its practical efficiency, quantifying the performance of the systems and highlighting the environmental advantage of the Light Steel Frame system over Conventional Masonry in all indicators analyzed, in addition to allowing different construction configurations to be assessed. Thus, this study presents a tool that has proven to be efficient in supporting decision-making during the stages of conception and definition of construction methods.

Keywords: Construction industry; Sustainability; Light Steel Frame; Environmental impacts; Computational application.

A todos que estiveram ao meu lado nesta jornada e ao meu eu do futuro, para que nunca se esqueça de onde veio. Sempre valorize quem esteve ao seu lado, e nunca deixe de buscar o próximo passo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada em minha vida seria possível. Foi a Sua presença em minha caminhada desde o início, que sempre me manteve firme e preparado para enfrentar tudo o que viesse pela frente.

Agradeço à minha orientadora, professora Maria Magdalena, por todo o auxílio ao longo deste trabalho, desde a concepção das primeiras ideias até as orientações, conversas e contribuições que não apenas ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa, mas também ampliaram meu pensamento crítico. Agradeço, ainda, por todo o acolhimento desde o primeiro dia, quando pedi que me orientasse e pela dedicação ao longo de todo este processo.

Agradeço à minha família, especialmente à minha mãe, Luciane, e ao meu pai, Roosevelt. Além de terem me dado a vida, foram eles que me proporcionaram cada oportunidade que tive e me deram as condições para chegar até aqui. Agradeço por cada dia em que pude seguir minha caminhada com tranquilidade, sabendo que sempre teria com quem contar, por todo o esforço que fizeram para me proporcionar o melhor que podiam e, principalmente, por nunca descansarem enquanto não tivessem a certeza de que eu estava bem. Esta conquista também é de vocês.

Agradeço também à minha namorada, Flávia, que esteve comigo desde o início da graduação até a conclusão desta etapa de nossas vidas. Ela foi meu porto seguro em diversas situações em que precisei, esteve ao meu lado nos momentos bons e difíceis, e nunca deixou de me incentivar em cada passo dessa caminhada. Ter você ao meu lado durante todos esses anos tornou essa trajetória muito mais leve e especial.

Por fim, agradeço ao meu irmão, Pedro, que apesar das nossas diferenças, sempre esteve presente, e da sua maneira, procurou ser um bom companheiro durante essa jornada.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado. Esta conquista carrega um pouco de cada pessoa que esteve ao meu lado e contribuiu de alguma forma, para que eu chegasse até aqui.

We choose to go to the Moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard.

(John F. Kennedy)

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de CO_2 do setor da construção civil (2022) 20

Figura 2 - Página inicial do SIDAC 22

Figura 3 - Diagrama do ciclo de vida dos materiais: do berço ao túmulo 23

Figura 4 - Princípios da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) 27

Figura 5 - Esquema técnico de parede externa em Light Steel Frame 31

Figura 6 - Esquema técnico de parede interna em Light Steel Frame 31

Figura 7 - Detalhamento da cobertura do sistema Light Steel Frame 32

Figura 8 - Esquema estrutural do sistema de alvenaria convencional 33

Figura 9 - Detalhamento do revestimento em argamassa na alvenaria convencional 34

Figura 10 - Fluxograma da análise ambiental da residência modelo 41

Figura 11 - Modelagem 3D da Casa Orlando usada como residência modelo 43

Figura 12 - Corte A da edificação modelo do estudo de caso 43

Figura 13 - Planta baixa da residência modelo utilizada 44

Figura 14 - Visualização 3D do lançamento estrutural da edificação modelo 47

Figura 15 - Aba de quantitativos dos materiais na planilha de base 50

Figura 16 - Aba de coeficientes ambientais dos materiais na planilha de base 51

Figura 17 - Aba de processamento dos dados na planilha de base 53

Figura 18 - Gráficos da saída dos dados na planilha de análise ambiental 55

Figura 19 - Fluxograma de utilização do aplicativo 56

Figura 20 - Tela inicial do Google AI Studio no desenvolvimento do aplicativo 58

Figura 21 - Tela de apresentação da edificação analisada e inclusão de informações iniciais 60

Figura 22 - Aba de inserção dos coeficientes ambientais do aplicativo 61

Figura 23 - Central de anexos PDF do aplicativo 62

Figura 24 - Tela de cadastramento de novos materiais do App 63

Figura 25 - Tela de inserção de quantitativos do aplicativo 64

Figura 26 - Aba de criação de composições construtivas no aplicativo 66

Figura 27 - Gráfico comparativo da Energia Incorporada entre os sistemas construtivos 71
Figura 28 - Gráficos da Energia Incorporada por etapas dos sistemas construtivos 72
Figura 29 - Gráfico comparativo das Emissões de CO_2 entre os sistemas construtivos 73
Figura 30 - Gráficos de Emissões de CO_2 por etapas dos sistemas construtivos 74
Figura 31 - Gráfico comparativo da Geração de Resíduos entre os sistemas construtivos na obra 75
Figura 32 - Gráficos de Geração de Resíduos por etapas dos sistemas construtivos 76
Figura 33 - Visão geral da aba inicial do aplicativo com os valores totais e o gráfico comparativo dos indicadores ambientais 77
Figura 34 - Resultados apresentados pelo aplicativo para a composição híbrida criada 78

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de energia incorporada para diferentes materiais 25

Tabela 2 - Coeficientes de emissão de CO_2 para diferentes materiais 27

Tabela 3 - Coeficientes de geração de resíduos para os diferentes materiais analisados neste trabalho 30

Tabela 4 - Composição construtiva do Light Steel Frame 46

Tabela 5 - Composição construtiva da alvenaria convencional 46

Tabela 6 - Tabela de quantitativos do estudo de caso no sistema de Alvenaria Convencional 48

Tabela 7 - Tabela de quantitativos do estudo de caso no sistema Light Steel Frame 49

Tabela 8 - Unidades utilizadas para cada indicador ambiental 54

Tabela 9 - Correspondência entre a planilha de base e o aplicativo gerado 59

Tabela 10 - Comparativo para verificação do aplicativo quanto aos indicadores ambientais calculados. 70

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AQUA	Alta Qualidade Ambiental (Certificação Ambiental brasileira)
cCO_2	Coeficiente de emissão de dióxido de carbono
cEI	Coeficiente de energia incorporada
cGR	Coeficiente/percentual de perda para geração de resíduos
CO_2	Dióxido de carbono
ECO_2	Emissões de dióxido de carbono
EDGE	*Excellence in Design for Greater Efficiencies* (Certificação Ambiental)
EI	Energia incorporada
EPD	*Environmental Product Declaration* (Declaração Ambiental de Produto)
EPR	*Extended Producer Responsibility* (Responsabilidade Estendida do Produtor)
fc	Coeficiente de conversão para massa, específico de cada material
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GR	Geração de resíduos
ISO	*International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização)
ISSN	*International Standard Serial Number* (Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas)
kg	Quilogramas
$kgCO_2e$	Quilogramas de CO_2 equivalente
$kgCO_2e/kg$	Quilogramas de CO_2 equivalente por quilograma de material
LEED	*Leadership in Energy and Environmental Design* (Certificação Ambiental)
LSF	*Light Steel Frame* (Sistema construtivo em perfis de aço leve)
m^2	Metros quadrados
m^3	Metros cúbicos
MJ	Megajoules (Unidade de energia)

MJ/kg Megajoules por Quilograma

OSB *Oriented Strand Board* (Painel de madeira reconstituída)

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Q Quantidade de material em kg

RU Resistente à Umidade (Tipo de placa de gesso)

SDG/ODS *Sustainable Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)

SIDAC Sistema de avaliação de desempenho ambiental de materiais da construção civil

ST *Standard* (Tipo de placa de gesso)

UEPG Universidade Estadual de Ponta Grossa

UNEP *United Nations Environment Programme* (Programa Ambiental das Nações Unidas)

UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15

1.1 JUSTIFICATIVA..... 17

1.2 OBJETIVOS..... 17

1.2.1 Objetivo geral..... 17

1.2.2 Objetivos específicos..... 17

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 19

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL..... 19

2.1.1 Abordagem sobre sustentabilidade aplicada à construção civil..... 19

2.1.2 Impactos ambientais da construção civil..... 20

2.2 INDICADORES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL..... 21

2.2.1 Fontes dos coeficientes de impactos ambientais..... 21

2.2.2 Energia incorporada aos materiais..... 22

2.2.3 Emissões de CO_2..... 25

2.2.4 Geração de resíduos na construção civil..... 27

2.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS ESTUDADOS NESTE TRABALHO..... 30

2.3.1 Sistema construtivo em Light Steel Frame..... 30

2.3.2 Sistema construtivo em alvenaria convencional..... 33

2.3.3 Comparação técnica simplificada entre sistemas..... 35

2.4 COMPARAÇÃO AMBIENTAL ENTRE O LIGHT STEEL FRAME E A ALVENARIA CONVENCIONAL..... 36

2.4.1 Principais impactos ambientais dos sistemas construtivos..... 36

2.4.2 Vantagens, limitações e aplicabilidade dos sistemas construtivos..... 37

3 METODOLOGIA..... 40

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO..... 40

3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO..... 42

3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS DO ESTUDO..... 44

3.3.1 Coeficientes ambientais..... 45

3.3.2 Levantamento quantitativo dos materiais..... 45

3.3.2.1 Quantitativos da Alvenaria Convencional..... 47

3.3.2.2 Quantitativos do Light Steel Frame..... 48
3.4 DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS NA PLANILHA DE BASE.... 49
3.4.1 Estrutura da planilha de base..... 49
3.4.2 Conversão dos quantitativos para massa..... 51
3.4.3 Cálculo dos indicadores ambientais..... 52
3.4.3.1 Energia incorporada..... 53
3.4.3.2 Emissões de dióxido de carbono (CO_2)..... 54
3.4.3.3 Geração de resíduos da construção civil..... 54
3.4.4 Critérios de análise do estudo..... 55
3.5 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO DE ANÁLISE AMBIENTAL... 55
3.5.1 Concepção do aplicativo..... 56
3.5.2 Implementação do aplicativo..... 57
3.6 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO APLICATIVO NO ESTUDO DE CASO. 59
3.6.1 Processamento e validação da ferramenta..... 59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 61
4.1 ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO..... 61
4.1.1 Identificação do projeto..... 61
4.1.2 Banco de materiais e coeficientes..... 62
4.1.3 Inserção dos quantitativos..... 64
4.1.4 Processamento dos indicadores..... 65
4.1.5 Visualização dos resultados..... 66
4.1.6 Simulação de soluções híbridas..... 66
4.1.7 Geração de relatório..... 67
4.2 FUNCIONALIDADES E VERIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DO APLICATIVO IMPACTABUILD..... 68
4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA NO ESTUDO DE CASO..... 69
4.3.1 Análise da energia incorporada e distribuição por etapas..... 69
4.3.2 Emissões de dióxido de carbono entre os sistemas construtivos..... 72
4.3.3 Resultados das estimativas de geração de resíduos..... 73

4.3.4 Visão consolidada e aba inicial do aplicativo..... 76
4.4 SIMULAÇÃO DE COMPOSIÇÕES HÍBRIDAS..... 76
4.5 APLICABILIDADE E AS LIMITAÇÕES DO APLICATIVO DESENVOLVIDO..... 78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 82
APÊNDICE A - RELATÓRIO GERADO PELO APP DA COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DO ESTUDO DE CASO……...91
APÊNDICE B - RELATÓRIO GERADO PELO APP DA COMPOSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA COMO EXEMPLO DA FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO……..96
ANEXO A - CARTA DE AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA ESPAÇO SMART PARA O USO DOS PROJETOS DA RESIDÊNCIA MODELO “CASA ORLANDO” NO ESTUDO DE CASO……..……..…102

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil desempenha, em escala global, um dos mais importantes papéis no desenvolvimento econômico e social, sendo responsável pela execução de infraestruturas e edificações essenciais à sociedade.

Porém, também se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais e de energia, sendo responsável por aproximadamente 32% do consumo global de energia e por 37% das emissões globais de dióxido de carbono (*United Nations Environment Programme*, 2024), que causam impactos ambientais significativos ao longo de todo o ciclo de vida das edificações.

Esses impactos estão associados não apenas à fase de construção, mas também às etapas de extração de matérias-primas, produção de materiais e resíduos, transporte, uso e descarte final.

A construção civil exerce pressão significativa sobre a sustentabilidade ambiental, destacando-se, em especial, a energia incorporada (*embodied energy*) nos materiais, a emissão de dióxido de carbono nas fabricações e a geração de resíduos na construção. A energia incorporada refere-se à energia necessária para a produção dos materiais ao longo de toda a sua cadeia de produção (Guo *et al.*, 2019).

Também se destaca a geração de resíduos da construção, compreendida como um fator muito relevante na análise dos impactos ambientais, uma vez que é necessária a devida gestão e redução desses resíduos quando se trata de sustentabilidade (Silva *et al.*, 2024). Esses resíduos são gerados em diferentes etapas do processo construtivo, incluindo execução, manutenção e demolição.

Assim, há importância evidente na análise dos impactos ambientais associados aos materiais utilizados na construção civil quando o assunto é a sustentabilidade, uma vez que a cadeia produtiva de cada material impacta o desempenho ambiental das edificações, principalmente nas etapas de extração de matérias-primas e produção dos materiais (Gasques *et al*., 2014).

Esta análise dos impactos ambientais permite comparações mais objetivas entre diferentes sistemas construtivos. Dessa maneira, mostra-se que é essencial a adoção de práticas construtivas cada vez mais sustentáveis e

ambientalmente conscientes, voltadas à otimização do uso de recursos e à redução de impactos ambientais.

Entre essas práticas, destacam-se as escolhas dos sistemas construtivos *Light Steel Frame*, *Wood Frame* e a Construção Modular *off-site*, nos quais os diferentes métodos apresentam desempenhos distintos quanto à sustentabilidade e influenciam diretamente a sustentabilidade das edificações quando comparados aos métodos convencionais de alvenaria no Brasil.

No ramo da construção existem diversas certificações ambientais que podem ser compreendidas como instrumentos destinados à avaliação do desempenho das edificações, por meio de critérios específicos que orientam a análise de aspectos construtivos, ambientais e energéticos ao longo das diferentes etapas do empreendimento (Sugahara; Freitas; Cruz, 2021).

Certificações como EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*), LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e AQUA (*Alta Qualidade Ambiental*) contribuem para a identificação de parâmetros relevantes para a análise da sustentabilidade na construção civil, servindo como base conceitual para a definição de indicadores ambientais aplicáveis à comparação entre sistemas construtivos.

A partir dessa perspectiva, indicadores como emissões de dióxido de carbono, energia incorporada e geração de resíduos são considerados no estudo de desempenho ambiental, pois permitem uma análise comparativa entre o sistema *Light Steel Frame* e a alvenaria convencional sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Diante desse cenário, existe a necessidade de métodos aplicáveis à realidade da construção civil brasileira, capazes de sintetizar informações complexas em análises comparativas mais objetivas.

O presente trabalho propõe a comparação dos impactos ambientais dos sistemas construtivos *Light Steel Frame* e alvenaria convencional, a partir de uma ferramenta fundamentada em dados da literatura técnica, visando garantir consistência metodológica e aplicabilidade prática.

1.1 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo justifica-se pela pressão ambiental exercida pelo setor da construção civil, evidenciada pelos elevados índices de consumo energético e de emissões associados aos processos construtivos, tornando urgente a redução dos impactos ao longo do ciclo de vida das edificações.

Justifica-se também pela praticidade de uma análise comparativa capaz de evidenciar quais composições de sistemas construtivos favorecem o desempenho ambiental, bem como pela lacuna científica associada à escassez de estudos que comparem diretamente os sistemas *Light Steel Frame* e a alvenaria convencional sob a ótica da sustentabilidade.

O trabalho contribui tecnologicamente para o direcionamento da construção civil brasileira em direção a métodos construtivos de menor impacto ambiental, fornecendo subsídios do desempenho ambiental do *Light Steel Frame*, além de resultar em uma ferramenta, no caso, um aplicativo de apoio à tomada de decisão que auxilie profissionais do setor na escolha de sistemas construtivos mais sustentáveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta de análise comparativa dos impactos ambientais associados aos sistemas construtivos em *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional, aplicando-a em um estudo de caso de uma edificação residencial, com base em indicadores de energia incorporada, emissões de dióxido de carbono e geração de resíduos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estruturar a lógica matemática e desenvolver a planilha de base em Excel, estabelecendo as equações de conversão de massa e os algoritmos de cálculo para os indicadores de Energia Incorporada, Emissões de Dióxido de Carbono e Geração de Resíduos;
- Desenvolver e implementar o aplicativo computacional denominado neste trabalho de ImpactaBuild, integrando o banco de dados de

coeficientes ambientais, os quantitativos e as funcionalidades de geração automatizada de relatórios;

- Aplicar e validar a ferramenta no estudo de caso de uma edificação modelo, realizando a verificação da correspondência numérica frente à planilha de referência, a comparação do desempenho entre o *Light Steel Frame* e a Alvenaria Convencional e a análise das fontes de emissão e gargalos ambientais por etapa e material;
- Simular e avaliar o desempenho ambiental de composições construtivas híbridas, investigando a sensibilidade do aplicativo na tomada de decisão para cenários híbridos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1.1 Abordagem sobre sustentabilidade aplicada à construção civil

Na construção civil, o conceito de sustentabilidade vem ganhando crescente relevância ao longo do tempo, consolidando-se como um dos principais direcionadores das práticas do setor, sendo progressivamente incorporado às atividades da construção (Zavadskas; Šaparauskas; Antucheviciene, 2018).

Esse avanço está associado aos impactos ambientais gerados pelo setor ao longo de sua cadeia produtiva, caracterizada pelo elevado consumo de recursos naturais e energia, além da significativa geração de resíduos, o que reforça a necessidade da adoção de práticas mais sustentáveis (Cruz; Gaspar; De Brito, 2019).

Os impactos da construção estão em todas as etapas do desenvolvimento das edificações, desde a fase de projeto, passando pela extração de matérias-primas, fabricação de componentes, execução da obra e manutenção ao longo de sua vida útil (Zavadskas; Šaparauskas; Antucheviciene, 2018).

Nesse cenário, evidencia-se o elevado consumo de materiais e energia, aliado à expressiva geração de resíduos, o que reforça a magnitude dos impactos ambientais relacionados ao setor da construção civil (Cruz; Gaspar; De Brito, 2019).

Diante desse panorama, devem ser analisadas diferentes alternativas, considerando critérios que permitam conciliar desempenho técnico e responsabilidade ambiental, com o objetivo de selecionar soluções mais adequadas (Zavadskas; Šaparauskas; Antucheviciene, 2018).

Essa necessidade torna-se ainda mais evidente em países em desenvolvimento, como o Brasil, que apresentam uma urbanização caracterizada por padrões de crescimento desordenados e com limitada consideração dos aspectos ambientais.

Nesse contexto, torna-se essencial que os projetos de construção incorporem os princípios ambientais, econômicos e sociais do desenvolvimento

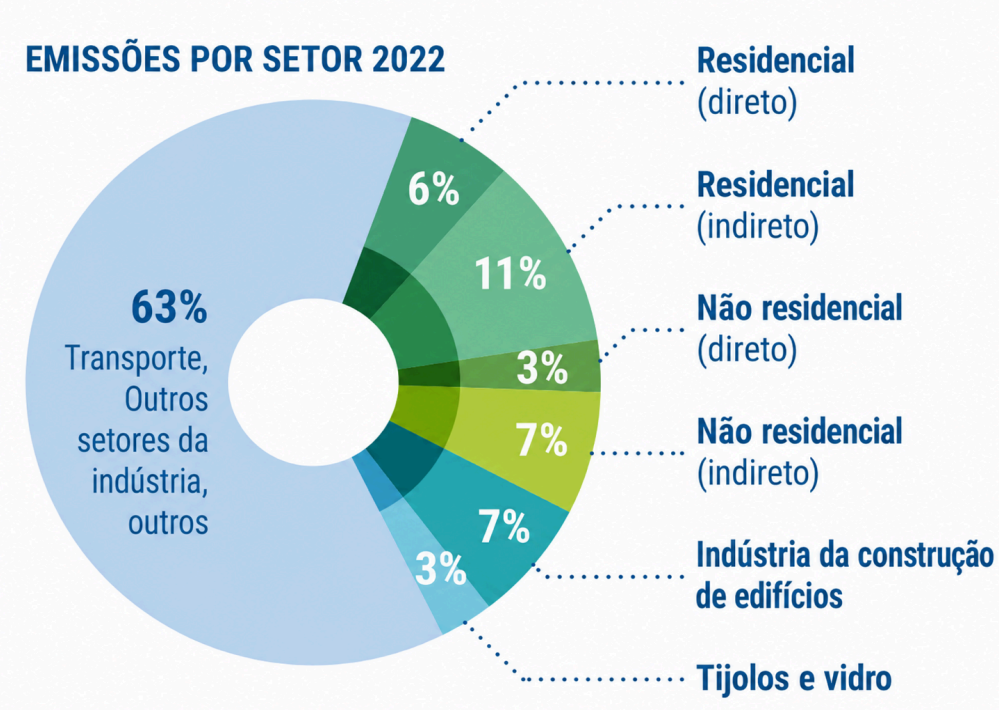
sustentável, sobretudo em cenários de rápida transformação urbana (Wang, 2021).

As edificações mais sustentáveis buscam por uma maior eficiência no uso de energia, que é apontada como um dos principais aspectos do seu desenvolvimento, estando diretamente associada à redução do consumo energético ao longo da vida útil das construções (Wang, 2021).

2.1.2 Impactos ambientais da construção civil

Em todo o mundo, a construção civil apresenta elevado impacto ambiental ao longo de seus processos, sendo apenas esse setor responsável por cerca de 37% das emissões globais de dióxido de carbono, enquanto outros setores industriais e transporte compõem os outros 63%, conforme evidenciado pela Figura 1.

Figura 1 - Emissões de CO_2 do setor da construção civil (2022)



Fonte: Adaptado de United Nations Environment Programme (2024)

Toda a extração das matérias-primas, a construção, utilização, e todos os equipamentos presentes nas edificações estão diretamente associadas à utilização de energia, emissão de gases de efeito estufa, à poluição do solo e da água, à geração de resíduos e ao esgotamento dos recursos naturais.

Esses impactos ocorrem desde a extração das matérias-primas, passando pelo transporte, fabricação dos materiais e execução da obra, até as etapas finais de demolição e destinação dos resíduos, evidenciando a complexidade dos efeitos ambientais da construção civil (Nemati Aghdam; Dixit, 2026).

Para melhor compreender esses impactos, eles podem ser classificados em duas categorias: impactos incorporados e impactos operacionais. Os impactos incorporados estão associados às etapas de extração, produção e transporte dos materiais, enquanto os impactos operacionais referem-se ao consumo de energia e recursos durante a fase de uso das edificações (Nemati Aghdam; Dixit, 2026).

Diante desse cenário, torna-se fundamental adotar estratégias capazes de reduzir os impactos da construção civil, por meio da otimização do uso de recursos, da eficiência energética e da adoção de materiais e sistemas construtivos mais sustentáveis (Augonis *et al.*, 2025; Hernandez Aros *et al.*, 2025).

2.2 INDICADORES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, diferentes indicadores podem ser empregados como instrumentos de estimativa, permitindo a quantificação de aspectos relacionados aos impactos ambientais ao longo das atividades construtivas (Estrada *et al.*, 2023).

A aplicação desses indicadores possibilita a avaliação dos impactos considerando aspectos como a energia incorporada, as emissões associadas à produção de materiais e a geração de resíduos ao longo dos processos construtivos (Chen *et al.*, 2022; Estrada *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2013).

2.2.1 Fontes dos coeficientes de impactos ambientais

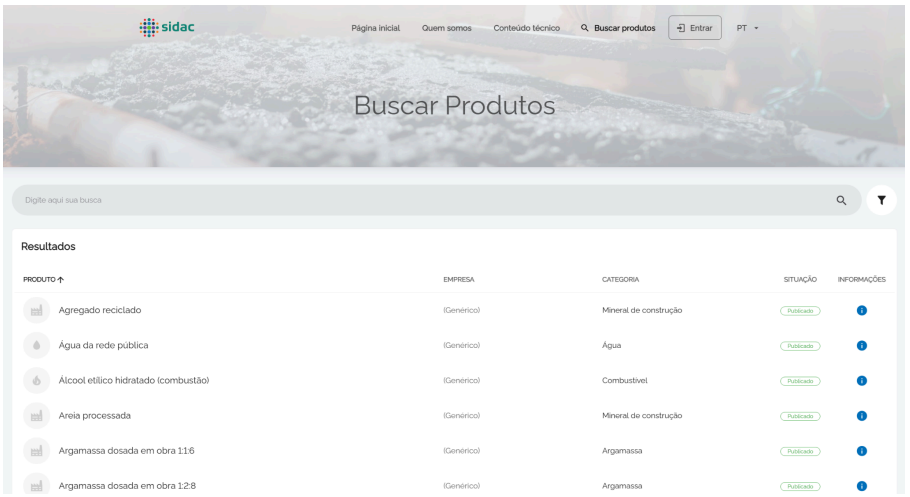
A determinação dos coeficientes de impacto ambiental para a fase de produção dos materiais requer fontes de dados padronizadas e transparentes. Neste trabalho, as principais referências conceituais e quantitativas adotadas provêm das Declarações Ambientais de Produto (EPDs) e do Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC).

As EPDs são documentos que seguem normas internacionais e

fornecem indicadores ambientais específicos e confiáveis para cada componente analisado. Elas são elaboradas com base em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (*EPD International*, 2026).

Já o SIDAC é um sistema brasileiro criado para avaliar o desempenho ambiental de materiais da construção civil, também sendo baseado em ACVs. Assim, a plataforma online apresenta diversos materiais utilizados na construção civil e suas emissões de CO_2 e energia incorporada. A Figura 2 apresenta a página inicial do SIDAC.

Figura 2 - Página inicial do SIDAC



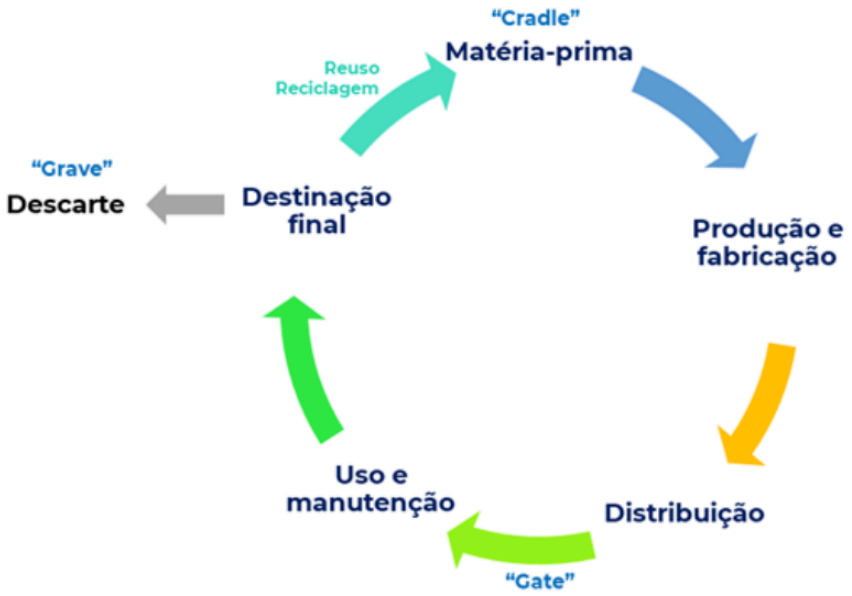
Fonte: SIDAC - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (2026).

2.2.2 Energia incorporada aos materiais

A energia incorporada aos materiais da construção civil pode ser compreendida como a energia associada a todas as etapas de produção de um insumo utilizado em uma edificação.

Essa energia abrange desde a extração das matérias-primas, passando pelos processos de produção e transporte, até sua utilização e destinação final (Su; Zhang, 2016). As etapas que integram esse processo estão representadas na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama do ciclo de vida dos materiais: do berço ao túmulo



Fonte: ARCA Sustentabilidade (2023)

Essa energia apresenta grande importância para a sustentabilidade no setor da construção civil, em razão da elevada participação dos materiais no consumo energético das edificações (Caldeira, 2016).

No estudo de caso de Beraldo (2025), verificou-se que o aço foi o maior consumidor individual de energia embutida, representando cerca de 65% do total da edificação. Porém, apesar da alta demanda energética, o emprego do aço viabiliza sistemas construtivos que minimizem drasticamente a geração de resíduos, promovendo uma maior eficiência ambiental na construção.

Entende-se que, ao se realizarem avaliações ambientais na construção civil, os edifícios são responsáveis por elevados níveis de energia incorporada, estando esse consumo associado às características e dimensões das construções (Minunno *et al.*, 2021).

Além disso, observa-se que há variabilidade significativa nos resultados de energia incorporada entre diferentes estudos, evidenciando a existência de diferenças nos valores expostos na literatura (Minunno *et al.*, 2021).

A energia associada aos materiais torna-se ainda mais evidente quando analisada em conjunto com a energia operacional das edificações, uma vez que a energia incorporada pode chegar a representar aproximadamente 30% do consumo energético total ao longo do ciclo de vida da edificação (Dascalaki *et al.*, 2021). Sua consideração contribui para uma avaliação mais

abrangente do desempenho energético das construções (Dascalaki *et al.*, 2021).

Na engenharia civil, a energia incorporada está diretamente relacionada à escolha dos materiais utilizados no projeto. Estudos indicam que materiais como concreto, cimento e aço podem representar conjuntamente mais de 60% da energia incorporada total dos componentes construtivos (Su; Zhang, 2016).

Ela constitui uma parcela relevante do consumo energético total das edificações, estando associada às diferentes etapas do ciclo de vida dos materiais (Pakdel; Ayatollahi; Sattary, 2021; Su; Zhang, 2016).

Pode-se verificar também que o consumo energético das edificações é composto tanto pela energia incorporada quanto pela energia operacional, sendo ambas partes integrantes do desempenho energético global (Pakdel; Ayatollahi; Sattary, 2021).

Cada material de construção possui um coeficiente de energia incorporada que pode ser encontrado em bases de dados como o SIDAC, em especial para os materiais de construção convencionais no Brasil e também nas EPDs para materiais menos convencionais. A Tabela 1 apresenta coeficientes de energia incorporada aos materiais tanto para a alvenaria convencional como para o *Light Steel Frame.*

Tabela 1 - Coeficientes de energia incorporada para diferentes materiais

Material	**Energia Incorporada (MJ/Kg)**
Membrana Hidrófuga	100,970
Tela de Vidro	57,800
Lã de Vidro	33,300
Perfis de Aço Leve	29,800
Aço CA-50 (Vergalhão)	16,000
Telha Shingle	13,960
Madeira serrada (pinus)	12,707
Madeira Compensada (Fôrmas)	11,488
Telha Cerâmica Americana	9,454
Placa GlasrocX	6,740
Placa de Gesso RU	6,330

Placa de Gesso ST	6,040
Bloco cerâmico (14×19×29 cm)	4,366
Basecoat	4,010
Subcobertura Shingle	3,375
Painéis OSB	2,520
Argamassa (Assentamento) 1:2:8	1,143
Argamassa (Revestimento) 1:2:8	1,143
Concreto dosado em central fck 30MPa	1,052
Massa de Gesso	0,897

Fonte: SIDAC (2026); The International EPD System (2026); Drywall Finishing Council (2024); Ode Industry and Trade Inc. (2021)

2.2.3 Emissões de CO_2

As emissões de dióxido de carbono (CO_2) são conhecidas como um dos grandes fatores associados às alterações ambientais globais, estando relacionadas a outros gases responsáveis pelo efeito estufa. Essas emissões têm contribuído de forma crescente para as mudanças climáticas, sendo observado que, nos últimos 40 anos, houve um aumento de aproximadamente 100% nessas emissões (Oh; Choi; Park, 2017).

No setor da engenharia civil, as emissões de CO_2 se manifestam devido à elevada participação das edificações no consumo energético global e na geração de emissões atmosféricas. Nesse sentido, as construções podem representar elevadas emissões de carbono associadas ao consumo de energia, evidenciando a relevância do setor nesse cenário (Chau *et al.*, 2012).

Essas emissões não estão presentes apenas no consumo de energia durante a operação dos edifícios, mas também ao longo de todo o ciclo de vida dos materiais utilizados.

Assim como na energia incorporada, os materiais também possuem um coeficiente de emissão de CO_2, encontrado nas mesmas bases de dados citadas anteriormente: SIDAC e EPDs. A Tabela 2 relaciona esses valores aos materiais dos sistemas construtivos mencionados neste trabalho.

Tabela 2 - Coeficientes de emissão de CO_2 para diferentes materiais

Material	Emissões de CO_2 ($KgCO_2e/Kg$)
Membrana Hidrófuga	3,690
Tela de Vidro	2,610
Perfis de Aço Leve	2,440
Lã de Vidro	1,620
Painéis OSB	1,370
Aço CA-50 (Vergalhão)	1,060
Placa GlasrocX	0,330
Telha Cerâmica Americana	0,312
Telha Shingle	0,300
Madeira Compensada (Fôrmas)	0,264
Placa de Gesso RU	0,240
Basecoat	0,230
Placa de Gesso ST	0,210
Massa de Gesso	0,169
Argamassa (Assentamento) 1:2:8	0,154
Argamassa (Revestimento) 1:2:8	0,154
Bloco cerâmico (14×19×29 cm)	0,151
Concreto dosado em central fck 30MPa	0,136
Subcobertura Shingle	0,117
Madeira serrada (pinus)	0,074

Fonte: SIDAC (2026); The International EPD System (2026); Drywall Finishing Council (2024); Ode Industry and Trade Inc. (2021)

Diferentes fases do ciclo de vida das edificações contribuem para a emissão desse gás, reforçando o caráter acumulativo desses impactos ao longo do tempo. Desta maneira, o setor se configura como um dos principais responsáveis pelas emissões de CO_2 em escala global (González; García Navarro, 2006).

Diante desse cenário, diversas estratégias para a redução das emissões de carbono na construção civil vêm sendo estudadas. Entre elas, destacam-se a escolha de materiais com menor impacto ambiental e a otimização dos processos construtivos, o que pode resultar na redução de até

30% das emissões de CO_2 na fase de construção (González; García Navarro, 2006).

A compreensão dos fatores que contribuem para essas emissões e a adoção de estratégias, como a utilização de materiais alternativos para auxiliar na redução de emissões, mostram-se fundamentais para atenuar os impactos ambientais associados ao setor (González; García Navarro, 2006).

Adicionalmente, a variabilidade dos dados de emissão pode influenciar significativamente os resultados das análises, reforçando a necessidade de abordagens mais consistentes e confiáveis para avaliações ambientais (Oh; Choi; Park, 2017).

2.2.4 Geração de resíduos na construção civil

No setor da construção, a geração de resíduos pode ser analisada por meio de indicadores que permitem estimar a quantidade de materiais descartados durante as atividades construtivas (Li *et al.*, 2013). Os resíduos da construção e demolição representam uma parcela significativa dos resíduos sólidos gerados, evidenciando a relevância desse indicador na análise ambiental do setor (Estrada *et al.*, 2023).

Existem estratégias globais que buscam internalizar os custos da gestão de resíduos e responsabilizar os fabricantes pelo ciclo de vida total dos insumos. Isso segue conforme os princípios da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) representados na Figura 4.

Figura 4 - Princípios da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR)



Fonte: Adaptado de United Nations Environment Programme (2024)

Esses resíduos tornam-se cada vez mais volumosos com o avanço da urbanização e o aumento das atividades construtivas, configurando-se como um grande problema tanto sob a perspectiva econômica das construções quanto sob a perspectiva ambiental (Li *et al.*, 2013).

Em cidades brasileiras, os resíduos de construção podem representar de 40% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (Oliveira *et al*., 2020). Associados ao intenso consumo de recursos naturais devido à elevada demanda por materiais de construção. Esse consumo de recursos naturais pelo setor da construção civil pode chegar a mais de 60% das matérias-primas extraídas no mundo, evidenciando o elevado impacto ambiental do setor (Lachimpadi *et al.*, 2012).

Sobre a composição desses resíduos, destacam-se materiais como concreto, tijolos e argamassa como os principais resíduos gerados na construção civil (Islam *et al.*, 2019). Sendo assim, entende-se que os materiais convencionais de construção representam o maior índice de desperdício em razão da elevada quantidade de resíduos gerados durante sua utilização.

A quantificação dos resíduos gerados na construção constitui uma etapa importante do processo construtivo, mas que muitas vezes é negligenciada. Os índices de geração de resíduos são utilizados para realizar estimativas da quantidade de resíduos produzida em uma obra (Li *et al.*, 2013), podendo auxiliar na elaboração de planos de gerenciamento de resíduos.

Do ponto de vista ambiental, a geração excessiva de resíduos pode causar diferentes impactos, como o aumento da poluição e o desperdício de recursos naturais (Islam *et al.*, 2019). Além disso, a destinação inadequada de determinados resíduos pode gerar problemas como contaminação ambiental, além da utilização de grandes áreas para aterros (Loizou *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, a reutilização e a reciclagem dos resíduos surgem como alternativas fundamentais para reduzir os impactos ambientais e econômicos da construção civil. Estudos indicam que aproximadamente 80% desses materiais podem ser reaproveitados, reduzindo significativamente a necessidade de descarte em aterros e contribuindo para a preservação de recursos (Islam *et al.*, 2019).

Entende-se que a geração de resíduos na construção civil está diretamente relacionada ao modelo construtivo adotado, ao consumo de materiais e às práticas de gestão empregadas durante a execução.

Para fundamentar os percentuais de perda e geração de resíduos, foram analisadas referências empíricas da literatura. No caso do sistema *Light Steel Frame*, os índices de perdas em obra são baseados no estudo de caso desenvolvido por Holzmann Mass e Tavares (2017), que acompanhou a execução real de uma residência em Ponta Grossa/PR, registrando quantitativos práticos desse sistema industrializado.

Já para o sistema de alvenaria convencional, os coeficientes de desperdício baseiam-se em levantamentos estatísticos e simulações técnicas representativas de canteiros de obras nacionais tradicionais, a partir dos estudos de Laruccia (2014), Mendes, G (2021) e Nogueira (2020).

Na Tabela 3 são apresentados os valores referentes às taxas decimais de geração de resíduos dos materiais que compõem os sistemas analisados neste trabalho.

Tabela 3 - Coeficientes de geração de resíduos para os diferentes materiais analisados neste trabalho

Material	Geração de Resíduos
Madeira Compensada (Fôrmas)	1,150
Aço CA-50 (Vergalhão)	0,105
Concreto dosado em central fck 30MPa	0,227
Argamassa (Assentamento) 1:2:8	0,240
Argamassa (Revestimento) 1:2:8	0,555
Bloco cerâmico (14×19×29 cm)	0,150
Madeira serrada (pinus)	0,100
Telha Cerâmica Americana	0,100
Perfis de Aço Leve	0,035
Placa GlasrocX	0,019
Placa de Gesso ST	0,019
Placa de Gesso RU	0,019
Membrana Hidrófuga	0,016
Tela de Vidro	0,019

Basecoat	0,050
Massa de Gesso	0,019
Lã de Vidro	0,250
Subcobertura Shingle	0,016
Painéis OSB	0,060
Telha Shingle	0,054

Fonte: Holzmann Mass e Tavares (2017); Laruccia (2014); Nogueira (2020); Mendes, G (2021)

Nesse contexto, o adequado gerenciamento, a reutilização, a reciclagem e a adoção de sistemas mais racionalizados mostram-se alternativas importantes para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da sustentabilidade do setor (Li *et al.*, 2013; Loizou *et al.*, 2021).

2.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS ESTUDADOS NESTE TRABALHO

2.3.1 Sistema construtivo em *Light Steel Frame*

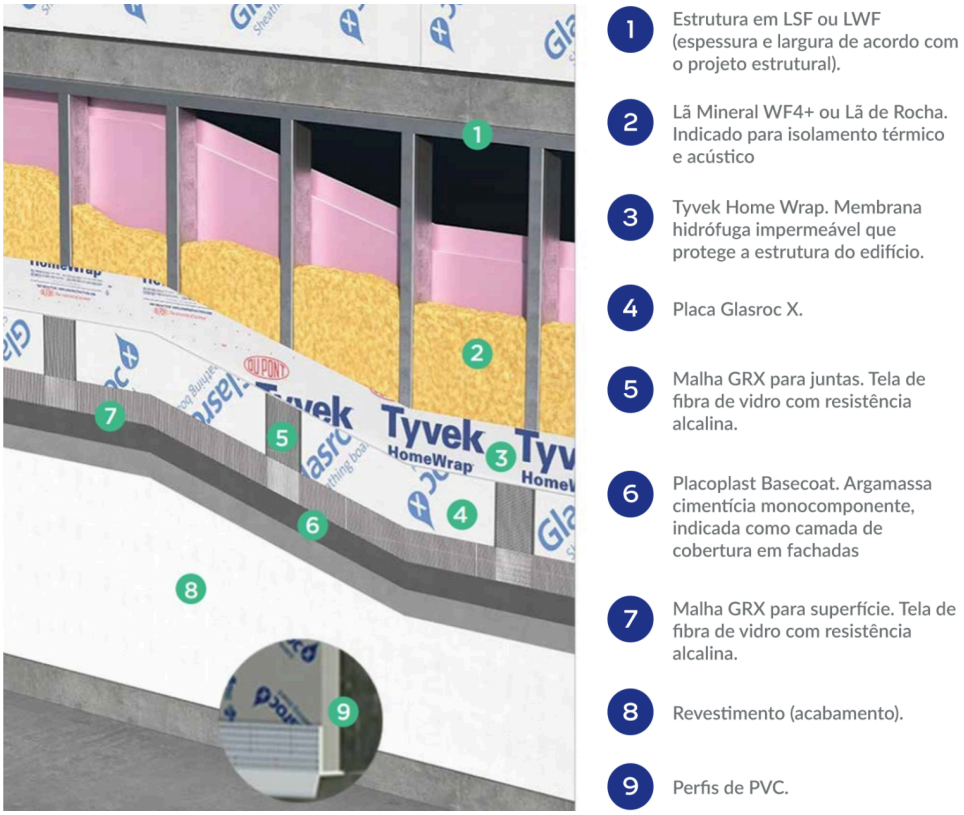
O *Light Steel Frame* (LSF) é um sistema construtivo industrializado que consiste na utilização de perfis de aço galvanizado conformados a frio, os quais constituem a estrutura principal da edificação (Azizian, 2015).

O processo construtivo é caracterizado pela construção a seco, na qual os componentes são produzidos industrialmente e posteriormente montados no canteiro de obras. Além dos elementos estruturais, o sistema possui subsistemas de vedação e isolamento, incluindo placas de gesso acartonado, painéis OSB, placas cimentícias e materiais isolantes, contribuindo para o desempenho térmico e acústico da edificação (Paula; Trindade, 2021).

A fabricação industrial dos componentes favorece a padronização da produção e o controle das etapas executivas, características associadas à racionalização do processo construtivo (Veljkovic; Johansson, 2006).

O sistema de vedação externa é composto por camadas que desempenham funções de proteção e de isolamento, contribuindo para toda a edificação. A Figura 5 apresenta a composição desse sistema.

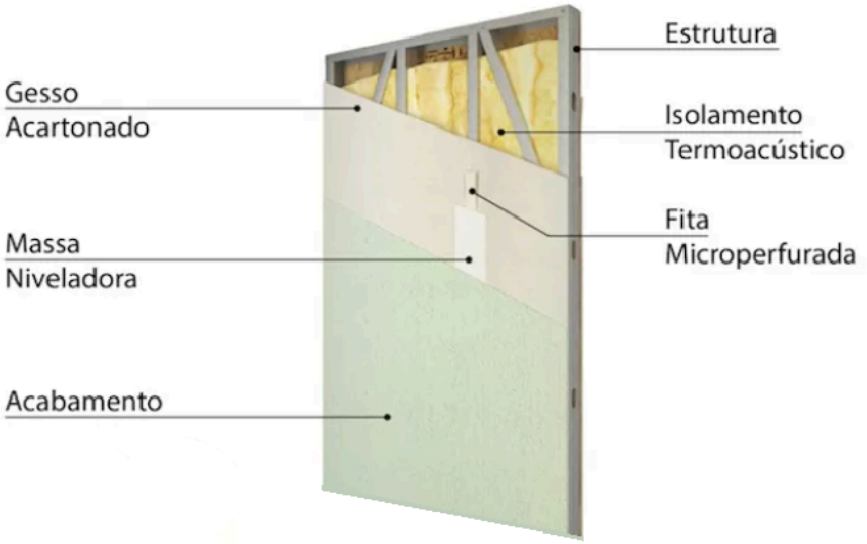
Figura 5 - Esquema técnico de parede externa em *Light Steel Frame*



Fonte: Sulmódulos (s.d.).

Já a vedação interna é responsável pelo fechamento dos ambientes e pela acomodação das instalações prediais, além de contribuir para o desempenho térmico e acústico da edificação. A Figura 6 apresenta a composição desse sistema.

Figura 6 - Esquema técnico de parede interna em *Light Steel Frame*



Fonte: Adaptado de Inova Civil (2019)

Por fim, a cobertura do *Light Steel Frame* é formada por elementos que garantem a proteção da edificação contra as intempéries e contribuem para seu desempenho térmico e estrutural. A Figura 7 ilustra a composição mais usual desse sistema.

Figura 7 - Detalhamento da cobertura do sistema *Light Steel Frame*



Fonte: Espaço Smart (s.d.)

A cobertura do sistema é composta por telhas asfálticas apoiadas sobre painéis OSB e subcobertura impermeável, formando uma barreira eficiente contra intempéries.

O comportamento estrutural do sistema *Light Steel Frame* é desempenhado pelos painéis que compõem as paredes, os quais são responsáveis por resistir às ações atuantes na edificação (Veljkovic; Johansson, 2006).

Entre as características do sistema, destaca-se a elevada relação entre resistência e peso dos elementos estruturais, associada à facilidade de execução e à racionalização das atividades construtivas (Mendes, P., 2019).

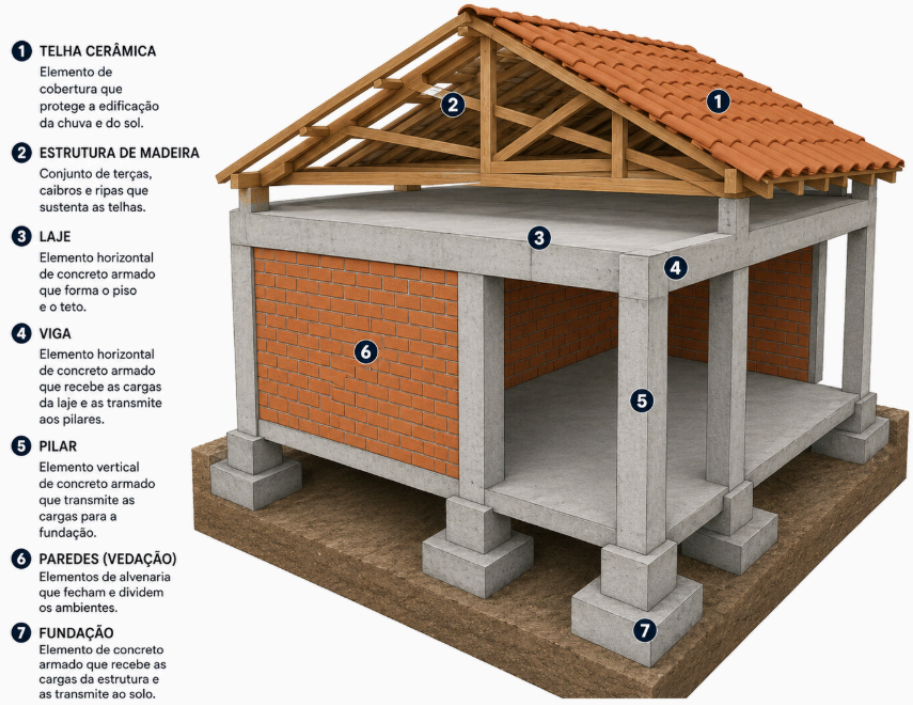
Dessa forma, o *Light Steel Frame* integra elementos estruturais, materiais de vedação e processos industrializados, configurando uma solução construtiva voltada à padronização e ao controle da execução (Borges, 2025; Mendes, P., 2019).

2.3.2 Sistema construtivo em alvenaria convencional

A construção convencional caracteriza-se pela adoção de um sistema estrutural executado em concreto armado, composto por vigas, pilares e lajes, responsáveis por garantir a estabilidade e a sustentação da edificação.

Nesse modelo construtivo, a alvenaria é incorporada de forma complementar ao sistema estrutural, sendo empregada na execução das paredes e não participando na resistência da edificação (Vieira; Nogueira; Cosme, 2025). A Figura 8 ilustra como é o esquema estrutural do sistema da alvenaria convencional.

Figura 8 - Esquema estrutural do sistema de alvenaria convencional

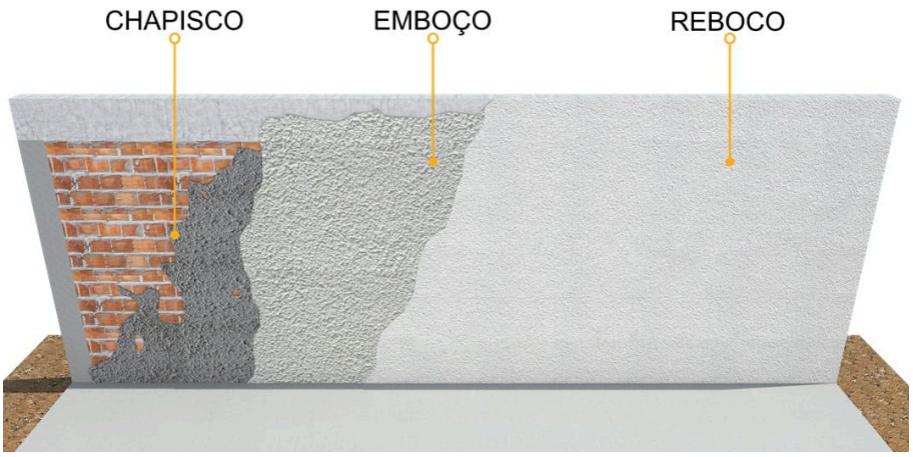


Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de inteligência artificial (OpenAI, 2026)

A Alvenaria Convencional é utilizada principalmente no fechamento dos vãos estruturais e na compartimentação dos ambientes internos, desempenhando papel fundamental na organização dos espaços construídos (Gomes *et al.*, 2018; Theodossopoulos; Sinha, 2013). Sua execução ocorre, de maneira geral, por meio da utilização de tijolos cerâmicos, assentados e cobertos com argamassa.

Assim, observa-se que esse sistema construtivo estabelece uma distinção funcional clara entre os elementos estruturais e aqueles destinados à vedação (Gomes *et al.*, 2018; Theodossopoulos; Sinha, 2013). Na Figura 9 pode-se compreender como é a vedação no sistema de alvenaria convencional.

Figura 9 - Detalhamento do revestimento em argamassa na alvenaria convencional



Fonte: Construindo casas (2021)

Em relação ao comportamento estrutural global da edificação, a organização desse sistema implica que as cargas atuantes sejam absorvidas predominantemente pela estrutura em concreto armado e, posteriormente, transmitidas às fundações. Nesse cenário, a alvenaria não é dimensionada para resistir às solicitações estruturais principais, sendo submetida, em grande parte, a ações decorrentes de seu peso próprio e das condições de uso (He *et al.*, 2018).

Em edificações compostas por pórticos de concreto armado associados a paredes de preenchimento, pode-se observar que, sob determinadas condições de carregamento, ocorre uma interação entre os elementos, contribuindo para a resposta do sistema como um todo, porém essa contribuição não é considerada como parte do sistema resistente principal (Marques; Lourenço, 2019).

Por fim, a ampla utilização desse sistema construtivo está relacionada à sua consolidação histórica no país e à sua forte inserção nas práticas correntes da construção civil.

A combinação entre estrutura em concreto armado e alvenaria de vedação configura uma solução amplamente difundida, favorecida pela disponibilidade de materiais e mão de obra, pela familiaridade dos profissionais com os processos construtivos e pela possibilidade de aplicação em diferentes tipologias de edificações (Almssad; Almusaed; Homod, 2022).

2.3.3 Comparação técnica simplificada entre sistemas

A comparação entre o sistema construtivo convencional e o *Light Steel Frame* permite identificar diferenças relevantes relacionadas à forma de execução, produtividade e à organização dos processos construtivos. No cenário brasileiro, o método convencional ainda é predominante, enquanto o *Light Steel Frame* apresenta menor aplicação, mesmo sendo reconhecido por características construtivas distintas e mais recentes no setor (Camargo, 2021).

Sob o ponto de vista do processo construtivo, o sistema convencional está fortemente associado a práticas mais tradicionais de execução, com maior dependência da mão de obra no canteiro e menor padronização das etapas.

Esse cenário favorece variações durante a obra e a necessidade de ajustes ao longo da execução. Por outro lado, o *Light Steel Fra*me apresenta maior padronização e organização dos processos, decorrentes da industrialização dos componentes (Lagoa *et al*., 2021).

Ao analisar a eficiência construtiva, observa-se que o *Light Steel Frame* tende a apresentar vantagens relacionadas à redução do tempo de execução e à melhor organização das atividades em obra. Já o sistema convencional pode demandar maior tempo para conclusão, além de apresentar maior incidência de retrabalhos (Camargo, 2021).

Outro ponto relevante refere-se ao desempenho das edificações ao longo do tempo. No sistema convencional, podem ocorrer manifestações como fissuras, infiltrações e outras patologias, muitas vezes relacionadas às condições de execução. Já o *Light Steel Frame* tende a reduzir esses problemas devido ao maior controle na produção dos componentes e na sua execução (Lagoa *et al*., 2021).

Por fim, apesar das vantagens associadas ao *Light Steel Frame*, sua utilização ainda é limitada no contexto brasileiro. Esse cenário pode ser

explicado por fatores como o maior custo inicial e a menor familiaridade dos profissionais com o sistema (Camargo, 2021).

2.4 COMPARAÇÃO AMBIENTAL ENTRE O *LIGHT STEEL FRAME* E A ALVENARIA CONVENCIONAL

2.4.1 Principais impactos ambientais dos sistemas construtivos

Na busca por soluções construtivas mais sustentáveis dentro da engenharia civil, tem aumentado o interesse por estudos voltados à comparação entre diferentes sistemas construtivos. Isso ocorre em razão de a construção civil demandar grande volume de recursos naturais, evidenciando a necessidade da avaliação de diferentes métodos construtivos (Silva *et al.*, 2025).

O sistema construtivo convencional no país, composto predominantemente por estruturas em concreto armado e paredes em alvenaria, demanda maior quantidade de insumos e amplia os impactos ambientais ao longo da execução, especialmente em razão da elevada demanda por materiais e da ocorrência de desperdícios ao longo do processo construtivo (Silva *et al.*, 2025).

Em contrapartida tem se destacado no Brasil o sistema *Light Steel Frame*, que se caracteriza por possuir um processo construtivo industrializado. Essa característica pode contribuir para maior racionalização do uso dos materiais e para a redução de perdas durante a execução (Borges, 2025; Silva *et al.*, 2025).

O sistema tende a apresentar menor impacto ambiental quando comparado à Alvenaria Convencional, em razão do menor consumo de água na obra, materiais e recursos naturais (Mendes, P., 2019).

Em relação ao consumo de materiais, estudos comparativos apontam diferenças expressivas entre os sistemas construtivos analisados. Verifica-se que a Alvenaria Convencional apresenta consumo 4,2 vezes maior em termos de volume de materiais quando comparada ao sistema *Light Steel Frame*, evidenciando maior intensidade no uso de recursos naturais e maior potencial de impacto ambiental da edificação (Silva *et al.*, 2025).

A maior racionalização dos sistemas industrializados pode contribuir para a redução do consumo de insumos construtivos, especialmente em razão da padronização dos componentes e do maior controle dos processos de produção (Lacerda; Gomes, 2014).

Quanto à geração de resíduos da construção civil, a alvenaria convencional também apresenta desempenho inferior quando comparada ao *Light Steel Frame*. Estudos indicam que o sistema convencional pode gerar quase seis vezes mais resíduos (Silva *et al.*, 2025).

Esse resultado está relacionado, entre outros fatores, às perdas de materiais decorrentes dos processos de execução e à maior racionalização proporcionada pelo sistema industrializado (Barboni, 2022).

No que se refere ao consumo energético dos materiais, a energia embutida (*embodied energy*) também tende a ser superior nos sistemas convencionais, apresentando demanda quase sete vezes maior na alvenaria convencional (Silva *et al.*, 2025).

Estudos que avaliam o ciclo de vida dos materiais demonstram que sistemas mais industrializados podem apresentar melhor desempenho energético ao longo do processo construtivo (Patrício; Toledo, 2019).

Quanto às emissões de dióxido de carbono, estas também representam um importante indicador ambiental na comparação entre sistemas construtivos. Nesse sentido, verifica-se emissão quase sete vezes maior de CO_2 na Alvenaria Convencional quando comparada ao *Light Steel Frame* (Silva *et al*., 2025).

Dessa forma, a avaliação conjunta desses indicadores permite uma análise mais abrangente dos impactos ambientais associados aos diferentes sistemas construtivos, evitando que a comparação seja baseada em apenas um aspecto ambiental.

2.4.2 Vantagens, limitações e aplicabilidade dos sistemas construtivos

Além dos aspectos ambientais, a escolha entre diferentes sistemas construtivos também está relacionada a fatores técnicos, econômicos e operacionais. Esses fatores influenciam diretamente a adoção dos métodos

construtivos e a maneira como cada sistema se adapta às particularidades de um empreendimento.

Nesse cenário, o *Light Steel Frame* e a Alvenaria Convencional apresentam características distintas, que podem representar vantagens ou limitações de acordo com as condições de cada empreendimento.

Entre as principais vantagens associadas ao sistema *Light Steel Frame*, destacam-se a redução do prazo construtivo, o menor peso da estrutura e o melhor rendimento das atividades no canteiro de obras. Esses fatores contribuem para maior eficiência construtiva e redução do tempo necessário para conclusão das edificações (Ros; Maranhão, 2019).

Além disso, o sistema industrializado apresenta montagem e execução mais controladas e organizadas, permitindo maior racionalização dos processos construtivos (Borges, 2025; Ros; Maranhão, 2019). Com isso, a execução tende a ser mais previsível e menos dependente de soluções improvisadas durante a obra.

Por outro lado, a construção convencional em alvenaria também apresenta vantagens que justificam sua ampla utilização no Brasil. Esse método já é conhecido pelos profissionais do setor, utiliza materiais facilmente encontrados no mercado e possui aplicação consolidada em diferentes tipos de edificação. Além do sistema apresentar maior flexibilidade para adaptações e alterações durante a execução, característica frequentemente valorizada em obras convencionais (Silva *et al.*, 2025).

Apesar das vantagens associadas ao *Light Steel Frame*, sua adoção no Brasil ainda enfrenta obstáculos de ordem técnica, econômica e relacionados à aceitação do mercado, além de incertezas quanto à aplicabilidade do sistema e à qualidade dos materiais e da mão de obra disponível (Ros; Maranhão, 2019).

Além desses fatores, o custo inicial mais elevado, atrelado tanto aos materiais quanto à necessidade de mão de obra especializada, também pode dificultar a ampliação do uso do sistema em determinadas regiões (Borges, 2025).

Em contrapartida, a construção convencional apresenta maior disponibilidade de mão de obra, uma vez que grande parte dos trabalhadores

do setor já possui familiaridade com esse método construtivo (Lacerda; Gonçalves, 2022).

Os insumos e acessórios utilizados para construções de alvenaria são mais baratos e facilmente encontrados no mercado. Além disso, o custo deste tipo de estrutura, especialmente em obras menores, é considerado inferior (Lacerda; Gonçalves, 2022). Esses fatores ajudam a explicar sua permanência como uma alternativa recorrente na construção civil nacional.

Entretanto, as construções em Alvenaria Convencional podem apresentar limitações relacionadas ao maior tempo de execução, maior desperdício de materiais e menor eficiência produtiva, o que pode comprometer a sustentabilidade do processo construtivo (Lacerda; Gonçalves, 2022; Silva *et al*., 2025).

Sendo assim, o *Light Steel Frame* tende a apresentar vantagens relacionadas à industrialização dos processos, à redução do tempo de execução e ao melhor aproveitamento dos materiais, enquanto a Alvenaria Convencional permanece amplamente empregada em função do menor custo inicial e da mão de obra já consolidada (Ros; Maranhão, 2019; Lacerda; Gonçalves, 2022; Silva *et al*., 2025).

Assim, a definição do sistema construtivo mais adequado deve considerar não apenas os impactos ambientais, mas também fatores técnicos, econômicos e operacionais, visando uma tomada de decisão mais eficiente e sustentável.

Neste sentido, o presente trabalho está voltado ao desenvolvimento de uma ferramenta para análise comparativa dos impactos ambientais associados aos sistemas construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Esta é uma pesquisa aplicada que busca gerar uma solução de aplicação prática para a Engenharia Civil como uma ferramenta que permite estimar e comparar os impactos ambientais dos sistemas a partir dos indicadores de energia incorporada, emissões de dióxido de carbono e geração de resíduos.

Para o desenvolvimento da ferramenta, foram utilizados quantitativos de materiais e os respectivos coeficientes ambientais, obtidos a partir de literatura técnica, bases de dados e referências especializadas.

Esses dados de entrada foram organizados e processados pela ferramenta, tendo como dados de saída os cálculos de estimativas dos indicadores ambientais para cada sistema construtivo considerados neste trabalho e a posterior comparação dos resultados.

Quanto aos procedimentos metodológicos, o estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica e documental, utilizando artigos científicos, dissertações, normas técnicas, tabelas de coeficientes ambientais e demais referências técnicas necessárias à obtenção dos dados.

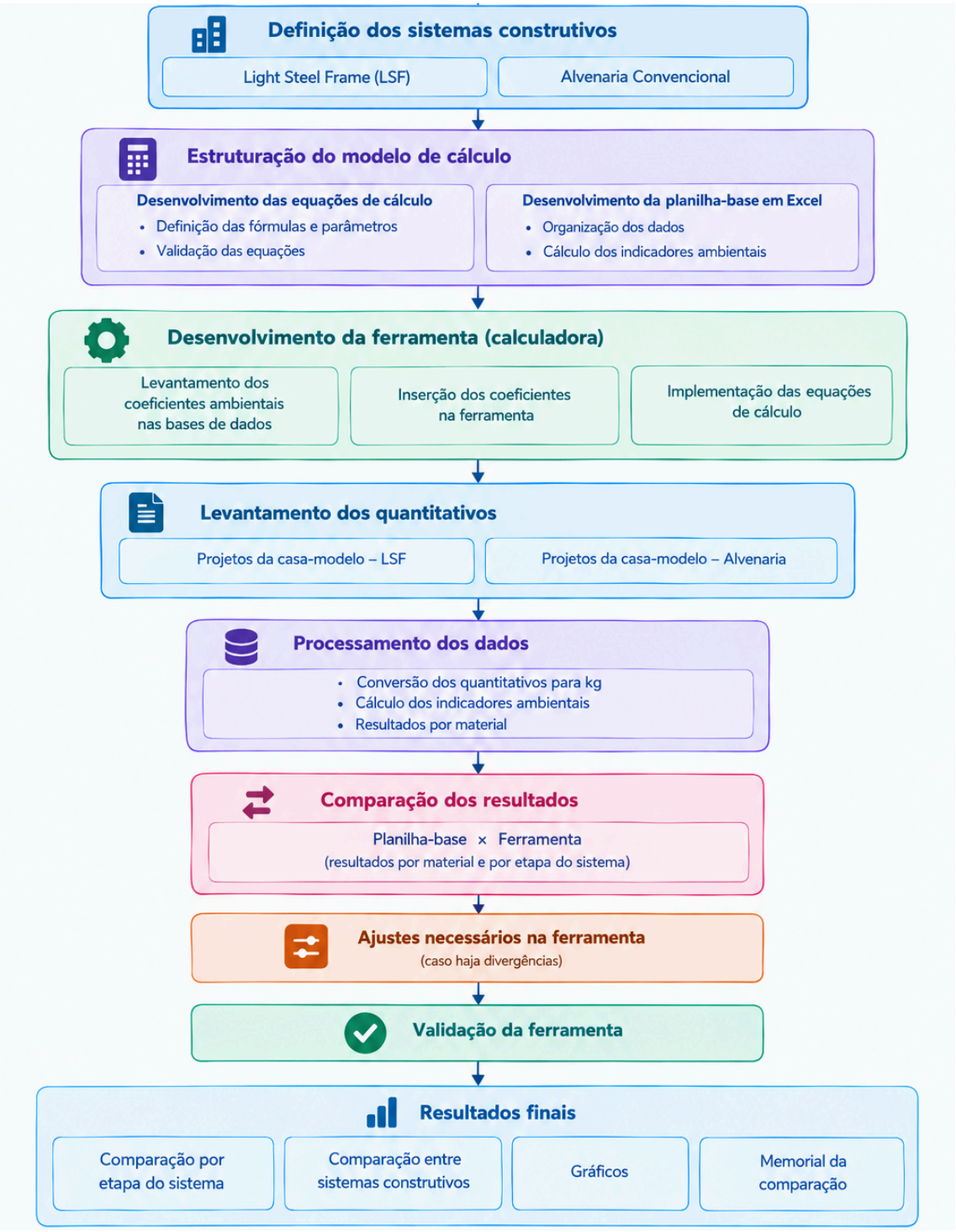
As referências bibliográficas e os coeficientes ambientais foram obtidos por meio de buscas estruturadas no Portal de Periódicos CAPES, ScienceDirect, plataformas de EPD (Environmental Product Declaration) e no SIDAC.

Para as bases bibliográficas (CAPES e ScienceDirect), as buscas foram realizadas combinando palavras-chave em português e inglês. Já nas plataformas de EPDs e no SIDAC, as consultas foram direcionadas pelos nomes específicos dos insumos e materiais componentes dos sistemas analisados.

Para a aplicação, teste e validação da ferramenta desenvolvida, adotou-se como estudo de caso uma edificação residencial modelo, para a qual foram levantados os quantitativos de materiais correspondentes aos sistemas *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional.

A inserção desses dados no aplicativo permitiu realizar a verificação de equivalência numérica frente ao modelo de referência em Excel, além de possibilitar a análise comparativa dos indicadores ambientais e a comprovação da aplicabilidade prática do software. O fluxo completo das etapas metodológicas é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma da análise ambiental da residência modelo



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de inteligência artificial (OpenAI, 2026)

3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo concentrou-se na comparação dos impactos ambientais associados aos sistemas construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional, considerando os indicadores de energia incorporada, emissões de dióxido de carbono (CO_2) e geração de resíduos da construção civil.

Importante ressaltar que a análise contemplou os impactos associados à produção dos materiais e a geração de resíduos decorrente da etapa de execução da obra.

Os indicadores foram definidos com base em sua relevância ambiental, na recorrência de sua utilização em estudos relacionados à sustentabilidade na construção civil e em sua aplicação em certificações ambientais.

Os materiais considerados nos cálculos correspondem aos elementos construtivos relacionados à estrutura, às vedações e à cobertura das edificações. Esses elementos concentram parcela significativa dos materiais empregados na execução da edificação e apresentam relevância para a análise comparativa proposta.

Nesta avaliação, alguns elementos não foram considerados, como as instalações elétricas e hidráulicas, os serviços de pintura e os materiais de acabamento, como porcelanatos e pisos vinílicos, uma vez que esses componentes tendem a permanecer semelhantes independentemente do sistema construtivo adotado.

Além disso, as fundações não foram incluídas na análise, uma vez que sua composição e dimensionamento estão diretamente relacionados às características do solo e às condições específicas do local de implantação da edificação, não dependendo exclusivamente do sistema construtivo adotado.

Dessa forma, sua inclusão poderia introduzir uma variável associada às condições específicas do terreno, e não às diferenças entre o *Light Steel Frame* e a Alvenaria Convencional.

Como estudo de caso, foi selecionada uma residência modelo pertencente à loja de casas da empresa Espaço Smart, a casa Orlando. A carta de autorização da empresa para utilização dos projetos neste trabalho esta apresentada no Anexo A.

A edificação foi utilizada como referência para o levantamento dos quantitativos dos materiais e para a aplicação da ferramenta desenvolvida nos dois sistemas construtivos. A Figura 11 apresenta uma vista 3D da residência.

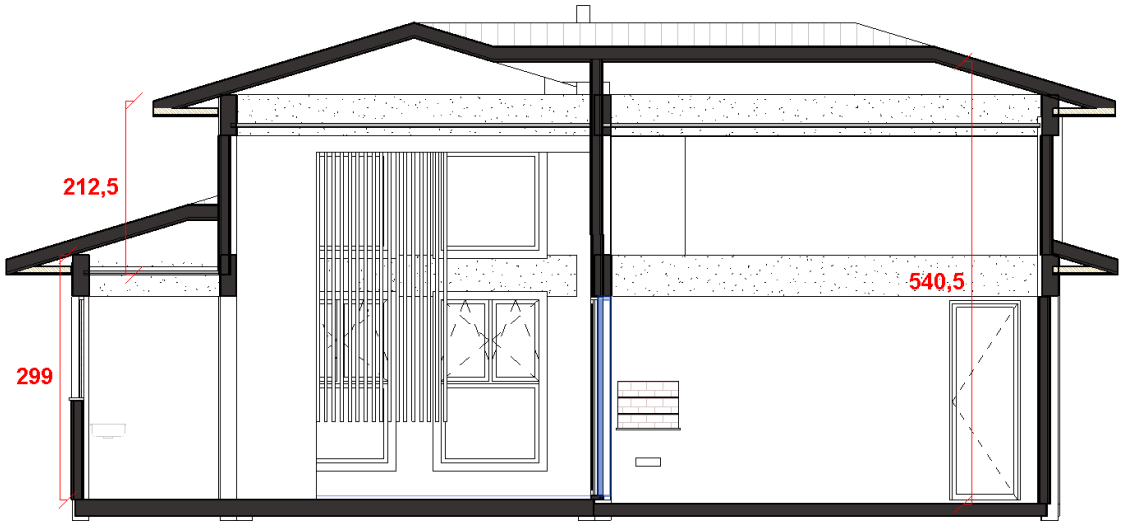
Figura 11 - Modelagem 3D da Casa Orlando usada como residência modelo



Fonte: Espaço Smart (2024)

A residência é térrea e possui um pé-direito duplo, compondo uma área construída de 172 m². A Figura 12 apresenta um corte técnico da edificação.

Figura 12 - Corte A da edificação modelo do estudo de caso

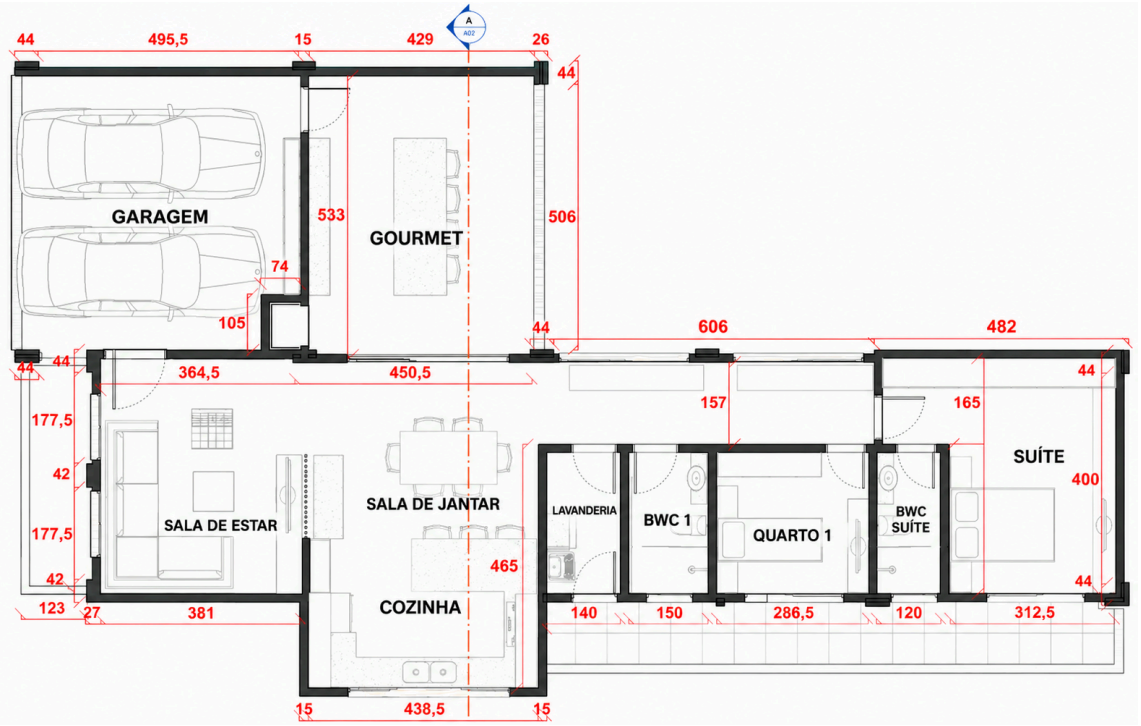


Fonte: Espaço Smart (2024)

Para possibilitar a comparação entre os sistemas, foram mantidas as características arquitetônicas da residência, incluindo a área construída e a configuração da planta baixa, apresentada na Figura 13.

Adaptações foram realizadas quanto aos elementos construtivos necessários à representação da Alvenaria Convencional, mantendo-se as demais características da edificação.

Figura 13 - Planta baixa da residência modelo utilizada



Fonte: Adaptado de Espaço Smart (2024)

Dessa forma, buscou-se garantir uma maior equivalência entre os sistemas analisados e maior confiabilidade nos resultados comparativos obtidos.

3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS DO ESTUDO

A obtenção dos dados compreendeu três frentes: a composição construtiva de cada sistema, o levantamento dos quantitativos de materiais da residência modelo (estudo de caso) e a definição dos coeficientes ambientais aplicados a esses materiais.

3.3.1 Coeficientes ambientais

Além dos quantitativos, a análise depende dos coeficientes ambientais de cada material, correspondentes aos três indicadores adotados.

Os coeficientes de energia incorporada, de emissões de CO_2 e de percentual de perda (geração de resíduos) encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1, 2 e 3 da Revisão Bibliográfica, juntamente com suas fontes da literatura técnica, SIDAC e EPDs.

3.3.2 Levantamento quantitativo dos materiais

O levantamento dos quantitativos e identificação dos materiais foi calculado utilizando-se como referência os projetos da residência modelo adotada.

Os quantitativos foram obtidos a partir da análise dos projetos disponíveis, incluindo documentos em Revit e PDF e, quando necessário, foram adotadas aproximações coerentes com práticas construtivas consolidadas e com base na literatura.

Para o sistema construtivo em *Light Steel Frame*, foram considerados os principais materiais que compõem a estrutura, as vedações e a cobertura da edificação. Os materiais utilizados estão relacionados na Tabela 4, que constituem o escopo da análise deste trabalho.

Tabela 4 - Composição construtiva do *Light Steel Frame*

Etapa da obra	**Material/Componente**
Estrutura	*Light Steel Frame*
Vedação Externa	Placa Glasrocx
Vedação Externa	Membrana Hidrófuga
Vedação Externa	Tela em Fibra de Vidro
Vedação Externa	Basecoat
Vedação Interna	Placa ST (*Standard*)
Vedação Interna	Placa RU (Resistente à umidade)
Vedação Interna	Tela em Fibra de Vidro
Vedação Interna	Massa de Gesso
Preenchimento Interno	Lã de Vidro

Cobertura	Estrutura em LSF
Cobertura	Subcobertura Shingle
Cobertura	Placas OSB
Cobertura	Telhas Shingle

Fonte: O autor (2026)

Já para o sistema construtivo em Alvenaria Convencional, foram considerados os materiais correspondentes às mesmas funções construtivas, selecionados de forma a manter a equivalência funcional entre os sistemas analisados. Nesse caso, incluem-se os itens relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição construtiva da alvenaria convencional

Etapa da obra	**Material/Componente**
Estrutura	Formas de Madeira
Estrutura	Vergalhões de Aço
Estrutura	Concreto Usinado
Vedação Interna/Externa	Argamassa de Assentamento
Vedação Interna/Externa	Tijolos Cerâmicos
Revestimentos	Chapisco com argamassa
Revestimentos	Emboço com argamassa
Revestimentos	Reboco com argamassa
Cobertura	Estrutura de Madeira
Cobertura	Telhas Cerâmicas

Fonte: O autor (2026)

Ressalta-se que o projeto original da edificação adotada é desenvolvido em *Light Steel Frame*, sendo necessária sua adaptação para o sistema em Alvenaria Convencional.

Dessa forma, foram mantidas a área construída, a planta baixa e a funcionalidade dos ambientes, alterando-se apenas o sistema construtivo adotado. Além disso, foi realizado um lançamento estrutural simplificado para manter a coerência do sistema construtivo.

Evidencia-se que os quantitativos obtidos não possuem caráter de orçamento executivo, tratando-se de estimativas técnicas destinadas à análise comparativa entre os sistemas construtivos.

O nível de detalhamento adotado foi definido de acordo com as necessidades da análise ambiental proposta, contemplando os materiais e serviços relevantes para o cálculo dos indicadores considerados.

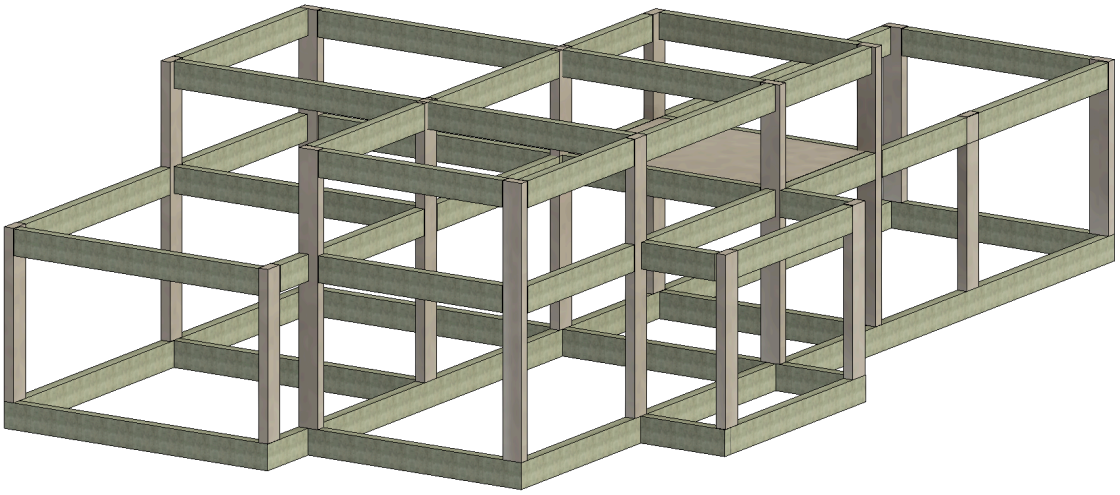
3.3.2.1 Quantitativos da Alvenaria Convencional

Para a representação do cenário de Alvenaria Convencional, foi desenvolvido, no *software* Revit, um modelo estrutural compatível com a configuração arquitetônica da edificação, conforme apresentado na Figura 14.

A definição dos elementos estruturais e das ações consideradas foi realizada com base nos critérios normativos aplicáveis às estruturas de concreto, considerando as disposições relativas às ações atuantes e aos critérios gerais de análise estrutural ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023).

O modelo contemplou os elementos necessários à representação do sistema convencional, incluindo a laje técnica existente na edificação.

Figura 14 - Visualização 3D do lançamento estrutural da edificação modelo



Fonte: O Autor (2026)

A partir desse lançamento e dos demais projetos utilizados no estudo, foram determinados os materiais necessários à composição do sistema em Alvenaria Convencional. Os respectivos quantitativos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela de quantitativos do estudo de caso no sistema de Alvenaria Convencional

Material/Componente	Quantidade
Formas de Madeira	387,84 m²
Vergalhões de Aço	3500 kg
Concreto Usinado	32,56 m³
Argamassa de Assentamento	375,10 m²
Tijolos Cerâmicos	375,10 m²
Chapisco	744,30 m²
Emboço	744,30 m²
Reboco	744,30 m²
Estrutura de Madeira da Cobertura	2,80 m³
Telhas Cerâmicas	254,27 m²

Fonte: O Autor (2026)

3.3.2.2 Quantitativos do *Light Steel Frame*

Para o cenário de *Light Steel Frame*, os quantitativos foram obtidos diretamente dos projetos originais da Casa Orlando, fornecidos pela Empresa Espaço Smart, considerando os componentes necessários à composição da edificação e as composições construtivas estabelecidas na metodologia. Os materiais e respectivos quantitativos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de quantitativos do estudo de caso no sistema *Light Steel Frame*

Material/Componente	Quantidade
Light Steel Frame	3378,49 kg
Placa Glasrocx	348,94 m²
Membrana Hidrófuga	348,94 m²
Tela em Fibra de Vidro	348,94 m²
Basecoat	348,94 m²
Placa ST	255,18 m²
Placa RU	109,35 m²
Tela em Fibra de Vidro	253,15 m²
Massa de Gesso	364,53 m²
Lã de Vidro	374,17 m²

Estrutura em LSF	1280 kg
Subcobertura Shingle	254,27 m²
Placas OSB	266,60 m²
Telhas Shingle	254,27 m²

Fonte: O Autor (2026)

O levantamento quantitativo se destaca como uma etapa essencial para o desenvolvimento da ferramenta proposta, a qual posteriormente, poderá ser aplicada em outras edificações e sistemas construtivos, permitindo tal avaliação sob a ótica ambiental da sustentabilidade.

3.4 DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS NA PLANILHA DE BASE

3.4.1 Estrutura da planilha de base

Como etapa preliminar ao desenvolvimento do aplicativo, foi elaborada uma planilha em Excel que espelha suas principais funcionalidades. Essa planilha foi utilizada para validar a lógica dos cálculos e servir como base para o desenvolvimento da ferramenta.

A planilha base foi criada de forma a organizar como os cálculos devem ocorrer, e assim, gerando uma lógica inicial para organizar tanto o fluxo da ferramenta quanto os seus dados.

A aba da planilha destinada ao quantitativo dos materiais apresenta, para cada item, a quantidade levantada no projeto, a unidade de origem, o coeficiente de conversão para quilograma e a respectiva fonte, sendo exibida na Figura 15.

Figura 15 - Aba de quantitativos dos materiais na planilha de base

ETAPA	MATERIAIS	QUANTIDADE	UNIDADE	COEFICIENTE KG	QUANT. (KG)
ESTRUTURA	FORMAS DE MADEIRA		M²	8,35	0,00
ESTRUTURA	VERGALHÕES DE AÇO		KG	1,00	0,00
ESTRUTURA	CONCRETO USINADO		M³	2300,00	0,00
VEDAÇÃO	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO		M²	16,00	0,00
VEDAÇÃO	TIJOLOS CERÂMICOS		M²	73,80	0,00
REVESTIMENTOS	CHAPISCO		M²	6,00	0,00
REVESTIMENTOS	EMBOÇO		M²	38,00	0,00
REVESTIMENTOS	REBOCO		M²	8,00	0,00
COBERTURA	ESTRUTURA DE MADEIRA		M³	530,00	0,00
COBERTURA	TELHAS CERÂMICAS		M²	41,25	0,00
ESTRUTURA	LIGHT STEEL FRAME		KG	1,00	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	PLACA GLASROCX		M²	11,10	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	MEMBRANA HIDRÓFUGA		M²	0,15	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	TELA EM FIBRA DE VIDRO		M²	0,24	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	BASECOAT		M²	5,00	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA ST		M²	8,10	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA RU		M²	8,50	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	TELA EM FIBRA DE VIDRO		M²	0,24	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	MASSA DE GESSO		M²	7,50	0,00
PREENCHIMENTO INTERNO	LÃ DE VIDRO		M²	0,50	0,00
COBERTURA	ESTRUTURA EM LSF		KG	1,00	0,00
COBERTURA	SUBCOBERTURA SHINGLE		M²	0,11	0,00
COBERTURA	PLACAS OSB		M²	9,15	0,00
COBERTURA	TELHAS SHINGLE		M²	10,80	0,00

Fonte: O autor (2026)

Além disso, a planilha de base possui a aba destinada a inserção dos coeficientes ambientais, citados anteriormente, os quais já virão no aplicativo para todos os usuários para a realização dos cálculos dos indicadores. A Figura 16 apresenta essa seção da planilha.

Figura 16 - Aba de coeficientes ambientais dos materiais na planilha de base

INDICADORES AMBIENTAIS - ALVENARIA CONVENCIONAL			
MATERIAL	EMISSÕES DE CO_2 ($KGCO_2/KG$)	ENERGIA INCORPORADA (MJ/KG)	GERAÇÃO DE RESÍDUOS (%)
Madeira Compensada (Fôrmas)	0,2642	11,488	1,15
Aço (Vergalhão)	1,06	16	0,105
Concreto dosado em central fck 30MPa	0,136	1,052	0,2268
Argamassa (Assentamento) 1:2:8	0,154	1,143	0,24
Argamassas (Revestimento) 1:2:8	0,154	1,143	0,555
Bloco cerâmico (14×19×29 cm)	0,151	4,366	0,15
Madeira serrada aplainada (pinus)	0,0737	12,707	0,1
Telha Cerâmica Americana	0,312	9,454	0,1

INDICADORES AMBIENTAIS - LIGHT STEEL FRAME			
MATERIAL	EMISSÕES DE CO_2 ($KGCO_2/KG$)	ENERGIA INCORPORADA (MJ/KG)	GERAÇÃO DE RESÍDUOS (%)
Perfis de Aço Leve	2,44	29,8	0,0352
Placa Glasroc X	0,33	6,74	0,0187
Placa de Gesso ST	0,21	6,04	0,019
Placa de Gesso RU	0,24	6,33	0,019
Membrana Hidrófuga	3,69	100,97	0,0158
Tela de Vidro	2,61	57,8	0,0187
Basecoat	0,23	4,01	0,05
Lã de Vidro	1,62	33,3	0,25
Massa de Gesso	0,169	0,897	0,0187
Subcobertura Shingle	0,117	3,375	0,0158
Painéis OSB	1,37	2,52	0,0599
Telha Shingle	0,3	13,96	0,0539

Fonte: Drywall Finishing Council (2024); Holzmann Mass e Tavares (2017); Laruccia (2014); Mendes, G (2021); Nogueira (2020); Ode Industry and Trade Inc. (2021); SIDAC (2026); The International EPD System (2026)

3.4.2 Conversão dos quantitativos para massa

Os quantitativos dos materiais foram inicialmente obtidos em suas unidades originais, como massa (kg), área (m²), volume (m³) e outras unidades específicas, sendo posteriormente convertidos para quilogramas (kg) tanto na planilha do Excel como no aplicativo.

Essa conversão foi realizada de acordo com a Equação 1, desenvolvida pelo autor para esse trabalho:

$$M = Q_o \times fc \qquad (1)$$

Onde:

M = massa do material, em quilogramas (kg);

Q_o = quantidade do material levantada no projeto, em sua unidade original (kg, m² ou m³);

fc = coeficiente de conversão para massa, específico de cada material, expresso em quilogramas por unidade de origem (kg/kg, kg/m² ou kg/m³, conforme o caso).

Os valores de fc foram obtidos a partir de literatura técnica especializada para cada material, sendo previamente registrados na planilha de base, juntamente com os coeficientes ambientais utilizados na análise.

Dessa forma, todos os materiais são expressos em massa (kg), garantindo compatibilidade com os indicadores ambientais calculados com as Equações 2, 3 e 4.

3.4.3 Cálculo dos indicadores ambientais

A partir dos quantitativos dos materiais e dos respectivos coeficientes ambientais definidos para cada indicador, foram realizados os cálculos das emissões de dióxido de carbono (CO_2), da energia incorporada e da geração de resíduos da construção civil.

Os indicadores foram estimados multiplicando-se o respectivo coeficiente ambiental pelo quantitativo obtido no levantamento. Os resultados individuais agrupados de acordo com o sistema construtivo e etapa da construção permitiram a obtenção dos valores totais de cada indicador.

Para possibilitar a aplicação dos coeficientes aos quantitativos obtidos no levantamento, foram estabelecidas equações específicas para cada indicador ambiental na planilha feita em Excel. A Figura 17 apresenta a etapa de processamento dos dados na planilha de base utilizada para a validação dos cálculos.

Figura 17 - Aba de processamento dos dados na planilha de base

PROCESSAMENTO DE DADOS - ALVENARIA CONVENCIONAL					
ETAPA	MATERIAIS	QUANTIDADE (KG)	EMISSÕES DE CO_2 TOTAIS ($KGCO_2$)	ENERGIA INCOP. TOTAL (MJ)	RESÍDUOS TOTAIS (KG)
ESTRUTURA	FORMAS DE MADEIRA	0,00	0,00	0,00	0,00
ESTRUTURA	VERGALHÕES DE AÇO	0,00	0,00	0,00	0,00
ESTRUTURA	CONCRETO USINADO	0,00	0,00	0,00	0,00
REVESTIMENTOS	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	0,00	0,00	0,00	0,00
REVESTIMENTOS	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	0,00	0,00	0,00	0,00
VEDAÇÃO	TIJOLO CERÂMICO	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	MADEIRA DO TELHADO	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	TELHA CERÂMICA	0,00	0,00	0,00	0,00

PROCESSAMENTO DE DADOS - LIGHT STEEL FRAME					
ETAPA	MATERIAIS	QUANTIDADE (KG)	EMISSÕES DE CO_2 TOTAIS ($KGCO_2$)	ENERGIA INCOP. TOTAL (MJ)	RESÍDUOS TOTAIS (KG)
ESTRUTURA	PERFIS DE AÇO LSF	0,00	0,00	0,00	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	PLACA GLASROCX	0,00	0,00	0,00	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA DE GESSO ST	0,00	0,00	0,00	0,00
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA DE GESSO RU	0,00	0,00	0,00	0,00
VEDAÇÃO EXTERNA	MEMBRANA HIDRÓFUGA	0,00	0,00	0,00	0,00
REVESTIMENTOS	TELA EM FIBRA DE VIDRO	0,00	0,00	0,00	0,00
REVESTIMENTOS	BASECOAT	0,00	0,00	0,00	0,00
REVESTIMENTOS	MASSA DE GESSO	0,00	0,00	0,00	0,00
PREENCHIMENTO INTERNO	LÃ DE VIDRO	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	SUBCOBERTURA SHINGLE	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	PLACA OSB	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	TELHAS SHINGLE	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: O autor (2026)

A Tabela 8 apresenta quais foram as unidades utilizadas para cada indicador ambiental, e na sequência as equações elaboradas pelo autor deste trabalho, utilizadas nos cálculos dos indicadores para se chegar aos resultados esperados.

Tabela 8 - Unidades utilizadas para cada indicador ambiental

Indicador	Unidade	Fontes
Energia incorporada	MJ/kg	EPD/SIDAC
Emissões de CO_2	$kgCO_2e/kg$	EPD/SIDAC
Geração de resíduos	% de perda	Literatura

Fonte: O autor (2026)

3.4.3.1 Energia incorporada

A energia incorporada dos materiais foi considerada desde a extração da sua matéria-prima até sua produção. Ela foi calculada de acordo com a Equação 2 desenvolvida para esse trabalho na planilha de base e posteriormente reproduzida dentro do aplicativo final.

$$EI = M \times cEI \quad (2)$$

Onde:
EI = energia incorporada do material, em megajoules (MJ);
M = quantidade de material, em quilogramas (kg), obtida a partir da Equação 1;
cEI = coeficiente de energia incorporada do material, em megajoules por quilograma (MJ/kg), provenientes da Tabela 1.

3.4.3.2 Emissões de dióxido de carbono (CO_2)

As emissões de dióxido de carbono associadas aos materiais foram consideradas assim como na energia incorporada, abrangendo as emissões desde a extração da matéria-prima dos materiais até a sua produção, como apresentado na Equação 3.

$$ECO_2 = M \times cCO_2 \quad (3)$$

Onde:
ECO_2 = emissões de dióxido de carbono do material, em quilogramas de CO_2 equivalente ($kgCO_2e$);
M = quantidade de material, em quilogramas (kg), obtida a partir da Equação 1;
cCO_2 = coeficiente de emissão de dióxido de carbono do material, em quilogramas de CO_2 equivalente por quilograma de material ($kgCO_2e/kg$), demonstrados na Tabela 2.

3.4.3.3 Geração de resíduos da construção civil

A geração de resíduos dos materiais de construção civil estimou a perda de cada material utilizado na edificação durante a sua fase de construção, conforme apresentado na Equação 4 desenvolvida neste trabalho.

$$GR = M \times cGR \quad (4)$$

Onde:
GR = quantidade de resíduo gerado, em quilogramas (kg);
M = quantidade de material, em quilogramas (kg), obtida a partir da Equação 1;
cGR = percentual de perda do material, apresentados na Tabela 3.

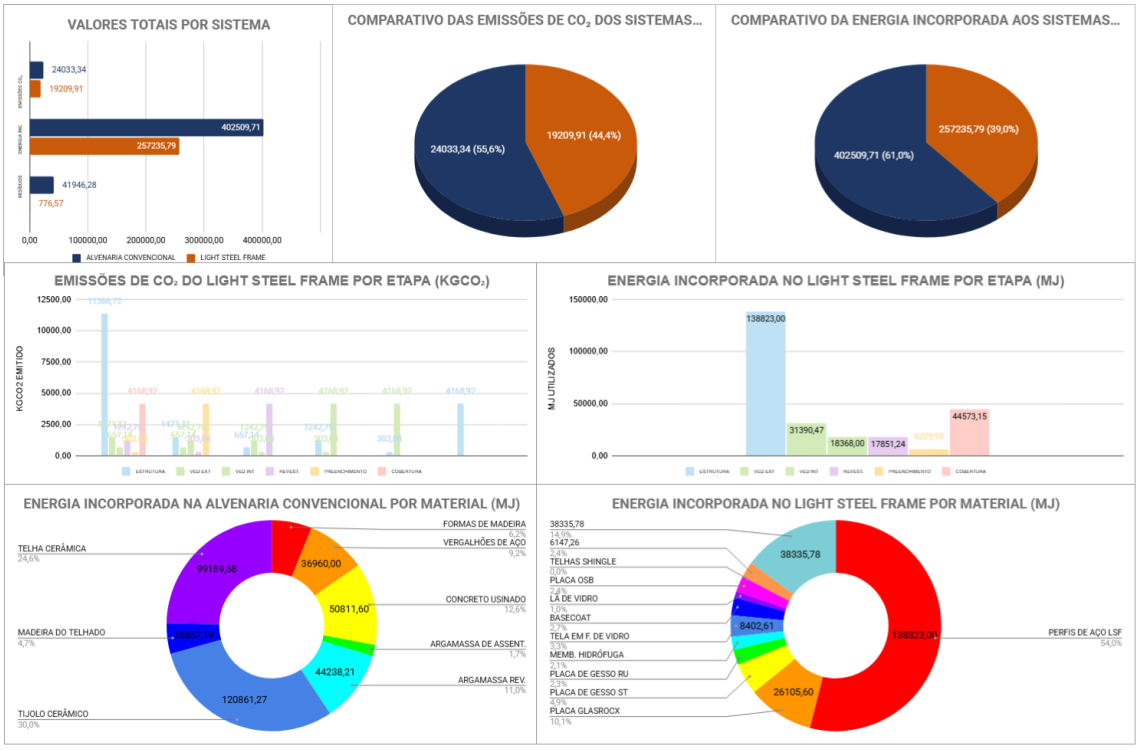
3.4.4 Critérios de análise do estudo

Após a realização dos cálculos dos indicadores ambientais, os resultados obtidos foram organizados e analisados de forma comparativa entre os sistemas construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional.

A forma de apresentação foi definida por meio de tabelas e gráficos possibilitando uma visualização mais clara do desempenho ambiental de cada sistema.

Assim, foi possível identificar quais materiais apresentaram maior contribuição para os impactos ambientais analisados e, consequentemente, quais componentes dos sistemas construtivos apresentaram maior participação nos resultados. A Figura 18 apresenta alguns dos gráficos gerados na planilha de base, reproduzidos posteriormente pelo aplicativo ao final das suas análises.

Figura 18 - Gráficos da saída dos dados na planilha de análise ambiental



Fonte: O autor (2026)

3.5 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO DE ANÁLISE AMBIENTAL

Com a lógica de cálculo estabelecida na planilha no item 3.4, a etapa seguinte consistiu no desenvolvimento do aplicativo, descrito a seguir.

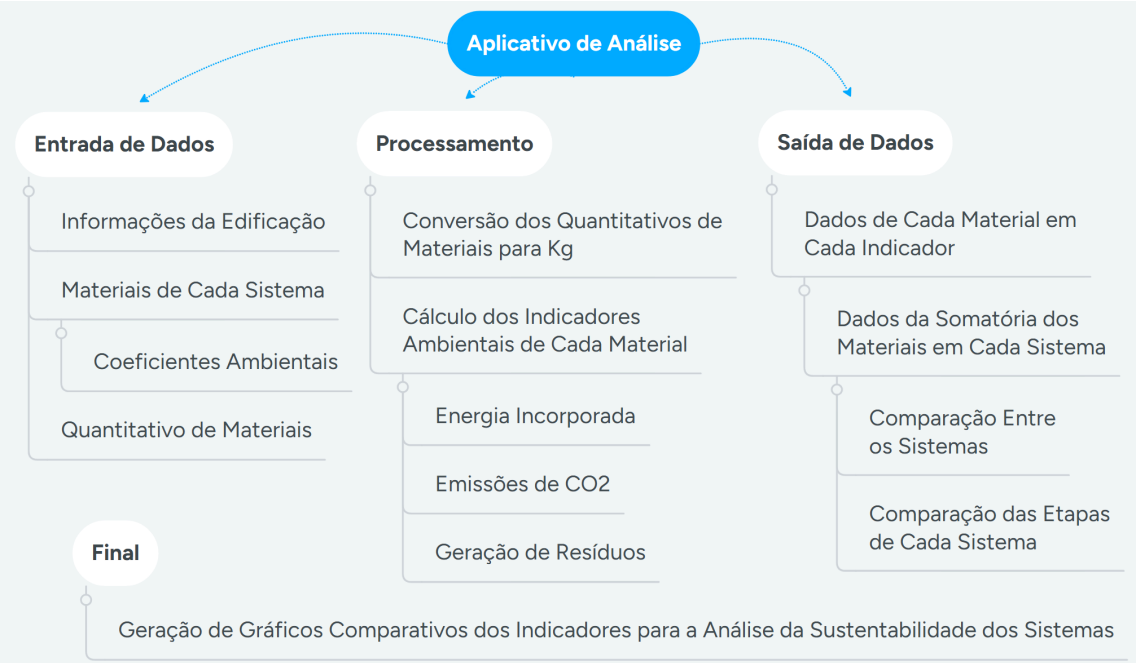
3.5.1 Concepção do aplicativo

O aplicativo desenvolvido, denominado neste trabalho de ImpactaBuild, constituiu o principal instrumento deste trabalho, sendo utilizado para organizar os dados e realizar a análise comparativa dos impactos ambientais associados aos sistemas construtivos *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional.

Essa escolha, iniciando por uma planilha e em seguida convertendo-a em aplicativo, permitiu uma maior praticidade na criação e desenvolvimento do *software*, além de trazer mais confiabilidade nos cálculos, análises e ter um instrumento de validação do aplicativo.

A estrutura da ferramenta foi organizada em diferentes etapas, distribuídas em abas interligadas, de modo a permitir um fluxo lógico de informações. O funcionamento da ferramenta é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Fluxograma de utilização do aplicativo



Fonte: O autor (2026)

Essa organização em etapas da Figura 19 estabelece o fluxo de funcionamento do aplicativo, desde a inserção dos dados da edificação e dos materiais até a apresentação das informações necessárias para a análise ambiental. Além de garantir maior clareza na disposição das informações.

3.5.2 Implementação do aplicativo

A partir da planilha de base, o modelo foi convertido em uma aplicação computacional, à qual foram incorporadas funcionalidades destinadas à entrada, organização, processamento e apresentação das informações.

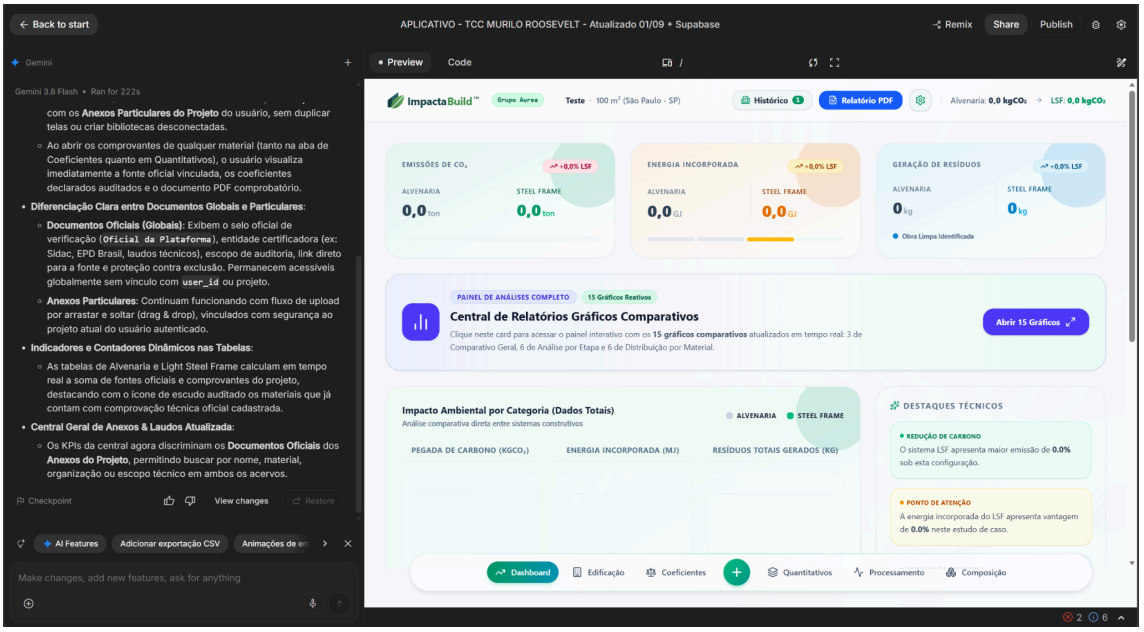
A implementação do aplicativo foi realizada com apoio de inteligência artificial generativa, utilizando o *Google AI Studio* como ambiente de desenvolvimento. A construção do sistema ocorreu por meio de instruções fornecidas em *prompts*, empregados para orientar a geração, modificação e aprimoramento do código do aplicativo.

Essa abordagem é denominada *vibe coding* e consiste na utilização de ferramentas de inteligência artificial para a geração de código a partir de instruções em linguagem natural, em um processo iterativo de desenvolvimento, teste e refinamento (Siddeeq *et al*., 2026).

Nesse processo, a inteligência artificial foi utilizada como recurso de implementação, enquanto a estrutura do modelo de cálculo, os dados empregados, as relações entre as variáveis e as funcionalidades necessárias foram previamente definidos a partir da planilha desenvolvida na etapa metodológica anterior da pesquisa.

O desenvolvimento ocorreu de forma incremental, partindo da estrutura inicial da aplicação e incorporando, progressivamente, as funcionalidades necessárias à realização das análises. A Figura 20 apresenta a interface do Google AI Studio utilizada durante o desenvolvimento do aplicativo.

Figura 20 - Tela inicial do Google AI Studio no desenvolvimento do aplicativo



Fonte: O Autor (2026)

A transformação da planilha em aplicativo teve como objetivo preservar a lógica de cálculo estabelecida na etapa anterior da pesquisa, ao mesmo tempo em que possibilitou uma interface mais organizada e a incorporação de novas funcionalidades. A correspondência entre as duas implementações é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Correspondência entre a planilha de base e o aplicativo gerado

Planilha de base	Aplicativo desenvolvido
Células de entrada	Campos de formulário
Fórmulas de célula	Funções computacionais
Tabela de materiais	Banco de dados de materiais e coeficientes
Abas de organização	Módulos/telas funcionais
Gráficos estáticos	Gráficos interativos
Estrutura vinculada ao arquivo	Estrutura destinada à utilização em diferentes projetos
Comparação entre sistemas	Comparação e simulação de diferentes configurações
Saída em planilha	Geração de relatórios

Fonte: O Autor (2026)

Durante o desenvolvimento, o comportamento do aplicativo foi comparado sucessivamente com os resultados produzidos pela planilha. Esse procedimento permitiu identificar e corrigir inconsistências frequentemente, buscando assegurar a correspondência entre as duas implementações e a manutenção da lógica de cálculo originalmente estabelecida.

3.6 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO APLICATIVO NO ESTUDO DE CASO

Após a implementação das funcionalidades descritas anteriormente, o aplicativo foi utilizado para processar os dados do estudo de caso da residência modelo Casa Orlando.

A simulação contemplou os cenários de *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional. Os quantitativos foram obtidos a partir dos projetos da edificação e dos levantamentos realizados para cada sistema, sendo apresentados nas Tabelas 6 e 7 da metodologia.

Os quantitativos foram registrados nas unidades originalmente utilizadas nos levantamentos e em seguida cadastrados no aplicativo vinculados aos respectivos materiais e coeficientes ambientais. Dessa forma, os dois sistemas construtivos foram processados sob os mesmos critérios e fluxo computacional.

3.6.1 Processamento e validação da ferramenta

Com a inserção dos quantitativos referentes aos dois sistemas construtivos, foi realizado o processamento final dos dados, concluindo-se a etapa de implementação e aplicação da ferramenta ao estudo de caso. O relatório comparativo completo gerado a partir dos dados inseridos é apresentado no Apêndice A.

Durante o desenvolvimento, o comportamento do aplicativo foi comparado sucessivamente com os resultados produzidos pela planilha de base. Esse procedimento permitiu identificar e corrigir inconsistências ao longo do processo, buscando assegurar a correspondência entre as duas implementações e a manutenção da lógica de cálculo originalmente estabelecida.

Após a conclusão da implementação com etapa final de verificação, as saídas numéricas geradas pelo aplicativo foram confrontadas com os valores obtidos por meio da planilha de base desenvolvida em Microsoft Excel.

Essa comparação teve como finalidade verificar a correta transposição da lógica de cálculo para a ferramenta desenvolvida, bem como a manutenção das relações matemáticas e das rotinas estabelecidas na modelagem inicial.

A correspondência observada entre os cálculos realizados pelo aplicativo e aqueles obtidos pela planilha de referência permitiu verificar a consistência da implementação realizada. Dessa forma, conclui-se a etapa de desenvolvimento e verificação da ferramenta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

O aplicativo foi estruturado de acordo com o fluxo metodológico estabelecido para a análise dos impactos ambientais incorporados. A utilização do sistema ocorreu de forma sequencial, desde a identificação do empreendimento até a geração do relatório final, passando pelo cadastro dos materiais, inserção dos quantitativos, processamento dos indicadores e visualização dos resultados.

Essa organização permitiu conduzir os dados desde sua entrada até a consolidação das informações ambientais, mantendo a relação entre os materiais utilizados, seus quantitativos, os coeficientes considerados e os resultados obtidos.

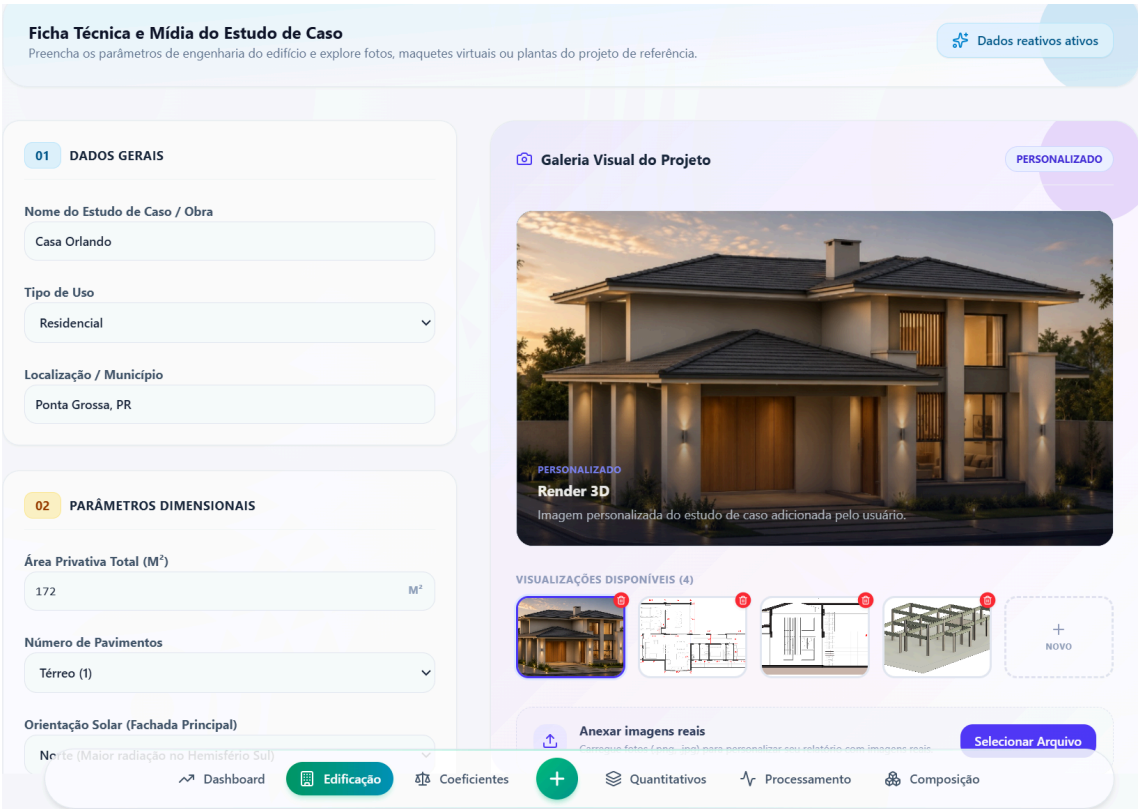
4.1.1 Identificação do projeto

A etapa inicial do aplicativo correspondeu ao cadastramento das informações básicas do empreendimento, como nome da edificação, localização, área construída e responsável pelo projeto.

Essas informações possuem função organizacional, permitindo associar os dados inseridos nas etapas seguintes ao empreendimento analisado. Além disso, são incorporadas ao relatório gerado pelo sistema, contribuindo para a identificação da análise realizada.

A etapa de identificação da edificação foi incorporada à interface para organizar as informações referentes ao empreendimento analisado, conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 - Tela de apresentação da edificação analisada e inclusão de informações iniciais



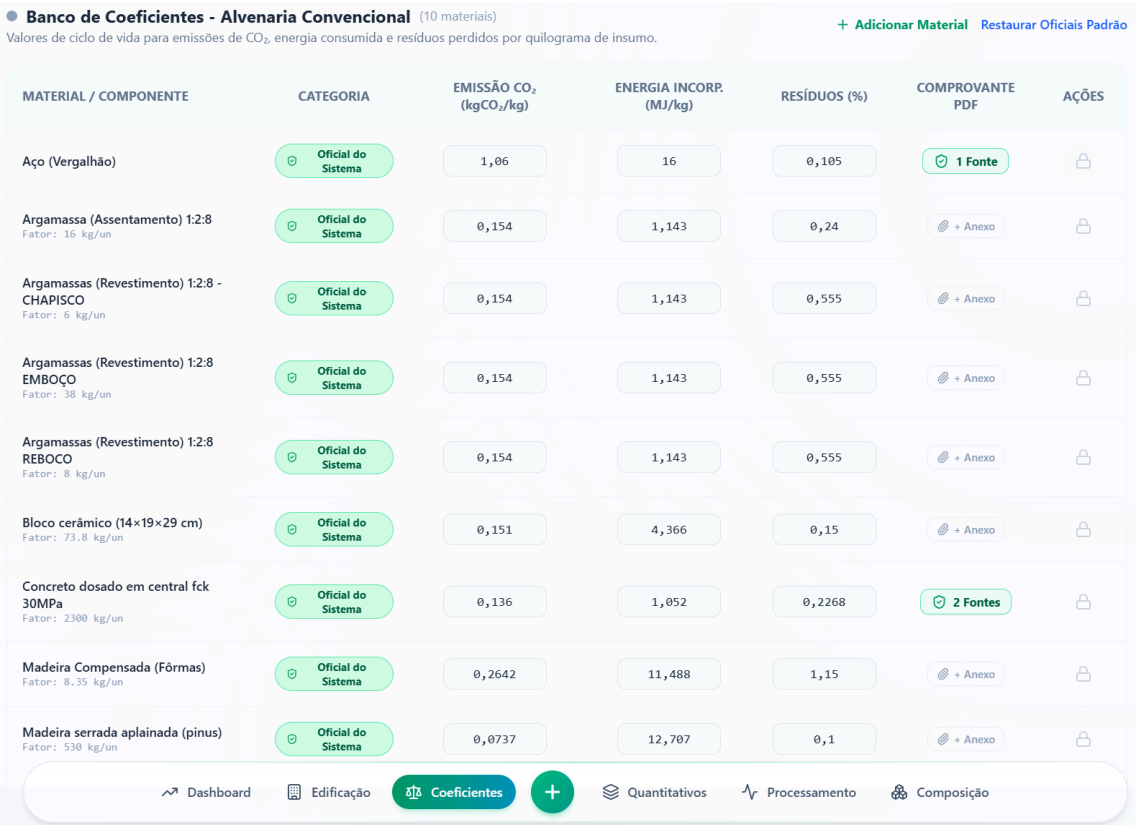
Fonte: O Autor (2026)

4.1.2 Banco de materiais e coeficientes

O banco de materiais concentra os componentes utilizados na análise e seus respectivos parâmetros ambientais. Para os materiais empregados no estudo, os coeficientes ambientais foram previamente cadastrados, incluindo a unidade de entrada e o fator de conversão para massa (kg).

Também foi incorporado ao aplicativo um banco de dados destinado ao armazenamento dos materiais e de seus respectivos coeficientes ambientais, ilustrado na Figura 22.

Figura 22 - Aba de inserção dos coeficientes ambientais do aplicativo



Fonte: O Autor (2026)

Além dos dados numéricos, foi implementada a possibilidade de associar documentos comprobatórios às informações cadastradas, como fichas técnicas e EPDs, quando disponíveis. Essa funcionalidade é mostrada na Figura 23.

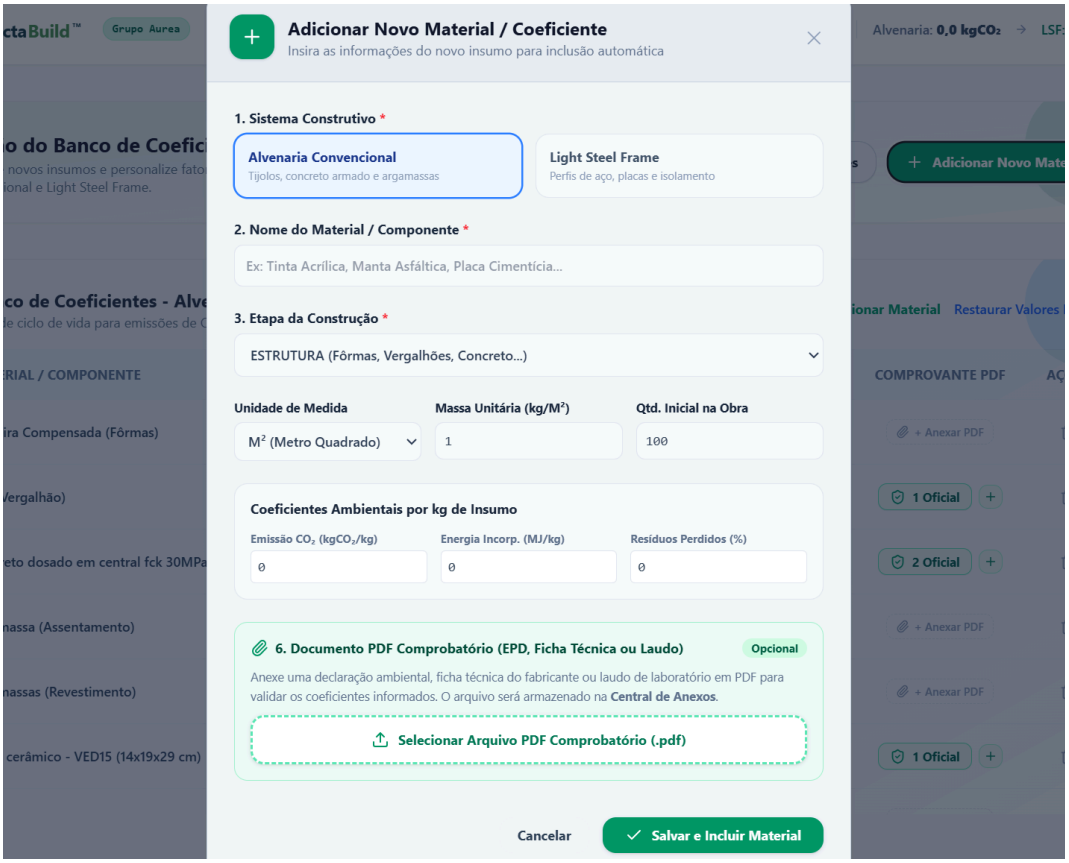
Figura 23 - Central de anexos PDF do aplicativo



Fonte: O Autor (2026)

A funcionalidade de cadastramento de novos materiais, apresentada anteriormente, está disponível na interface do aplicativo, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Tela de cadastramento de novos materiais do App



Fonte: O Autor (2026)

Ressalta-se que o aplicativo realiza o processamento dos dados a partir dos coeficientes ambientais definidos na pesquisa, mantendo a indicação de suas respectivas fontes para garantir a rastreabilidade das informações utilizadas.

4.1.3 Inserção dos quantitativos

Após a seleção e cadastramento dos materiais, foram inseridos os quantitativos de cada material.

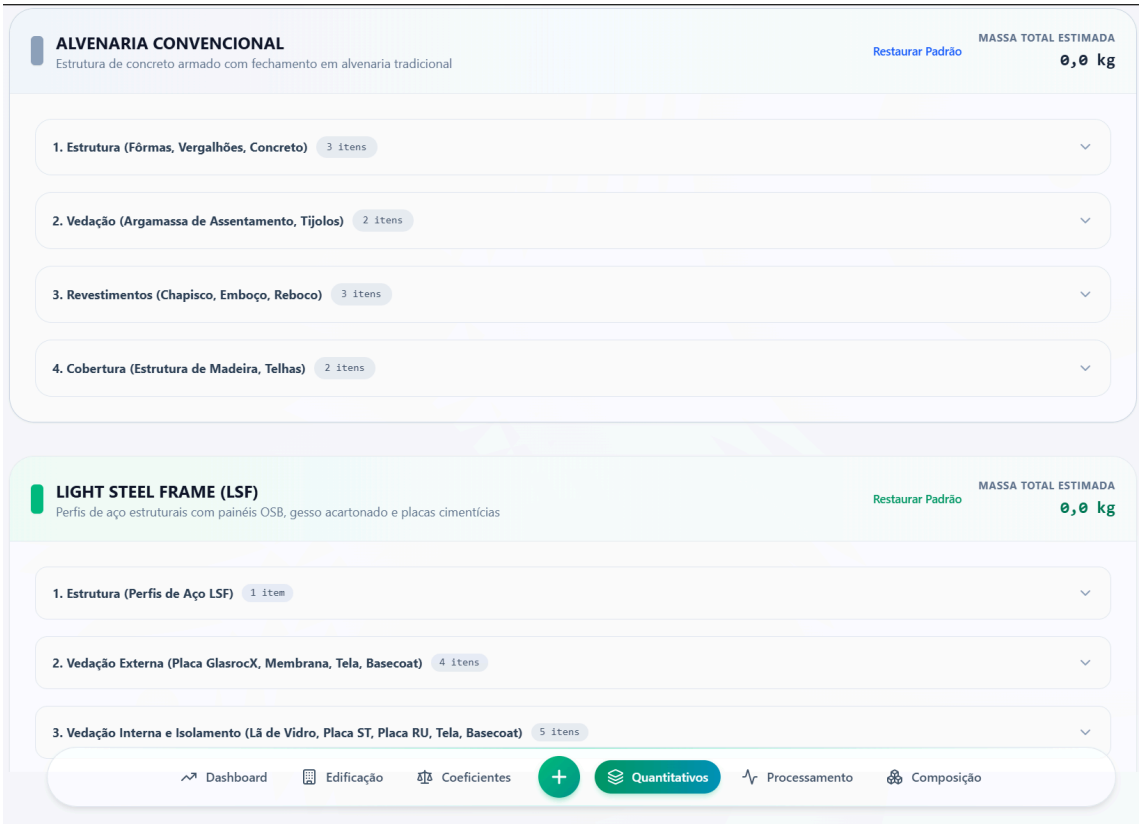
Cada registro é associado ao material correspondente e aos fatores de conversão de unidade e coeficientes ambientais previamente cadastrados.

Os quantitativos foram organizados de acordo com o sistema construtivo e a etapa de obra, seguindo a estrutura apresentada nas Tabelas 4 e 5 da metodologia.

Essa organização permite que os resultados sejam posteriormente consolidados tanto para cada material, etapa construtiva quanto para o sistema analisado como um todo.

Os campos de quantitativos da planilha de base foram incorporados ao aplicativo por meio de uma interface organizada segundo as etapas construtivas e os sistemas analisados, conforme a Figura 25.

Figura 25 - Tela de inserção de quantitativos do aplicativo



Fonte: O Autor (2026)

4.1.4 Processamento dos indicadores

Após a inserção dos dados, o aplicativo realiza automaticamente o processamento dos indicadores ambientais. Os cálculos seguem as Equações 2, 3 e 4, apresentadas no item 3.4.3.

Inicialmente, os quantitativos são convertidos internamente para massa, quando necessário. Em seguida, a massa correspondente a cada

componente é relacionada aos respectivos coeficientes ambientais, permitindo calcular os valores dos indicadores considerados no estudo.

O processamento ocorre individualmente para cada componente e, posteriormente, os resultados são consolidados de acordo com a etapa construtiva e o sistema analisado. Dessa forma, o aplicativo reproduz computacionalmente a lógica de cálculo estabelecida na planilha de base.

4.1.5 Visualização dos resultados

Os resultados do processamento são exibidos na própria interface do aplicativo por meio de tabelas e gráficos interativos.

A representação permite visualizar e comparar os três indicadores ambientais considerados no estudo, tanto entre os sistemas construtivos quanto entre as diferentes etapas da edificação.

O uso de elementos gráficos interativos facilita a interpretação dos resultados e a identificação das contribuições relativas de cada etapa ou sistema.

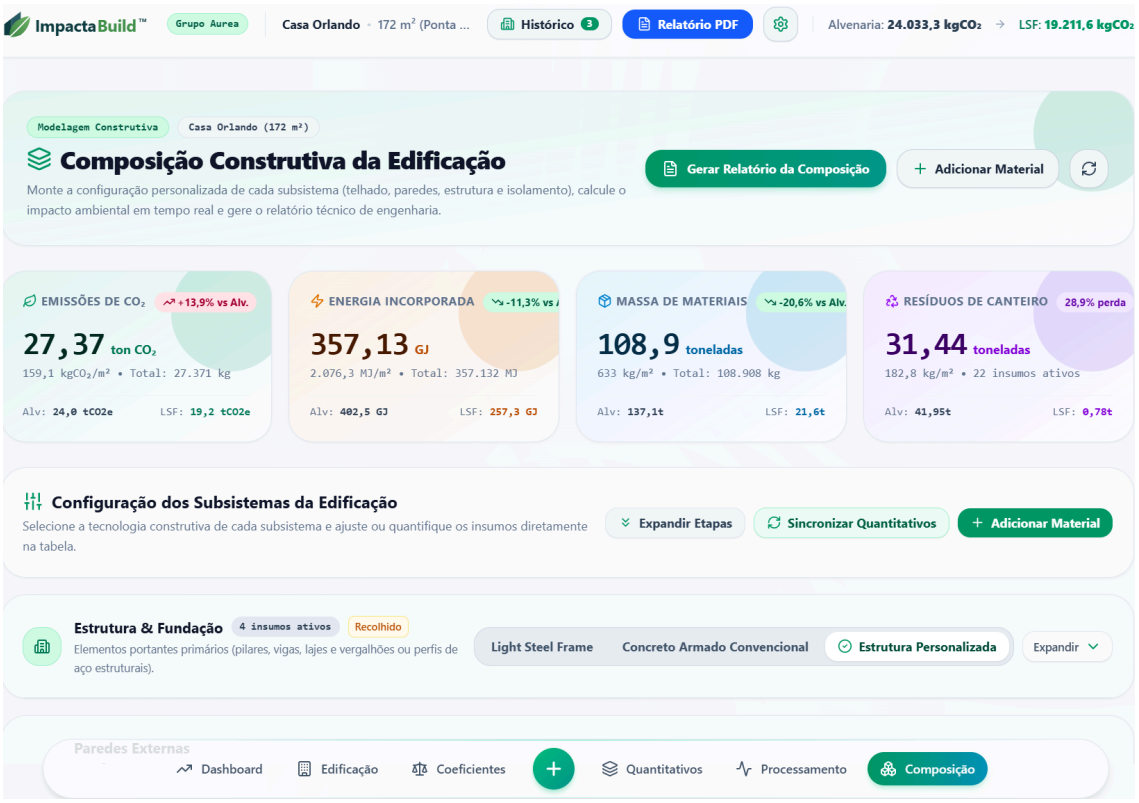
4.1.6 Simulação de soluções híbridas

O aplicativo permite ainda a criação de composições híbridas por meio da seleção de diferentes sistemas construtivos para partes específicas da edificação. Por exemplo: alvenaria nas paredes externas e sistemas de painéis secos nas internas.

Após a seleção dos sistemas para cada parte da edificação, o aplicativo realiza automaticamente o cálculo dos indicadores ambientais considerando a composição escolhida.

Dessa forma, é possível avaliar diferentes combinações de sistemas construtivos, e não apenas comparar edificações compostas integralmente por um único sistema. A Figura 26 apresenta a aba de criação de composições construtivas do aplicativo.

Figura 26 - Aba de criação de composições construtivas no aplicativo



Fonte: O Autor (2026)

4.1.7 Geração de relatório

Como etapa final do fluxo de utilização, o aplicativo foi desenvolvido para gerar um relatório consolidado contendo as principais informações relacionadas à análise que apresenta dados do empreendimento, materiais utilizados, quantitativos inseridos, os coeficientes considerados e os resultados obtidos pelo processamento.

A geração automatizada do relatório organiza as informações em um único documento, facilitando o registro e a consulta posterior dos dados utilizados na análise.

Para as aplicações desenvolvidas neste trabalho, o Apêndice A traz o relatório referente à comparação direta entre os sistemas construtivos, enquanto o Apêndice B traz o relatório correspondente à composição híbrida feita como exemplo.

4.2 FUNCIONALIDADES E VERIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DO APLICATIVO IMPACTABUILD

Como resultado principal deste trabalho, obteve-se o desenvolvimento do aplicativo computacional ImpactaBuild, uma ferramenta web interativa, auditável e voltada ao suporte à tomada de decisão na Engenharia Civil.

A confecção do software permitiu consolidar em um único ambiente a entrada de quantitativos, a consulta a coeficientes ambientais parametrizados (SIDAC e EPDs) e o processamento em tempo real dos indicadores de energia incorporada, emissões de CO_2 e geração de resíduos.

A ferramenta foi estruturada modularmente em abas funcionais (Edificação, Coeficientes, Quantitativos, Processamento e Composição), integrando recursos avançados como a Central de Anexos em PDF para comprovação de laudos técnicos, a funcionalidade de simulação de arranjos construtivos híbridos e o módulo de exportação automatizada de relatórios técnicos de engenharia (Apêndices A e B).

O aplicativo apresenta uma tela inicial de acesso, na qual o usuário pode realizar o cadastro para criar uma conta e acessar as funcionalidades da ferramenta ou optar pelo acesso como visitante. A aplicação está disponível em: https://impactabuild.vercel.app/.

Para assegurar a confiabilidade das rotinas matemáticas codificadas na aplicação, realizou-se a verificação da correspondência numérica entre as saídas geradas pelo aplicativo e os valores calculados na planilha de base.

Aplicando-se rigorosamente os mesmos quantitativos de entrada e coeficientes, os resultados consolidados da edificação modelo do estudo de caso na planilha e no aplicativo são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparativo para verificação do aplicativo quanto aos indicadores ambientais calculados.

Indicador	Sistema Construtivo	Planilha de base	Aplicativo	Diferença
Energia incorporada (MJ)	Alv. Convencional	461.961,73	461.961,7	0,000%

Energia incorporada (MJ)	LSF	257.235,79	257.272,4	0,014%
Emissões de CO_2 ($kgCO_2e$)	Alv. Convencional	29.196,84	29.196,8	0,000%
Emissões de CO_2 ($kgCO_2e$)	LSF	19.209,91	19.211,6	0,009%
Geração de resíduos (kg)	Alv. Convencional	49.346,83	49.346,8	0,000%
Geração de resíduos (kg)	LSF	776,57	776,6	0,004%

Fonte: O Autor (2026)

A análise dos dados da Tabela 10 demonstra a equivalência numérica entre a planilha de referência e o aplicativo desenvolvido, registrando uma diferença máxima de 0,014%.

Essa diferença pode ser associada ao arredondamento e às diferenças de representação numérica entre as rotinas computacionais implementadas. O resultado confirma que a lógica matemática estabelecida no modelo de cálculo foi preservada integralmente durante a codificação do aplicativo, atestando a sua confiabilidade.

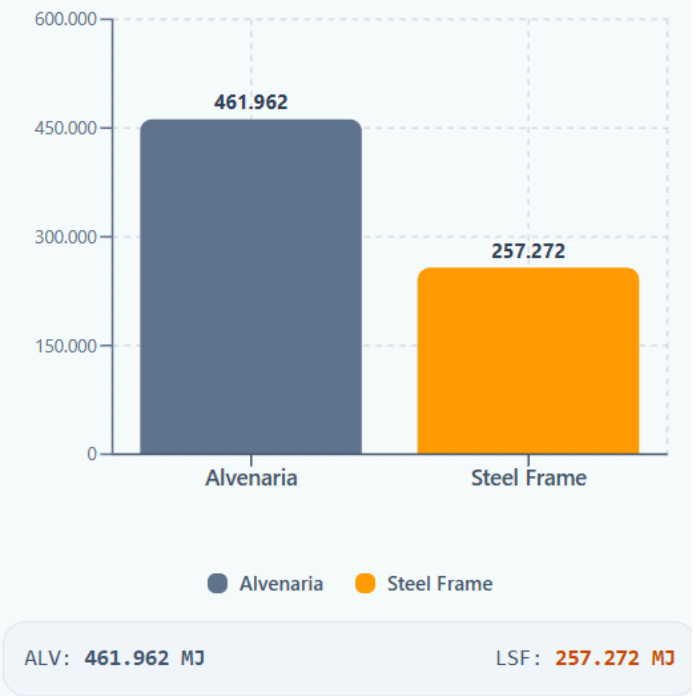
As figuras gráficas apresentadas a seguir são as geradas pelo aplicativo desenvolvido neste trabalho.

4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA NO ESTUDO DE CASO

4.3.1 Análise da energia incorporada e distribuição por etapas

A avaliação da demanda energética nas etapas de extração e produção dos materiais indicou um consumo de 461.961,7 MJ para a Alvenaria Convencional e de 257.272,4 MJ para o *Light Steel Frame*, resultando em uma redução de 44,3% no consumo de energia incorporada em favor do LSF conforme é apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Gráfico comparativo da Energia Incorporada entre os sistemas construtivos



Fonte: O Autor (2026)

A redução obtida para o LSF é coerente com estudos nacionais sobre sistemas construtivos industrializados. Holzmann Mass e Tavares (2017), ao comparar uma residência em LSF com uma edificação equivalente em Alvenaria Convencional, identificou que majoritariamente a massa dos materiais foi consideravelmente menor para o *Light Steel Frame* em comparação com a Alvenaria Convencional.

Tal diferença contribui para explicar o menor impacto global do sistema industrializado, ainda que alguns de seus componentes apresentem coeficientes ambientais específicos elevados.

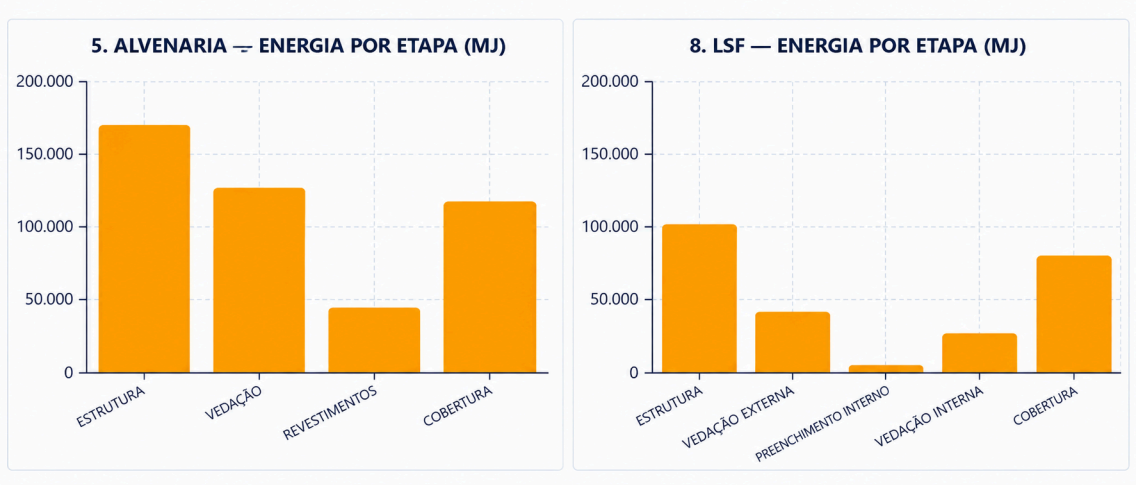
Essa constatação é fundamental para a interpretação dos dados, pois a menor energia incorporada global do LSF não decorre simplesmente da existência de menores coeficientes individuais para todos os componentes.

Ao contrário, o aço galvanizado apresenta um elevado coeficiente energético por unidade de massa, de 29,80 MJ/kg, quando comparado ao concreto usinado, de 1,052 MJ/kg, ou ao bloco cerâmico, de 4,366 MJ/kg.

A vantagem do LSF é explicada pela combinação entre menor massa total, racionalização dos painéis e substituição de subsistemas massivos por soluções leves e secas.

No estudo de caso da Casa Orlando, a distribuição por etapas apresentou comportamentos específicos conforme demonstrado na Figura 28.

Figura 28 - Gráficos da Energia Incorporada por etapas dos sistemas construtivos



Fonte: O Autor (2026)

Na alvenaria convencional, as etapas de estrutura, vedação e cobertura foram os principais contribuintes energéticos, totalizando respectivamente 171.985,7 MJ, 127.721,1 MJ e 118.016,8 MJ.

Esses valores se justificam pelo fato de a produção de tijolos cerâmicos e de telhas cerâmicas demandar elevada quantidade de energia, conforme evidenciado em avaliações de ciclo de vida da cerâmica vermelha (Von Mühlen, 2023). Além da energia utilizada na produção do cimento, grande contribuinte do concreto na etapa de estrutura da edificação.

Já no *Light Steel Frame*, as etapas com maior consumo de energia foram a de estrutura e de cobertura, com, respectivamente, 100.679 MJ e 82.717,1 MJ. Isso se deve ao fato de a produção do aço demandar elevada quantidade de energia (World Steel Association, 2021).

Já a cobertura apresenta valor elevado, assim como na alvenaria, porém isso se deu pela composição asfáltica das telhas *shingle* utilizadas no sistema, cuja fabricação envolve uma quantidade relevante de energia incorporada (Sustainability Directory, 2025).

Por fim, ressalta-se que a vantagem energética do LSF está restrita à fronteira pré-operacional adotada neste estudo. Caldas *et al.* (2017), ao compararem habitações em Alvenaria Convencional e *Light Steel Frame* em

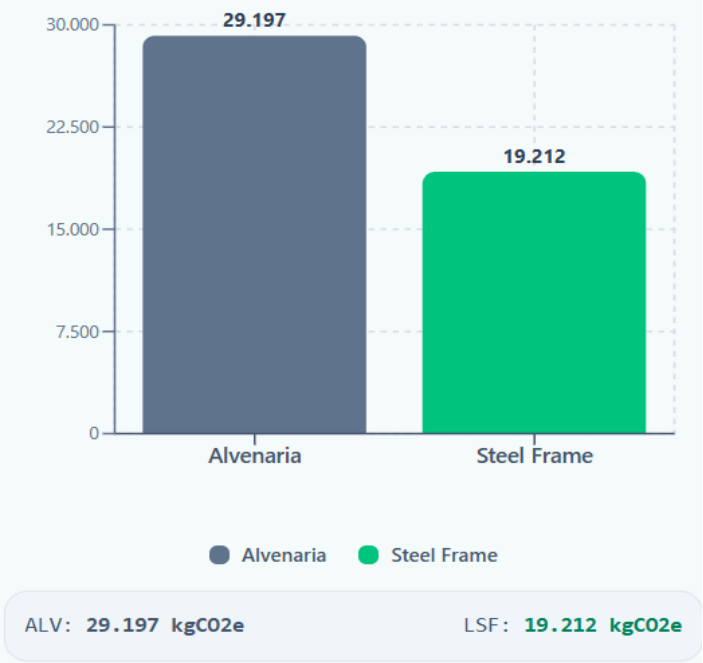
Brasília, demonstraram que a fase operacional pode representar entre 50% e 70% das emissões do ciclo de vida.

Assim, o desempenho térmico, o consumo de energia durante o uso e as necessidades de manutenção devem ser considerados em avaliações de ciclo de vida completo.

4.3.2 Emissões de dióxido de carbono entre os sistemas construtivos

O indicador de Emissões de Dióxido de Carbono totalizou 29.196,8 $kgCO_2e$ para a Alvenaria Convencional e 19.211,6 $kgCO_2e$ para o *Light Steel Frame*, correspondendo a uma redução de 34,2% nas emissões em favor do LSF, como indicado na Figura 29.

Figura 29 - Gráfico comparativo das Emissões de CO_2 entre os sistemas construtivos

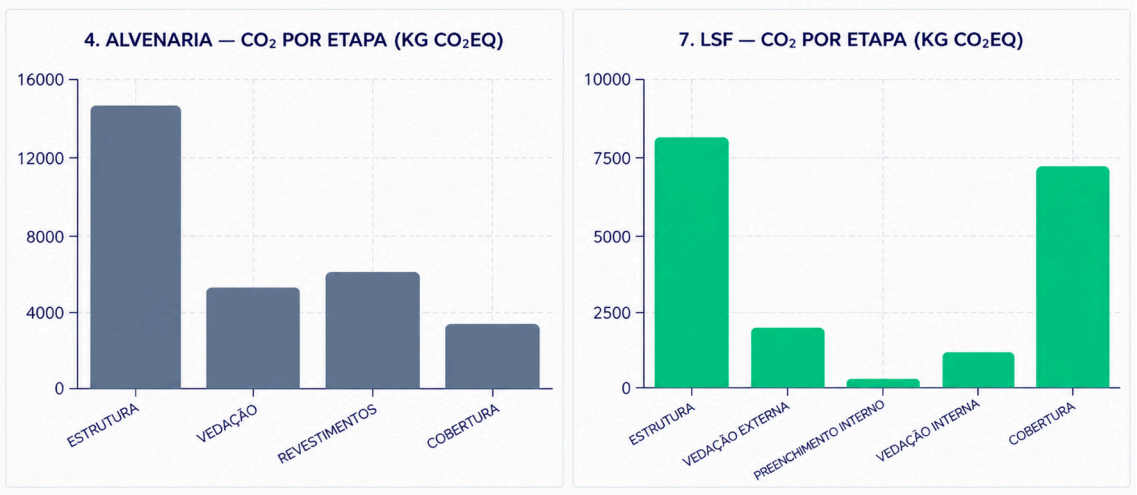


Fonte: O Autor (2026)

Esse resultado é compatível com a tendência observada em estudos brasileiros que analisaram a fase de construção. Caldas *et al.* (2017) obtiveram emissões de 0,38 tCO_2e/m^2 para uma residência em Alvenaria Convencional e de 0,32 tCO_2e/m^2 para uma residência em LSF, correspondendo a uma diferença aproximada de 16% a favor do sistema industrializado.

Ao se analisar as emissões divididas nas etapas de construção apresentadas na Figura 30, pode-se compreender onde são gerados os maiores impactos ambientais dentro desse indicador.

Figura 30 - Gráficos de Emissões de CO_2 por etapas dos sistemas construtivos



Fonte: O Autor (2026)

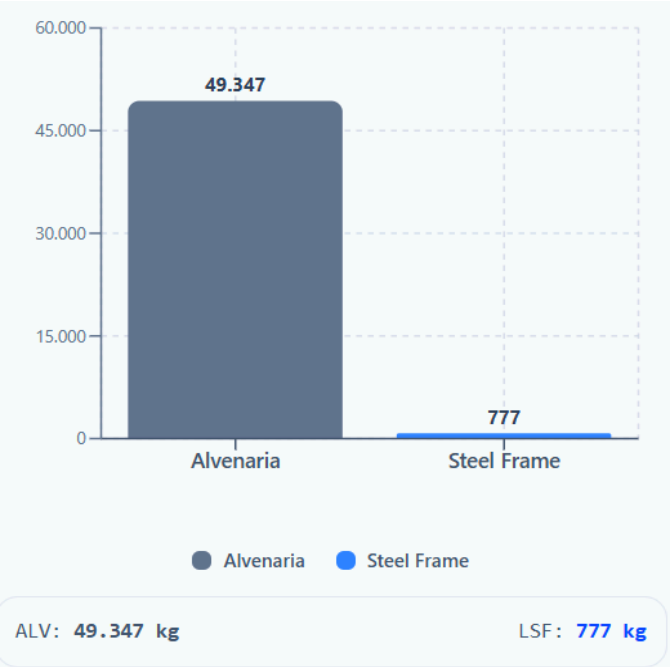
Nota-se que, na alvenaria, existe uma distribuição das emissões de CO_2 mais uniforme entre as suas etapas, se comparado ao *Light Steel Frame*, porém ainda há uma quantidade muito mais elevada nos processos relacionados à estrutura da edificação. Tal resultado é corroborado pelo estudo de Souza (2017), que atribuiu a maior parcela das emissões do sistema convencional à superestrutura.

Já no LSF, as emissões de CO_2 são muito mais expressivas nas etapas de estrutura e de cobertura, em comparação com as outras etapas. Isso em função do uso intensivo de perfis de aço galvanizado nessas fases, os quais possuem grande potencial de emissões (Abouhamad; Abu-Hamd, 2020).

4.3.3 Resultados das estimativas de geração de resíduos

O indicador de perdas de resíduos sólidos foi adotado na metodologia deste trabalho para estimar as perdas físicas de materiais durante a execução da obra. O gráfico comparativo das perdas entre os sistemas é apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Gráfico comparativo da Geração de Resíduos entre os sistemas construtivos na obra



Fonte: O Autor (2026)

O aplicativo registrou 49.346,8 kg de resíduos na Alvenaria Convencional contra 776,6 kg no *Light Steel Frame*, revelando uma redução de aproximadamente 98,4% na geração de resíduos em favor do LSF.

O resultado mantém a mesma tendência observada em pesquisas brasileiras. Holzmann Mass e Tavares (2017) identificaram que o LSF teve uma redução de 84,6% na geração de resíduos comparando uma mesma edificação em Alvenaria Convencional.

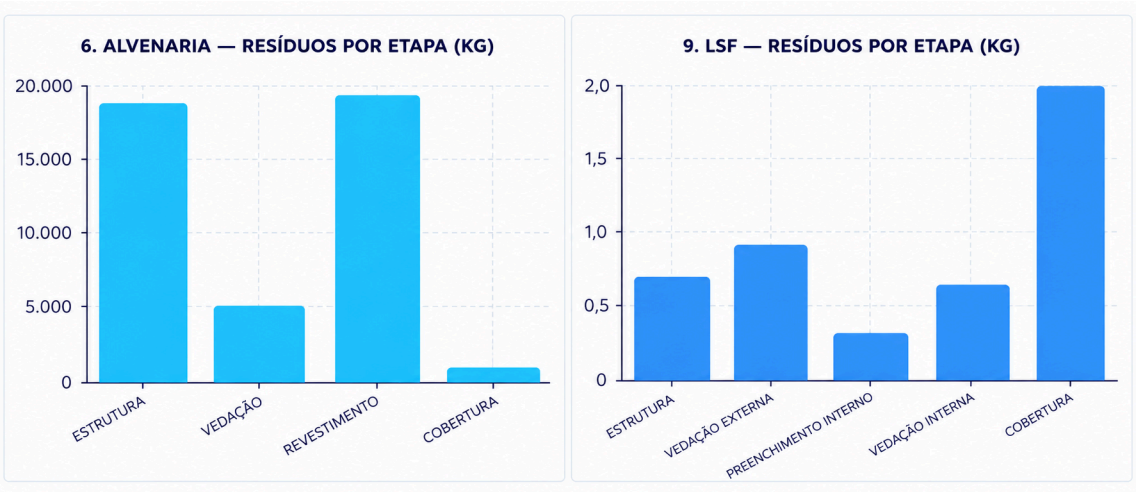
A redução de 98,4% obtida na Casa Orlando é um pouco mais expressiva que os resultados encontrados em alguns estudos anteriores. Essa diferença pode estar relacionada aos quantitativos, à geometria da edificação, à composição dos sistemas e aos critérios utilizados para os quantitativos de materiais.

Além disso, é importante considerar que a análise realizada neste estudo expressa a geração de resíduos em massa, e não em volume. Como os materiais empregados no LSF são, em geral, mais leves que aqueles utilizados na Alvenaria Convencional, essa característica contribui para ampliar a diferença observada nos resultados.

Portanto, a análise demonstra a diferença entre as massas de resíduos estimadas para os dois sistemas, não representando, necessariamente, uma redução de mesma magnitude em seu volume

Na Alvenaria Convencional, os revestimentos argamassados e a estrutura constituíram os principais geradores de resíduos, totalizando 21.480,5 kg e 21.076,3 kg de resíduos respectivamente, enquanto no LSF foi a etapa de cobertura a responsável pela maior quantidade de resíduos, chegando a 339,6 kg. A Figura 32 apresenta os gráficos por etapas de ambos os sistemas construtivos.

Figura 32 - Gráficos de Geração de Resíduos por etapas dos sistemas construtivos



Fonte: O Autor (2026)

O resultado da Alvenaria pode ser relacionado às perdas decorrentes da preparação, do transporte em canteiro, da aplicação e da regularização das argamassas, além das sobras da mistura nos revestimentos argamassados e o descarte das formas após a utilização para a estrutura, uma vez que essas etapas possuem uma elevada capacidade de desperdício (Albuquerque; Lira; Sposto, 2018).

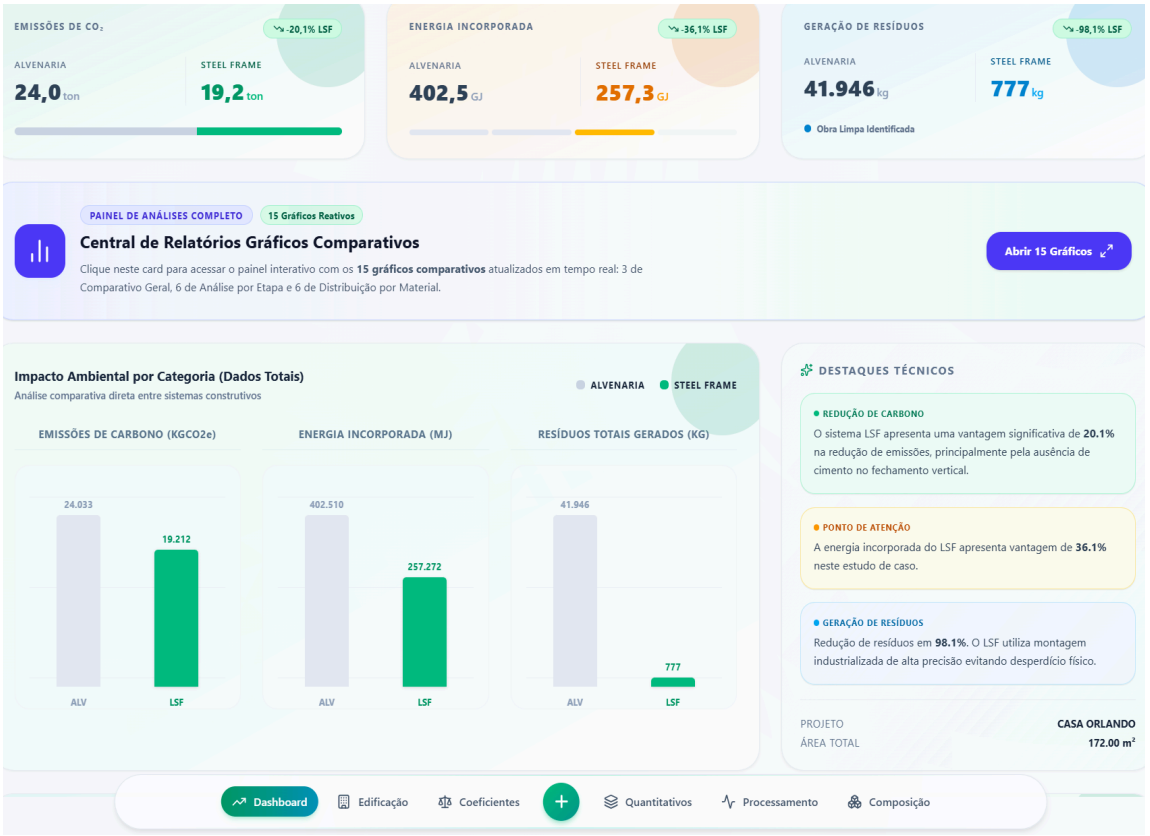
Já no *Light Steel Frame*, a relevância dos resíduos de cobertura é coerente com o estudo de Green Seal Environmental (2016), que identificou as telhas asfálticas como componente significativo do fluxo de resíduos de construção e demolição.

4.3.4 Visão consolidada e aba inicial do aplicativo

Além das análises individuais por indicador, o aplicativo disponibiliza em sua aba inicial uma visão integrada.

A Figura 33 apresenta a tela geral do ImpactaBuild, que reúne em uma única interface os valores totais consolidados de energia incorporada, emissões de CO_2 e geração de resíduos ao lado do gráfico comparativo global entre os dois sistemas construtivos.

Figura 33 - Visão geral da aba inicial do aplicativo com os valores totais e o gráfico comparativo dos indicadores ambientais



Fonte: O Autor (2026)

Essa apresentação unificada proporciona uma leitura rápida e direta do desempenho ambiental da edificação.

4.4 SIMULAÇÃO DE COMPOSIÇÕES HÍBRIDAS

Como uma funcionalidade a mais, o aplicativo possibilita simular cenários híbridos, combinando elementos em LSF e Alvenaria na mesma edificação.

Para demonstrar essa aplicação, avaliou-se uma configuração intermediária, bastante comum por reduzir o investimento no LSF e, ainda assim, manter suas características construtivas positivas.

Essa configuração é constituída por estrutura de concreto armado, paredes externas em alvenaria, paredes internas em *Light Steel Frame* e cobertura com estrutura metálica e telhas *shingle*. A Figura 34 apresenta o resultado gerado pelo aplicativo para essa composição.

Figura 34 - Resultados apresentados pelo aplicativo para a composição híbrida criada



Fonte: O Autor (2026)

A simulação demonstrou que o sistema construtivo híbrido apresentou desempenho ambiental distinto para cada indicador analisado. Em comparação à Alvenaria Convencional, observou-se uma redução de 11,3% na energia incorporada e de 20,6% na massa total de materiais, porém, os valores da composição híbrida permaneceram superiores aos observados para o LSF.

Esse comportamento evidencia que uma mesma configuração construtiva pode apresentar resultados distintos conforme o indicador ambiental considerado, aspecto também observado em estudos que avaliam alternativas construtivas por múltiplos critérios ambientais (Chaudhary; Akhtar, 2023; Theilig *et al.,* 2024).

Ao analisar os dados de emissões de CO_2, pode-se notar que houve um aumento em relação a ambos os sistemas construtivos originais. Isso pode ser associado à presença simultânea de elementos estruturais em concreto armado e aço leve na composição híbrida, que são os dois materiais que mais

emitem CO_2. E como visto anteriormente, a etapa de estrutura de ambos os sistemas construtivos é a que mais gera emissões.

Dessa forma, os resultados indicam que a avaliação ambiental de sistemas construtivos deve considerar múltiplos indicadores ambientais, uma vez que melhorias em aspectos como a energia incorporada e a massa de materiais não implicam necessariamente na redução de emissões (Theilig et al., 2024; Chaudhary; Akhtar, 2023).

Nesse contexto, ferramentas computacionais que permitem comparar diferentes alternativas construtivas a partir de múltiplos indicadores podem contribuir para o apoio à tomada de decisão nas etapas iniciais de projeto (Serrano-Baena *et al.,* 2023).

No presente estudo, essa possibilidade foi demonstrada pela simulação de diferentes configurações construtivas no aplicativo, permitindo analisar como alterações na composição do sistema podem repercutir de maneira distinta nos indicadores ambientais considerados. O relatório técnico desta simulação está no Apêndice B.

4.5 APLICABILIDADE E AS LIMITAÇÕES DO APLICATIVO DESENVOLVIDO

A aplicação do *software* desenvolvido no estudo de caso demonstrou a operacionalidade computacional, incluindo a automatização das conversões de unidades, a integração com o banco de dados de coeficientes ambientais provenientes do SIDAC e das EPDs, o processamento automatizado dos indicadores e a geração de relatórios em PDF (Apêndices A e B).

Dentre as principais contribuições práticas da ferramenta, destaca-se sua praticidade e usabilidade, proporcionadas por uma interface intuitiva que busca simplificar a comparação ambiental para profissionais da Engenharia Civil, sem exigir domínio avançado de *softwares* específicos.

Adicionalmente, o aplicativo contribui para a rastreabilidade das informações ao permitir a vinculação de documentos técnicos em PDF aos materiais cadastrados no banco de dados, possibilitando a consulta às fontes dos coeficientes ambientais utilizados nas análises.

Essa estrutura proporciona maior agilidade no suporte à tomada de decisão, viabilizando a simulação e comparação de materiais alternativos e

arranjos construtivos híbridos ainda na etapa de concepção do projeto (Serrano-Baena *et al.,* 2023).

Entretanto, a confiabilidade dos resultados obtidos está diretamente relacionada à qualidade dos quantitativos, dos fatores de conversão e dos coeficientes ambientais inseridos no sistema.

Ressalta-se que os coeficientes utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de literatura técnica e em bases de dados especializadas, podendo apresentar variações conforme a fonte de dados adotada.

Além disso, a análise desenvolvida está restrita aos impactos associados à produção dos materiais e à geração de resíduos durante a execução da edificação. Não foram considerados os impactos relacionados ao transporte dos materiais até o local da obra, à fase de uso da edificação e às etapas de demolição e destinação final dos materiais.

Dessa forma, o trabalho não se caracteriza como uma Avaliação Completa do Ciclo de Vida, uma vez que não contempla todas as etapas do ciclo de vida consideradas em uma ACV, conforme os princípios e a estrutura estabelecidos pela ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2025).

Trata-se, contudo, do desenvolvimento de uma ferramenta voltada à análise comparativa dos impactos ambientais dos sistemas *Light Steel Frame* e Alvenaria Convencional.

O ImpactaBuild é uma ferramenta de cálculo verificada, cuja interface interativa e organizada reúne quantitativos, coeficientes ambientais e diferentes configurações construtivas em um único ambiente.

Sua principal contribuição está na usabilidade, onde o que demandaria tratamento manual passa a ser obtido de forma rápida e reprodutível, permitindo comparar soluções a partir de múltiplos indicadores e refazer a análise a cada alteração de projeto.

Dessa forma, o trabalho aproxima a avaliação de impactos ambientais da prática da Engenharia Civil, ao oferecer apoio direto à escolha entre alternativas ainda nas etapas de concepção e definição do projeto.

Mais do que processar os indicadores analisados, o ImpactaBuild estabelece uma base computacional sobre a qual os critérios ambientais podem ser incorporados à decisão sobre a escolha e a composição dos sistemas construtivos dentro da engenharia civil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho partiu da necessidade de métodos objetivos e aplicáveis à realidade brasileira para comparar o desempenho ambiental de sistemas construtivos, diante da pressão que o setor da construção civil exerce sobre o consumo de recursos e a geração de emissões e resíduos.

Nesse contexto, o objetivo geral foi desenvolver uma ferramenta de análise comparativa entre o *Light Steel Frame* e a Alvenaria Convencional, aplicada a um estudo de caso residencial com base em indicadores de energia incorporada, emissões de CO_2 e geração de resíduos. Dessa forma, considera-se que o objetivo geral foi atendido.

Os objetivos específicos foram cumpridos de forma sequencial. A lógica matemática foi estruturada em uma planilha de base, que serviu de fundamento para o aplicativo ImpactaBuild, o qual integra o banco de coeficientes ambientais, os quantitativos e a geração automatizada de relatórios.

A verificação frente à planilha confirmou a correspondência numérica das rotinas implementadas, e a aplicação no estudo de caso da Casa Orlando permitiu comparar os dois sistemas e identificar as etapas e os materiais responsáveis pelos maiores impactos.

A simulação de composições híbridas, por sua vez, demonstrou a capacidade do aplicativo de processar diferentes arranjos construtivos e evidenciou a importância de considerar múltiplos indicadores na avaliação ambiental.

De modo geral, o desenvolvimento do aplicativo demonstrou a viabilidade de integrar dados de quantitativos e coeficientes ambientais em um ambiente único voltado à análise comparativa de sistemas construtivos. A aplicação evidenciou a contribuição da ferramenta para organizar informações, automatizar cálculos e facilitar a interpretação dos impactos ambientais associados às soluções construtivas.

Nesse sentido, o ImpactaBuild constitui uma alternativa de apoio à análise ambiental ainda nas etapas de concepção e definição do projeto, contribuindo para a lacuna científica apontada na justificativa.

Os resultados e as conclusões deste trabalho devem ser interpretados dentro das limitações do estudo. Os coeficientes provêm da literatura técnica e de bases especializadas, e a confiabilidade das saídas depende da qualidade dos quantitativos inseridos.

Além disso, a análise limitou-se à produção dos materiais e aos resíduos da execução, sem contemplar transporte, fase de uso e demolição, de modo que o trabalho não se caracteriza como uma Avaliação Completa do Ciclo de Vida nos termos da ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2025).

Assim, as conclusões restringem-se à edificação analisada e à fronteira adotada, não devendo ser extrapoladas ao ciclo de vida integral das edificações.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a fronteira da análise para as demais etapas do ciclo de vida, aplicar a ferramenta a outras tipologias e estudos de caso e incorporar indicadores complementares, como desempenho térmico e custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUHAMAD, Mona; ABU-HAMD, Metwally. **Life cycle environmental assessment of light steel framed buildings with cement-based walls and floors.** Sustainability, Basel, v. 12, n. 24, 10686, 2020.

ALBUQUERQUE, Hiago Ribeiro; LIRA, Júlia; SPOSTO, Rosa Maria. **Emissões de CO_2 de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 377–393, out./dez. 2018.

ALMSSAD, A.; ALMUSAED, A.; HOMOD, R. Z. **Masonry in the Context of Sustainable Buildings: A Review of the Brick Role in Architecture.** Sustainability, v. 14, n. 22, p. 14734, 9 nov. 2022.

ARCA SUSTENTABILIDADE. **Análise de ciclo de vida e fatores de emissão.** [S. l.], 11 out. 2023. Disponível em: https://www.arcasustentabilidade.com.br/post/an%C3%A1lise-de-ciclo-de-vida-e-fatores-de-emiss%C3%A3o. Acesso em: 21 maio 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:2023: projeto de estruturas de concreto.** 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

AUGONIS, M. *et al.* Towards sustainable construction: Methodology for wood content assessment in buildings. **Case Studies in Construction Materials**, v. 23, p. e05528, dez. 2025.

AZIZIAN, Hadi. **Constructional System of Cold Formed Light Steel Framing (LSF).** Cumhuriyet University Faculty of Science, Science Journal (CSJ), v. 36, n. 3 (Special Issue), p. 2135–2142, 2015.

BARBONI, L. Análise comparativa entre sistemas construtivos Light Steel Frame e Alvenaria convencional para a habitação de interesse social do município de Boa Esperança/MG. 2022. **Monografia (Especialização em Engenharia Civil)** – Centro Universitário de Itajubá, Itajubá, 2022.

BERALDO, Rafael Julinhaque. **Análise da energia embutida em fase de pré-uso de um centro de exposições em Irati, Paraná.** 2025. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

BORGES, R. M. S. **A utilização do Light Steel Frame como sistema construtivo no Brasil: uma revisão da literatura.** Caderno Pedagógico, v. 22, n. 10, p. e19044, 13 ago. 2025.

CALDAS, Lucas Rosse; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; MELO, Pedro Corrêa de; SPOSTO, Rosa Maria. **Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71–85, jul./set. 2017.

CALDEIRA, A. R. F. **Otimização Energética do Edifício C8 FCUL**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Energética e do Ambiente) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

CAMARGO, M. P. Análise comparativa entre Light Steel Frame e Alvenaria convencional. 2021. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)** – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

CHAU, C. K. *et al.* Assessment of CO2 emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p. 22–34, abr. 2012.

CHAUDHARY, Abhishek; AKHTAR, Amaan. **Template for evaluating cradle-to-site environmental life cycle impacts of buildings in India.** ACS Environmental Au, v. 3, n. 2, p. 94–104, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00035.

CHEN, W. *et al.* **Embodied energy and carbon emissions of building materials in China.** Building and Environment, v. 207, p. 108434, jan. 2022.

CONSTRUINDO CASAS. **Chapisco, emboço e reboco: qual a diferença?** [S.l.], 2021. Disponível em: https://construindocasas.com.br/blog/construcao/chapisco-emboco-reboco/. Acesso em: 22 maio 2026

CRUZ, C. O.; GASPAR, P.; DE BRITO, J. On the concept of sustainable sustainability: An application to the Portuguese construction sector. **Journal of Building Engineering**, v. 25, p. 100836, set. 2019.

DASCALAKI, E. G. *et al.* Analysis of the embodied energy of construction materials in the life cycle assessment of Hellenic residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 232, p. 110651, fev. 2021.

DRYWALL FINISHING COUNCIL. **Environmental product declaration: joint compound.** Declaration number ASTM-EPD642. [S. l.]: ASTM International, 2024.

EPD INTERNATIONAL. **What is EPD? *International EPD System*.** [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.environdec.com/services/what-is-epd. Acesso em: 26 ago. 2026.

ESPAÇO SMART. **Casa Orlando 172 m²**. [S. l.], 22 out. 2024. Disponível em: https://www.espacosmart.com.br/casa-orlando-172-m--1292/p. Acesso em: 26 ago. 2026.

ESPAÇO SMART. **Telhado shingle**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://www.espacosmart.com.br/tudo-para-telhado-shingle. Acesso em: 26 ago. 2026.

ESTRADA, L. J. G. *et al.* **Life cycle assessment of construction and demolition waste management based on waste generation projections of residential buildings in Metro Manila, the Philippines.** Cleaner Waste Systems, v. 4, p. 100076, abr. 2023.

GASQUES, Ana Carla Fernandes; OKAWA, Cristhiane Michiko Passos; DE ANGELIS NETO, Generoso; MIOTTO, José Luiz; CASTRO, Tainara Rigotti. **Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica.** Revista Tecnológica, Maringá, v. 23, p. 13-24, 2014.

GOMES, J. H. D. *et al*. **Análise comparativa do sistema construtivo de alvenaria convencional e sistema construtivo de alvenaria estrutural em uma casa térrea em Teófilo Otoni**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, Teófilo Otoni, ed. 2018-2, n. 600, p. 128–144, 2018.

GONZÁLEZ, M. J.; GARCÍA NAVARRO, J. **Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact.** Building and Environment, v. 41, n. 7, p. 902–909, jul. 2006. ,

GREEN SEAL ENVIRONMENTAL, INC. **Construction and demolition waste characterization and market analysis.** Sagamore Beach, MA: Green Seal Environmental, Inc., 2016. Relatório elaborado para o Connecticut Department of Energy and Environmental Protection.

GUO, S. *et al.* **Embodied energy use in the global construction industry.** Applied Energy, v. 256, p. 113838, 15 dez. 2019.

HE, Y. *et al.* **How green building rating systems affect designing green.** Building and Environment, v. 133, p. 19–31, abr. 2018.

HERNANDEZ AROS, L. *et al.* **Sustainability reporting in the construction sector: trends, models, metrics and challenges towards achieving the SDGs.** Research in Globalization, v. 11, p. 100300, dez. 2025.

HICHUKI, Murilo Roosevelt. **ImpactaBuild: aplicativo para análise comparativa de impactos ambientais em sistemas construtivos.** 2026. Disponível em: https://impactabuild.vercel.app/.

HOLZMANN MASS, B.; TAVARES, S. F. **Quantidade de resíduos de construção na obra de uma habitação de LSF comparada com uma em**

Alvenaria convencional. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782), v. 2, n. 2, 29 nov. 2017.

INOVA CIVIL. **Steel frame: características e vantagens para a construção civil.** [S. l.], 2019. Disponível em: https://inovacivil.com.br/steel-frame-caracteristicas-vantagens-e-desvantagens/. Acesso em: 21 maio 2026.

ISLAM, R. *et al.* **An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling.** Waste Management, v. 95, p. 10–21, jul. 2019.

LACERDA, J. F. S. B.; GOMES, J. D. O. **Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: análise do estado da arte.** Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838, v. 7, n. 2, p. 167–186, 20 nov. 2014.

LACERDA, I. M.; GONÇALVES, M. S. D. **Uma análise comparativa das vantagens e desvantagens entre a alvenaria estrutural e a alvenaria convencional: uma revisão de literatura.** RevistaFT, Porto Velho, ed. 117, dez. 2022.

LACHIMPADI, S. K. *et al.* **Construction waste minimisation comparing conventional and precast construction (Mixed System and IBS) methods in high-rise buildings: A Malaysia case study.** Resources, Conservation and Recycling, v. 68, p. 96–103, nov. 2012.

LAGOA, D. C. *et al.* **Light steel frame como alternativa ao sistema convencional de construção, visando a redução de patologias construtivas / Light steel frame as an alternative to the conventional construction system, aiming at the reduction of construction pathologies.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 36406–36421, 8 abr. 2021.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil.** 2014. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas, São Paulo, 2014.

LI, J. *et al.* **A model for estimating construction waste generation index for building project in China.** Resources, Conservation and Recycling, v. 74, p. 20–26, maio 2013.

LOIZOU, L. *et al.* **Quantifying Advantages of Modular Construction: Waste Generation.** Buildings, v. 11, n. 12, p. 622, 7 dez. 2021.

MARQUES, R.; LOURENÇO, P. B. **Structural behaviour and design rules of confined masonry walls: Review and proposals.** Construction and Building Materials, v. 217, p. 137–155, ago. 2019.

MENDES, Gabriela Fagundes. **Índice Global de Impacto dos métodos construtivos Light Steel Frame e Alvenaria Convencional.** 2021. Trabalho

Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

MENDES, P. E. R. Structural design of a Light Steel Frame house. 2019. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil)** – Universidade do Porto, Porto, 2019.

MESTRE CALCULA. **Quantidade de argamassa por metro quadrado: guia completo de consumo. 2026.** Disponível em: https://mestrecalcula.com/quantidade-de-argamassa-por-metro-quadrado-guia-completo-de-consumo/. Acesso em: 17 set. 2026.

MINUNNO, R. *et al.* **Investigating the embodied energy and carbon of buildings: A systematic literature review and meta-analysis of life cycle assessments.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 143, p. 110935, jun. 2021.

NEMATI AGHDAM, M.; DIXIT, M. K. **A systematic review of methods and frameworks integrating environmental sustainability and resilience in building design and construction.** Building and Environment, v. 293, p. 114381, abr. 2026.

NOGUEIRA, Cristiany da Silva. **Gestão de Resíduos da Construção Civil.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, [s. l.], ano 05, v. 10, ed. 11, p. 67-84, nov. 2020.

ODE INDUSTRY AND TRADE INC. **Environmental Product Declaration: ODE Epikon Membrane.** Istanbul: ODE Industry and Trade Inc., 2021. 15 p. (S-P Code: S-P-03941). Disponível em: http://www.environdec.com. Acesso em: 1 jul. 2026.

OH, B. K.; CHOI, S. W.; PARK, H. S. **Influence of variations in CO 2 emission data upon environmental impact of building construction.** Journal of Cleaner Production, v. 140, p. 1194–1203, jan. 2017.

OLIVEIRA, Fabriccio de Almeida *et al*. **Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 157-176, out./dez. 2020.

OPENAI. ChatGPT. Versão GPT-4. São Francisco: **OpenAI, 2026.** Disponível em: https://chat.openai.com. Acesso em: 2026.

PAKDEL, A.; AYATOLLAHI, H.; SATTARY, S. **Embodied energy and CO2 emissions of life cycle assessment (LCA) in the traditional and contemporary Iranian construction systems.** Journal of Building Engineering, v. 39, p. 102310, jul. 2021.

PATRÍCIO, I. F.; TOLEDO, E. M. **Análise comparativa das emissões de CO2 entre edificações de Alvenaria convencional e Steel Frame**. v. 02, n. 02, 2019.

PAULA, B. Y. S.; TRINDADE, F. C. **Steel Frame: utilização em território brasileiro**. In: SEMINÁRIO CIENTÍFICO DO UNIFACIG, 7., 2021, Manhuaçu. **Anais** [...]. Manhuaçu: UNIFACIG, 2021. Disponível em: https://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/download/3036/2556/12097.

ROS, M. M.; MARANHÃO, F. **Barreiras setoriais para o desenvolvimento de fachadas leves estruturadas em Light Steel Frame**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (TECSIC), 2019. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/386/319.

SERRANO-BAENA, Maria M.; RUIZ-DÍAZ, Carlos; GILABERT BORONAT, Pablo; MERCADER-MOYANO, Pilar. **Optimising LCA in complex buildings with MLCAQ: a BIM-based methodology for automated multi-criteria materials selection.** Energy and Buildings, v. 294, art. 113219, 2023.

SIDDEEQ, Shahbaz *et al*. Vibe Coding in Software Development: A Multivocal Literature Review. **Journal of Systems and Software**, 2026.

SIKA ANGOLA. **SikaWall®-165 Reboco Fino AO: ficha de dados do produto.** Versão 01.03. Luanda, fev. 2026. Disponível em: https://ago.sika.com/dms/getdocument.get/1fe6c299-c073-461c-a703-ff6ef4fb0fbe/sikawall-165-rebocofinoao.pdf. Acesso em: 26 set. 2026.

SILVA, Danilo dos Santos; CARVALHO, José Leonardo Vanderlei de; CARVALHO, Pedro Paulo Martins de; PIRES, Cláudio Alex de Oliveira. **Avaliação dos impactos ambientais entre Light Steel Frame (LSF) e Alvenaria Convencional de Bloco Cerâmico**. *Revista Caderno Pedagógico*, Curitiba, v. 22, n. 8, p. 1-20, 2025.

SILVA, A. G. P. D. *et al.* **Aplicabilidade de Práticas Sustentáveis na Construção Civil: Análise da Eficiência e Impacto Ambiental.** Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 18, n. 8, p. e07233, 13 jun. 2024.

SIDAC. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção. Disponível em: https://sidac.org.br/busca. Acesso em: 9 jul. 2026.

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 em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017.

SU, X.; ZHANG, X. **A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China.** Energy and Buildings, v. 119, p. 323–330, maio 2016.

SUGAHARA, E. S.; FREITAS, M. R. de; CRUZ, V. A. L. da. **Análise das certificações ambientais de edificações: AQUA, PROCEL, LEED e Casa**

Azul. Interação - Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 23, n. 1, p. 12–24, 23 fev. 2021.

SULMÓDULOS. **Glasroc X Placa de Gesso para Uso Externo Placo**. [S. l.: s. d.]. Disponível em: https://sulmodulos.com.br/sistema/glasroc-x/. Acesso em: 30 jun. 2026.

SUSTAINABILITY DIRECTORY. ***Roofing material lifecycle*.** [S. l.], 2025. Disponível em: https://product.sustainability-directory.com/term/roofing-material-lifecycle/. Acesso em: 30 set. 2026.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. **The International EPD System.** Disponível em: https://www.environdec.com. Acesso em: 8 jul. 2026.

THEILIG, Kathrin; LOURENÇO, Bruna; REITBERGER, Roland; LANG, Werner. **Life cycle assessment and multi-criteria decision-making for sustainable building parts: criteria, methods, and application.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 29, n. 11, p. 1965–1991, 2024.

THEODOSSOPOULOS, D.; SINHA, B. **A review of analytical methods in the current design processes and assessment of performance of masonry structures.** Construction and Building Materials, v. 41, p. 990–1001, abr. 2013.

TRANSCOL. **Ficha técnica: chapisco.** [S. l.]: Transcol, 2023. Disponível em: https://www.transcol.pt/wp-content/uploads/FT-Transcol-Chapisco.pdf. Acesso em: 17 set. 2026.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. [S.l.]** United Nations Environment Programme, 2024.

VELJKOVIC, M.; JOHANSSON, B. **Light steel framing for residential buildings.** Thin-Walled Structures, v. 44, n. 12, p. 1272–1279, dez. 2006.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L.; COSME, V. **Sistemas Construtivos Convencional e de Alvenaria Estrutural: Análise Comparativa em Escolas do FNDE. Em: Coleção Engenharias: Ciência, Tecnologia e Inovação na Engenharia Civil.** 1. ed. [s.l.] Atena Editora, 2025. p. 103–114.

VON MÜHLEN, João Felipe. **Avaliação do ciclo de vida energético da cerâmica vermelha: um estudo em olarias do Rio Grande do Sul**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

WANG, W. **The concept of sustainable construction project management in international practice.** Environment, Development and Sustainability, v. 23, n. 11, p. 16358–16380, nov. 2021.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Energy use in the steel industry.** Brussels: worldsteel, 2021. Disponível em: https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-energy-in-the-steel-industry-2021-1.pdf. Acesso em: 30 set. 2026.

ZAVADSKAS, E. K.; ŠAPARAUSKAS, J.; ANTUCHEVICIENE, J. **Sustainability in Construction Engineering.** Sustainability, v. 10, n. 7, p. 2236, 29 jun. 2018.

APÊNDICE A - RELATÓRIO GERADO PELO APP DA COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DO ESTUDO DE CASO

ImpactaBuild™

SOFTWARE DE ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Indicadores de CO_2, Energia e Resíduos

Relatório Técnico Nº 438E4DEC-AE6F-4A89-A467-004FC169A76D

Emissão: 19/10/2026

Relatório Oficial Auditado

RELATÓRIO TÉCNICO DE IMPACTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE CONSTRUTIVA

Estudo Comparativo: **Alvenaria Convencional Concorrente** vs. **Light Steel Frame (LSF) Proposto.**

1. FICHA TÉCNICA E PERSPECTIVA DA EDIFICAÇÃO OBJETO DO ESTUDO

NOME DO PROJETO
Casa Orlando

ÁREA CONSTRUÍDA
172 m²

LOCALIZAÇÃO
Ponta Grossa, PR

TIPOLOGIA
Residencial Unifamiliar

PAVIMENTOS
Térreo (1)

COBERTURA
Telha Shingle

ORIENTAÇÃO SOLAR
Norte



Figura 1: Render 3D

2. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Sistema A: Alvenaria — Canteiro Úmido

Estrutura em concreto armado fck = 30 MPa, vedações em blocos cerâmicos furados e 3 camadas de argamassa (chapisco, emboço e reboco).

Sistema B: Steel Frame — Construção a Seco

Estrutura em aço galvanizado Z275, placas Glasroc X/Cimentícias externas com Tyvek, Lã de Vidro e placas de gesso acartonado internas.

3. SÍNTESE EXECUTIVA DOS RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL

EMISSÕES CO_2	ENERGIA INCORP.	MASSA TOTAL	RESÍDUOS (RCC)
-20.1%	-36.1%	-84.2%	-98.1%
19,2 ton	**257,3** GJ	**21,6** ton	**0,78** ton
Vs. Alv: 24,0 t	Vs. Alv: 402,5 GJ	Vs. Alv: 137,1 t	Vs. Alv: 41,9 t

4. ANÁLISE ENGENHEIRADA POR CATEGORIA DE IMPACTO

1. Potencial Aquecimento Global (CO_2e)

A Alvenaria gera altas emissões na produção do clínquer e queima cerâmica. O LSF reduz CO_2e através da montagem industrializada e alta reciclabilidade do aço.

2. Energia Incorporada (MJ)

O LSF consome energia na laminação do aço, porém a quantidade otimizada de massa por m² equilibra o balanço frente aos insumos cimentícios da alvenaria.

3. Massa e Cargas Estruturais

Redução de 84% no peso próprio (21,6 t no LSF vs 137,1 t), aliviando o dimensionamento das fundações e movimentação de terra.

4. Gestão de Resíduos (RCD)

Redução drástica do entulho de obra (777 kg vs 41.946 kg), garantindo canteiro limpo e baixíssima taxa de perda de insumos.

5. BALANÇO DE QUANTITATIVOS FÍSICOS DOS MATERIAIS (ALVENARIA VS. LSF)

SISTEMA A — ALVENARIA

10 itens

Etapa	Material	Qtd	Massa (kg)
ESTRUTURA	FORMAS DE MADEIRA	258	2.155
ESTRUTURA	VERGALHÕES DE AÇO	2.310	2.310
ESTRUTURA	CONCRETO USINADO	21	48.300
VEDAÇÃO	ARGAMASSA DE ASSE...	375	6.002
VEDAÇÃO	TIJOLOS CERÂMICOS	375	27.682
REVESTIMENTOS	CHAPISCO	744	4.466
REVESTIMENTOS	EMBOÇO	744	28.283
REVESTIMENTOS	REBOCO	744	5.954
COBERTURA	ESTRUTURA DE MADEI...	3	1.484
COBERTURA	TELHAS CERÂMICAS	254	10.489
	TOTAL ALVENARIA:		137.126 kg (137.1 t)

SISTEMA B — STEEL FRAME (LSF)

14 itens

Etapa	Material	Qtd	Massa (kg)
ESTRUTURA	LIGHT STEEL FRAME	3.378	3.378
VEDAÇÃO EXTERNA	BASECOAT	349	1.745
VEDAÇÃO EXTERNA	MEMBRANA HIDRÓFUGA	349	52
VEDAÇÃO EXTERNA	PLACA GLASROCX	349	3.873
VEDAÇÃO EXTERNA	TELA EM FIBRA DE VIDRO	349	85
PREENCHIMENTO I...	LÃ DE VIDRO	374	187
VEDAÇÃO INTERNA	MASSA DE GESSO	365	2.734
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA RU	109	929
VEDAÇÃO INTERNA	PLACA ST	255	2.067
VEDAÇÃO INTERNA	TELA EM FIBRA DE VIDRO	253	61
COBERTURA	ESTRUTURA EM LSF	1.280	1.280
COBERTURA	PLACAS OSB	267	2.439
COBERTURA	SUBCOBERTURA SHINGLE	254	27
COBERTURA	TELHAS SHINGLE	254	2.746
	TOTAL LSF:		21.604 kg (21.6 t)

6. ANEXO A: BANCO DE COEFICIENTES AMBIENTAIS PARAMETRIZADOS (A1–A3)

Valores Unitários Normalizados

Material / Insumo	CO_2 Unit. ($kgCO_2/kg$)	Energia Unit. (MJ/kg)	Resíduo Gerado (%)	Sistema Associado
Aço (Vergalhão)	1.060	16.00	0.10%	Alvenaria Convencional
Argamassa (Assentamento) 1:2:8	0.154	1.14	0.24%	Alvenaria Convencional
Argamassas (Revestimento) 1:2:8 - CHAPISCO	0.154	1.14	0.56%	Alvenaria Convencional
Argamassas (Revestimento) 1:2:8 EMBOÇO	0.154	1.14	0.56%	Alvenaria Convencional
Argamassas (Revestimento) 1:2:8 REBOCO	0.154	1.14	0.56%	Alvenaria Convencional
Bloco cerâmico (14×19×29 cm)	0.151	4.37	0.15%	Alvenaria Convencional
Concreto dosado em central fck 30MPa	0.136	1.05	0.23%	Alvenaria Convencional
Madeira Compensada (Fôrmas)	0.264	11.49	1.15%	Alvenaria Convencional
Madeira serrada aplainada (pinus)	0.074	12.71	0.10%	Alvenaria Convencional
Telha Cerâmica Americana	0.312	9.45	0.10%	Alvenaria Convencional
Basecoat	0.230	4.01	0.05%	Light Steel Frame (LSF)
Lã de Vidro	1.620	33.30	0.25%	Light Steel Frame (LSF)
Massa de Gesso	0.169	0.90	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Membrana Hidrófuga	3.690	100.97	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Painéis OSB	1.370	2.52	0.06%	Light Steel Frame (LSF)
Perfis de Aço Leve	2.440	29.80	0.04%	Light Steel Frame (LSF)
Placa de Gesso RU	0.240	6.33	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Placa de Gesso ST	0.210	6.04	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Placa Glasroc X	0.330	6.74	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Subcobertura Shingle	0.117	3.38	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Tela de Vidro	2.610	57.80	0.02%	Light Steel Frame (LSF)
Telha Shingle	0.300	13.96	0.05%	Light Steel Frame (LSF)

7. ANEXO B: DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTO (EPD) E LAUDOS TÉCNICOS

Inventários primários e dados de literatura referenciados com conformidade às normas NBR ISO 14040/14044 e EN 15804. **Certificado de Conformidade Técnica**

8.1. COMPARATIVO GERAL DOS MÉTODOS (GRÁFICOS 1 A 3)

3 Gráficos

1. EMISSÃO DE CO_2 TOTAL (KG CO_2EQ)



ALV: **24.033 kgCO2e** LSF: **19.212 kgCO2e**

2. ENERGIA INCORPORADA TOTAL (MJ)



ALV: **402.510 MJ** LSF: **257.272 MJ**

3. RESÍDUOS SÓLIDOS TOTAIS (KG)



ALV: **41.946 kg** LSF: **777 kg**

8.2. INDICADORES POR ETAPA CONSTRUTIVA (GRÁFICOS 4 A 9)

6 Gráficos

ALVENARIA CONVENCIONAL — 3 INDICADORES POR ETAPA

4. ALVENARIA — CO_2 POR ETAPA



Unidade: kg CO_2

5. ALVENARIA — ENERGIA POR ETAPA



Unidade: MJ

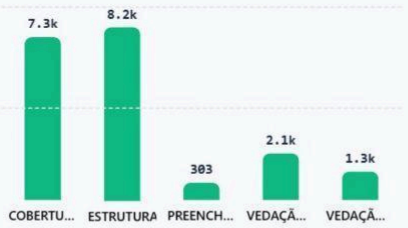
6. ALVENARIA — RESÍDUOS POR ETAPA



Unidade: kg

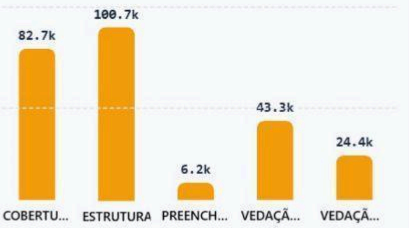
LIGHT STEEL FRAME (LSF) — 3 INDICADORES POR ETAPA

7. LSF — CO_2 POR ETAPA



Unidade: kg CO_2

8. LSF — ENERGIA POR ETAPA



Unidade: MJ

9. LSF — RESÍDUOS POR ETAPA



Unidade: kg

8.3. COMPARATIVO POR MATERIAL (GRÁFICOS 10 A 15)

6 Gráficos

ALVENARIA CONVENCIONAL — PARTICIPAÇÃO DE CADA INSUMO

10. ALVENARIA — CO_2 POR MATERIAL



FORMAS DE MADEIRA	2.4%
VERGALHÕES DE AÇO	10.2%
CONCRETO USINADO	27.3%
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	3.8%
TIJOLOS CERÂMICOS	17.4%
CHAPISCO	2.9%
EMBOÇO	18.1%
REBOCO	3.8%
ESTRUTURA DE MADEIRA	0.5%
TELHAS CERÂMICAS	13.6%

Total: 24.033 kg CO_2

11. ALVENARIA — ENERGIA POR MATERIAL



FORMAS DE MADEIRA	6.2%
VERGALHÕES DE AÇO	9.2%
CONCRETO USINADO	12.6%
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	1.7%
TIJOLOS CERÂMICOS	30.0%
CHAPISCO	1.3%
EMBOÇO	8.0%
REBOCO	1.7%
ESTRUTURA DE MADEIRA	4.7%
TELHAS CERÂMICAS	24.6%

Total: 402.510 MJ

12. ALVENARIA — RESÍDUOS POR MATERIAL



FORMAS DE MADEIRA	5.9%
VERGALHÕES DE AÇO	0.6%
CONCRETO USINADO	26.1%
ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	3.4%
TIJOLOS CERÂMICOS	9.9%
CHAPISCO	5.9%
EMBOÇO	37.4%
REBOCO	7.9%
ESTRUTURA DE MADEIRA	0.4%
TELHAS CERÂMICAS	2.5%

Total: 41.946 kg

LIGHT STEEL FRAME (LSF) — PARTICIPAÇÃO DE CADA INSUMO

13. LSF — CO_2 POR MATERIAL



LIGHT STEEL FRAME	42.9%
BASECOAT	2.1%
MEMBRANA HIDRÓFUGA	1.0%
PLACA GLASROCX	6.7%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	1.1%
LÃ DE VIDRO	1.6%
MASSA DE GESSO	2.4%
PLACA RU	1.2%
PLACA ST	2.3%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	0.8%
ESTRUTURA EM LSF	16.3%
PLACAS OSB	17.4%
SUBCOBERTURA SHINGLE	0.0%
TELHAS SHINGLE	4.3%

Total: 19.212 kg CO_2

14. LSF — ENERGIA POR MATERIAL



LIGHT STEEL FRAME	39.1%
BASECOAT	2.7%
MEMBRANA HIDRÓFUGA	2.1%
PLACA GLASROCX	10.1%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	1.9%
LÃ DE VIDRO	2.4%
MASSA DE GESSO	1.0%
PLACA RU	2.3%
PLACA ST	4.9%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	1.4%
ESTRUTURA EM LSF	14.8%
PLACAS OSB	2.4%
SUBCOBERTURA SHINGLE	0.0%
TELHAS SHINGLE	14.9%

Total: 257.272 MJ

15. LSF — RESÍDUOS POR MATERIAL



LIGHT STEEL FRAME	15.3%
BASECOAT	11.2%
MEMBRANA HIDRÓFUGA	0.1%
PLACA GLASROCX	9.3%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	0.2%
LÃ DE VIDRO	6.0%
MASSA DE GESSO	6.6%
PLACA RU	2.3%
PLACA ST	5.1%
TELA EM FIBRA DE VIDRO	0.1%
ESTRUTURA EM LSF	5.8%
PLACAS OSB	18.8%
SUBCOBERTURA SHINGLE	0.1%
TELHAS SHINGLE	19.1%

Total: 777 kg

Consolidação da Matriz dos 15 Gráficos Paramétricos:
Todos os 15 gráficos apresentados foram computados a partir dos dados primários da edificação (Casa Orlando, 172 m²), relacionando o balanço de massa dos insumos com seus respectivos fatores unitários de impacto ambiental A1-A3.

DECLARAÇÃO DE METODOLOGIA, INTEGRIDADE TÉCNICA E TERMO DE ENCERRAMENTO

Este relatório técnico foi processado e auditado pelo software **ImpactaBuild**. Os cálculos refletem as entradas físicas de levantamento de quantitativos e bancos de dados ambientais parametrizados, consolidando métricas comparativas confiáveis.

ImpactaBuild — Engenharia & Sustentabilidade
Software Especializado em Engenharia e Sustentabilidade
Emissão: 19/10/2026

Responsável Técnico / Auditoria
Documento Assinado Digitalmente

APÊNDICE B - RELATÓRIO GERADO PELO APP DA COMPOSIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA COMO EXEMPLO DA FUNCIONALIDADE DO APLICATIVO

ImpactaBuild™

SOFTWARE DE ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Indicadores de CO_2, Energia e Resíduos

Relatório Técnico Nº 438E4DEC-AE6F-4A89-A467-004FC169A76D

Emissão: **19/10/2026**

Relatório Oficial Auditado

RELATÓRIO TÉCNICO DE IMPACTO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE CONSTRUTIVA

Estudo de Composição Modular: **Composição da Edificação - Casa Orlando** • Modelagem Holística de 5 Subsistemas Construtivos.

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO E PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO

NOME DA COMPOSIÇÃO
Composição da Edificação - Casa Orlando

ÁREA CONSTRUÍDA
172 m²

LOCALIZAÇÃO
Ponta Grossa, PR

TIPOLOGIA
Residencial Unifamiliar

PAVIMENTOS
Térreo (1)



Figura 1: Render 3D

2. CONFIGURAÇÃO DOS 5 SUBSISTEMAS CONSTRUTIVOS ADOTADOS

1. ESTRUTURA & FUNDAÇÃO:
Personalizado / Híbrido

2. PAREDES EXTERNAS (FECHAMENTO):
Personalizado / Híbrido

3. PAREDES INTERNAS (DIVISÓRIAS):
Personalizado / Híbrido

4. ISOLAMENTO TÉRMICO/ACÚSTICO:
Light Steel Frame (LSF)

5. COBERTURA / TELHADO:
Light Steel Frame (LSF)

3. INDICADORES GLOBAIS DE DESEMPENHO AMBIENTAL DA COMPOSIÇÃO

EMISSÕES DE CO_2 — +13.9% vs Alv.
27,37 ton CO_2
159,1 kgCO_2/m² • Total: 27.371 kg
Alv: 24,03 t | LSF: 19,21 t

ENERGIA INCORP. — -11.3% vs Alv.
357,13 GJ
2.076,3 MJ/m² • Total: 357.132 MJ
Alv: 402,51 GJ | LSF: 257,27 GJ

MASSA TOTAL — -20.6% vs Alv.
108,9 ton Total
633 kg/m² • Total: 108.908 kg
Alv: 137,1 t | LSF: 21,6 t

RESÍDUOS SÓLIDOS — -25.0% vs Alv.
31,44 ton
182,8 kg/m² • Perda: 28,9%
Alv: 41,95 t | LSF: 0,78 t

Síntese de Desempenho vs. Referência Convencional — **Área: 172 m²**

A composição modular configurada atinge uma intensidade de **159,1 kgCO_2/m²** e gera **31,44 ton de resíduos**. Em relação à alvenaria tradicional, a solução proporciona **variação de +13.9% em CO_2** e **economia de 25.0% em entulho** de canteiro.

5. DIAGNÓSTICO DETALHADO DE EMISSÕES DE CARBONO (CO_2E)

Total: 27,37 ton CO_2

EMISSÕES DE CO_2 POR SUBSISTE...

27.371 $KGCO_2$



Estrutura & Fundação	42.1%
Paredes Externas (Fechamento)	28.3%
Paredes Internas (Divisórias)	2.6%
Isolamento Térmico & Acústico	0.4%
Cobertura & Telhado	26.6%

TOP INSUMOS EM EMISSÕES DE C...

$KGCO_2$

#1 CONCRETO USINADO FCK 30...	6.015 $kgCO_2$
#2 PLACAS OSB DE CONTRAVEN...	3.342 $kgCO_2$
#3 ESTRUTURA EM LSF PARA TEL...	3.123 $kgCO_2$
#4 EMBOÇO DE ARGAMASSA (EX...	2.954 $kgCO_2$
#5 TIJOLOS CERÂMICOS (VEDAÇ...	2.813 $kgCO_2$

Material / Hotspot	Subsistema	Qtd.	Emissão ($kgCO_2$)	% Total	Intensidade ($kgCO_2/m^2$)
#1 CONCRETO USINADO FCK 30MPA	Estrutura & Fundação	19,2 M^3	**6.015,1**	**22.0%**	35,0
#2 PLACAS OSB DE CONTRAVENTAMENTO	Cobertura & Telhado	266,6 M^2	**3.342,0**	**12.2%**	19,4
#3 ESTRUTURA EM LSF PARA TELHADO	Cobertura & Telhado	1.280,0 KG	**3.123,2**	**11.4%**	18,2
#4 EMBOÇO DE ARGAMASSA (EXTERNO)	Paredes Externas (Fechamento)	504,8 M^2	**2.954,1**	**10.8%**	17,2

Parecer de Descarbonização:
Os insumos cimentícios e perfis representam os principais pontos de emissão no ciclo A1-A3. O emprego de vedações a seco ou dosagens otimizadas propicia abatimento direto na curva de emissões.

6. DEMANDA DE ENERGIA INCORPORADA PRIMÁRIA (MJ E GJ)

Total: 357,13 GJ

ENERGIA POR SUBSISTE...

357.132 MJ



Estrutura & Fundação	38.5%
Paredes Externas (Fechamento)	34.0%
Paredes Internas (Divisórias)	3.8%
Isolamento Térmico & Acústico	0.6%
Cobertura & Telhado	23.2%

TOP INSUMOS EM DEMANDA DE ENER...

MJ

#1 TIJOLOS CERÂMICOS (VEDAÇ...	81.326 MJ
#2 CONCRETO USINADO FCK 30...	46.529 MJ
#3 TELHAS SHINGLE ASFÁLTICAS	38.336 MJ
#4 ESTRUTURA EM LSF PARA TEL...	38.144 MJ
#5 VERGALHÕES DE AÇO CA-50	33.845 MJ

Diagnóstico de Intensidade Energética:
A energia incorporada total (357,13 GJ) consolida o consumo térmico e elétrico na extração de matérias-primas e refino, demonstrando a pegada do processo de manufatura dos componentes.

7. BALANÇO DE MASSA TOTAL — 108,9 t

MASSA POR SUBSISTE... — 108.908 KG



Estrutura & Fundação	45.5%
Paredes Externas (Fechamento)	45.6%
Paredes Internas (Divisórias)	2.9%
Isolamento Térmico & Acústico	0.1%
Cobertura & Telhado	6.0%

8. GERAÇÃO DE RESÍDUOS (RCC) — 31,44 t

RESÍDUOS POR SUBSISTE... — 31.441 KG



Estrutura & Fundação	40.3%
Paredes Externas (Fechamento)	58.4%
Paredes Internas (Divisórias)	0.2%
Isolamento Térmico & Acústico	0.1%
Cobertura & Telhado	1.1%

8. COMPARATIVO TRIPLO DOS INDICADORES AMBIENTAIS

Composição vs. Alvenaria Convencional vs. Light Steel Frame

Alv. Comp. LSF



BALANÇO DE CARBONO
Acréscimo de +13.9%
vs alvenaria convencional

REDUÇÃO DE ENTULHO
Redução de 25.0%
menos perdas de canteiro

ALÍVIO ESTRUTURAL
Alívio de 20.6%
menos peso em fundações

Indicador Ambiental	Composição Modelada	Alvenaria (Ref.)	Steel Frame (Ref.)	Var. vs Alv.	Var. vs LSF
Emissões de CO_2 (kg)	27.370,7	24.033,3	19.211,6	+13.9%	+42.5%
Energia Incorp. (MJ)	357.132,0	402.509,7	257.272,4	-11.3%	+38.8%
Massa Total (kg)	108.908	137.126	21.604	-20.6%	+404.1%
Resíduos Sólidos (kg)	31.441,1	41.946,3	776,6	-25.0%	28,9% perda

Conformidade e Resíduos: Geração estimada de 182,8 kg/m² com taxa de perda de 28,9% frente à massa total.

10. INVENTÁRIO DE MATERIAIS E MEMÓRIA DE CÁLCULO (1 A 18 DE 22)

Módulos A1–A3 (Berço ao Portão)

Subsistema	Insumo / Componente	Qtd.	Unid.	Massa (kg)	CO_2 (kg)	Energia (MJ)	Resíduo (kg)
Estrutura & Fundação	**LIGHT STEEL FRAME (PERFIS DE AÇO LEVE)**	1.114,1	KG	**1.114,1**	**2.718,5**	**33.201,4**	39,2
Estrutura & Fundação	**FORMAS DE MADEIRA COMPENSADA**	247,9	M^2	**2.069,7**	**546,8**	**23.776,9**	2.380,2
Estrutura & Fundação	**VERGALHÕES DE AÇO CA-50**	2.115,3	KG	**2.115,3**	**2.242,2**	**33.844,8**	222,1
Estrutura & Fundação	**CONCRETO USINADO FCK 30MPA**	19,2	M^3	**44.229,0**	**6.015,1**	**46.528,9**	10.031,1
Paredes Externas (Fechamento)	**PLACA GLASROC X (12,5MM)**	44,2	M^2	**490,6**	**161,9**	**3.306,8**	9,2
Paredes Externas (Fechamento)	**MEMBRANA HIDRÓFUGA TYVEK**	44,2	M^2	**6,6**	**24,5**	**669,4**	0,1
Paredes Externas (Fechamento)	**TELA EM FIBRA DE VIDRO EXTERNA**	44,2	M^2	**10,7**	**28,0**	**619,5**	0,2
Paredes Externas (Fechamento)	**BASECOAT EXTERNO**	44,2	M^2	**221,0**	**50,8**	**886,2**	11,1
Paredes Externas (Fechamento)	**TIJOLOS CERÂMICOS (VEDAÇÃO EXTERNA)**	252,4	M^2	**18.627,1**	**2.812,7**	**81.326,0**	2.794,1
Paredes Externas (Fechamento)	**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO EXTERNA**	252,4	M^2	**4.038,4**	**621,9**	**4.615,9**	969,2
Paredes Externas (Fechamento)	**CHAPISCO DE ARGAMASSA (EXTERNO)**	504,8	M^2	**3.028,8**	**466,4**	**3.461,9**	1.681,0
Paredes Externas (Fechamento)	**EMBOÇO DE ARGAMASSA (EXTERNO)**	504,8	M^2	**19.182,4**	**2.954,1**	**21.925,5**	10.646,2
Paredes Externas (Fechamento)	**REBOCO DE ACABAMENTO (EXTERNO)**	504,8	M^2	**4.038,4**	**621,9**	**4.615,9**	2.241,3
Paredes Internas (Divisórias)	**PLACA DE GESSO ST (STANDARD)**	123,7	M^2	**1.001,9**	**210,4**	**6.051,4**	19,0
Paredes Internas (Divisórias)	**PLACA DE GESSO RU (RESISTENTE À UMIDADE)**	75,8	M^2	**644,6**	**154,7**	**4.080,6**	12,2
Paredes Internas (Divisórias)	**TELA EM FIBRA DE VIDRO INTERNA**	139,5	M^2	**33,8**	**88,3**	**1.955,3**	0,6
Isolamento Térmico & Acústico	**LÃ DE VIDRO (50MM TERMOACÚSTICA)**	132,5	M^2	**66,3**	**107,3**	**2.206,1**	16,6
Cobertura & Telhado	**ESTRUTURA EM LSF PARA TELHADO**	1.280,0	KG	**1.280,0**	**3.123,2**	**38.144,0**	45,1

10. INVENTÁRIO DE MATERIAIS E MEMÓRIA DE CÁLCULO (19 A 22 DE 22)

Módulos A1–A3 (Berço ao Portão)

Subsistema	Insumo / Componente	Qtd.	Unid.	Massa (kg)	CO_2 (kg)	Energia (MJ)	Resíduo (kg)
Cobertura & Telhado	**PLACAS OSB DE CONTRAVENTAMENTO**	266,6	M^2	**2.439,4**	**3.342,0**	**6.147,3**	146,1
Cobertura & Telhado	**SUBCOBERTURA SHINGLE (MANTA ASFÁLTICA)**	254,3	M^2	**26,7**	**3,1**	**90,1**	0,4
Cobertura & Telhado	**TELHAS SHINGLE ASFÁLTICAS**	254,3	M^2	**2.746,1**	**823,8**	**38.335,8**	148,0
Paredes Internas (Divisórias)	**MASSA DE GESSO**	199,5	M^2	**1.496,5**	**252,9**	**1.342,3**	28,0
		TOTAIS CONSOLIDADOS:		**108.908 kg**	**27.371 kg**	**357.132 MJ**	**31.441 kg**

11. PARECER CONCLUSIVO DE SUSTENTABILIDADE

Descarbonização — +13.9% vs Alv.
Total de 27.370,7 kg CO_2 (159,1 kg/m²). Cálculo baseado nos insumos.

Energia Primária — -11.3% vs Alv.
Energia de 357.132,0 MJ (2.076,3 MJ/m²), quantificando os módulos industriais A1-A3.

Cargas Estruturais — -20.6% vs Alv.
Massa de 108.908 kg (108.91 t). Redução de 28,2 t em fundações.

Resíduos de Obra — 28,9% perda
Estimativa de 31.441,1 kg de entulho, assegurando canteiro otimizado.

Este relatório técnico consolida os cálculos e simulações para a modelagem construtiva **Composição da Edificação - Casa Orlando**. Os resultados de impactos ambientais (CO_2e, energia, massa, RCC) foram processados a partir de coeficientes auditados.

Responsável Técnico pelo Estudo
Engenharia Civil • Sustentabilidade e Desempenho
Emissão: 19/10/2026

ImpactaBuild Analytics Engine
Validação Algorítmica e Certificação Digital
Documento Autenticado Digitalmente

ANEXO A - CARTA DE AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA ESPAÇO SMART PARA O USO DOS PROJETOS DA RESIDÊNCIA MODELO “CASA ORLANDO” NO ESTUDO DE CASO

CARTA DE AUTORIZAÇÃO

Ponta Grossa, 29 de Setembro de 2026.

Assunto: Autorização para uso dos projetos da residência modelo "Casa Orlando" em Trabalho de Conclusão de Curso.

A empresa **Espaço Smart SMART CENTER COMERCIO DE MATERIAIS DE CONSTRUCAO LTDA**, inscrita no CNPJ nº 19.051.774/0001-70, com sede em Ponta Grossa, PR, neste ato representada por **Renan Hessel da Cunha**, Diretor, portador do CPF nº 049.158.119-05, **AUTORIZA** o estudante **Murilo Roosevelt Hichuki**, portador do CPF nº 123.504.629-00 e RA nº 22015121, regularmente matriculado no curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa, a utilizar os projetos da residência modelo "Casa Orlando" como estudo de caso em seu Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado **"DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA ANÁLISE COMPARATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO ENTRE LIGHT STEEL FRAME E ALVENARIA CONVENCIONAL"**, sob orientação da Professora Maria Magdalena Ribas Doll.

O uso autorizado tem finalidade **exclusivamente acadêmica**, não implicando cessão de direitos autorais ou de propriedade intelectual, que permanecem com a empresa.

A autorização abrange a utilização dos dados e projetos fornecidos pelo setor de arquitetura da empresa, incluindo sua reprodução no trabalho, em anexos e na apresentação à banca, com a devida citação da Espaço Smart como fonte.

Renan Hessel da Cunha
Diretor – Espaço Smart

Murilo Roosevelt Hichuki
Acadêmico de Engenharia Civil