

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA**

GUSTAVO SILVA VARGAS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS VEDAÇÕES EXTERNAS DE UMA
EDIFICAÇÃO HABITACIONAL: ESTUDO ENTRE ALVENARIA E LIGHT STEEL
FRAME**

CAXIAS DO SUL

2021

GUSTAVO SILVA VARGAS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS VEDAÇÕES EXTERNAS DE UMA
EDIFICAÇÃO HABITACIONAL: ESTUDO ENTRE ALVENARIA E LIGHT STEEL
FRAME**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinicio Cecconello

CAXIAS DO SUL

2021
GUSTAVO SILVA VARGAS

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS VEDAÇÕES EXTERNAS DE UMA
EDIFICAÇÃO HABITACIONAL: ESTUDO ENTRE ALVENARIA E LIGHT STEEL
FRAME**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinicio Cecconello

Aprovado em

Banca Examinadora

Prof. Me. Vinicio Cecconello
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Givanildo Garlet
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dra. Renata Cornelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, aos meus pais João Paulo e Marli, por todo o apoio incondicional em toda minha trajetória de acadêmica, e por todo amor e carinho ao longo da minha vida sem os quais jamais me tornaria quem sou.

Um agradecimento em especial para minha namorada Gabriela, por ter me apoiado desde o início dessa trajetória acadêmica, com paciência e ajuda de todas as formas que estavam ao seu alcance.

Dedico este trabalho a minha avó Maria de Lourdes (in memoriam) que cuidou de mim até o último instante da sua vida. Sua lembrança me inspira e me faz persistir. Sempre serei grato pelo amor incondicional que me deste.

Dedico aos meus avós Maria Iolanda e Roni (in memoriam) que sempre torceram muito por mim.

Agradeço ao meu irmão Guilherme, que apesar de ser o caçula, me enche de orgulho e se fez presente em toda minha trajetória.

A todos meus familiares que de alguma forma contribuíram com apoio e foram compreensivos com os momentos de ausência.

Em especial a professora e orientadora Renata Cornelli que me ajudou no desenvolvimento da pesquisa e sempre estivera disposta a me auxiliar e transmitir seus ensinamentos. Essa conquista não seria possível sem tua dedicação e comprometimento.

Ao meu professor e orientador Vinicio Cecconello que me deu todo suporte ao longo da faculdade, sempre com empenho e compreensão.

A todos meus amigos, colegas de empresa, colegas de faculdade que de alguma forma me auxiliaram ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

VARGAS, Gustavo Silva. **Avaliação do Ciclo de Vida das vedações externas de uma edificação habitacional: estudo entre Alvenaria e Light Steel Frame**. 2021. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

Os métodos que intensificam a quantificação dos impactos ambientais tem sido considerado uma forma decisiva na escolha de processos construtivos no Brasil. É de extrema importância a elaboração de métricas que possibilitem avaliar o desempenho ambiental de produtos. Uma forma de medir o desempenho ambiental de uma edificação é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O presente trabalho busca avaliar por meio do ACV duas composições de vedações externas de uma determinada habitação. Entre as composições será avaliada as vedações externas em Alvenaria e em *Light Steel Frame*. Ambas composições serão avaliadas em seu processo exceto a fase de textura e pintura, onde pode ser implantado da mesma forma em ambas composições. Para tanto foi utilizado o inventário do ciclo de vida (ICV) a partir da base de dados ELCD 3.2, adotando-se o CML como método no software OpenLCA 1.10.3. Entre 11 tipos de impactos ambientais diferentes, constatou-se que a alvenaria foi mais impactante em 7 destes, porém, os resultados devem ser analisados pelo tipo de contribuição para cada impacto ambiental específico e conseqüentemente a categoria de impacto que atinge, visando analisar gargalos nos processos, e possíveis trocas de materiais em cada composição, visando expansão do tema proposto pelo trabalho.

Palavras-chave: Construção Civil. Avaliação do Ciclo de vida. Alvenaria. Light Steel Frame. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

VARGAS, Gustavo Silva. **Assessment of the Life Cycle of external fences of a housing building: Study between Masonry and Light Steel Frame**. 2021. TCC (Graduation) - Civil Engineering Course, University of Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

The methods that intensify the quantification of environmental impacts have been considered a decisive form in the construction processes choice in Brazil. It is extremely important to develop metrics that make it possible to assess the environmental performance of products. One way to measure the environmental performance of a building is through the Life Cycle Assessment (LCA). The present work seeks to evaluate two external coating compositions for a determined dwelling. Among the compositions, will be evaluated the construction in masonry and in Light Steel Frame. Both compositions will be evaluated in their process, except texture and painting, where it can be implemented in the same way in both compositions. The Life Cycle Inventory (LCI) was prepared from the ELCD 3.2 database, adopting the CML as as a method in OpenLCA software 1.10.3. Among 11 different types of impacts, it was found that masonry was more impactful in 7 of these, however, the results should be analyzed by the type of contribution for each specific environmental impact and consequently the impact category it reaches, in order to analyze bottlenecks in the processes, and possible of materials changing in each composition, aiming to expand the proposed theme by the work.

Keywords: Civil Construction. Life Cycle Assessment. Masonry. Light Steel Frame. Environmental Impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delineamento das Etapas da Pesquisa	17
Figura 2 - Fases da ACV	20
Figura 3 - Diferentes escopos em ACV	26
Figura 4 - Fluxograma das etapas de trabalho.....	34
Figura 5 - Categorias de Impactos Ambientais.....	35
Figura 6 - Projeto Arquitetônico Residência	36
Figura 7 - Fotografia Habitação do Estudo em LSF	37
Figura 8 - Componentes revestimento em alvenaria.....	39
Figura 9 - Componentes revestimento interno LSF	42
Figura 10 - Componentes revestimento externo LSF.....	43
Figura 11 - Etapas consideradas na avaliação dos impactos	45
Figura 12 - Extração Argila.....	46
Figura 13 - Fabricação Bloco	47
Figura 14 - Queima do Bloco.....	47
Figura 15 - Extração da argila e do calcário.....	48
Figura 16 - Produção do clínquer	49
Figura 17 - Produção do Cimento	49
Figura 18 - Embalagem do Cimento.....	50
Figura 19 - Comercialização do Cimento	50
Figura 20 - Extração da Areia.....	51
Figura 21 - Beneficiamento da Areia	52
Figura 22 - Extração do Calcário.....	53
Figura 23 - Beneficiamento da Cal	53
Figura 24 - Extração da Gipsita.....	54
Figura 25 - Beneficiamento do Gesso	55
Figura 26 - Extração minério de ferro.....	55
Figura 27 - Beneficiamento do aço.....	56
Figura 28 - Extração madeira	57
Figura 29 - Beneficiamento OSB.....	57
Figura 30 - Extração da Areia.....	58
Figura 31 - Fabricação vidro.....	58
Figura 32- Fabricação lã de vidro.....	59

Figura 33 - Fabricação Estireno	60
Figura 34 - Fabricação Poliestireno Expansível (EPS).....	60
Figura 35 - Extração do petróleo	61
Figura 36 – Fabricação Membrana Hidrófuga	61
Figura 37 - Extração argila e calcário	62
Figura 38 – Fibras de Vidro	62
Figura 39 - Tela Fibra de Vidro.....	63
Figura 40 - Extração Madeira	64
Figura 41 - Beneficiamento Madeira	64
Figura 42 - Fabricação fita de papel.....	65
Figura 43 - Consumo energético areia	67
Figura 44 - Entradas Fluxo Areia.....	68
Figura 45 - Análise de Impacto CML da Areia.....	69
Figura 46 - Potencial de Acidificação Alvenaria	70
Figura 47 - Potencial de Acidificação Light Steel Frame	71
Figura 48 - Potencial de Acidificação Alvenaria x LSF	72
Figura 49 - Mudança Climática Alvenaria.....	73
Figura 50 - Mudança Climática LSF	73
Figura 51 - Mudança Climática Alvenaria x LSF	74
Figura 52 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais Alvenaria	75
Figura 53 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais LSF	76
Figura 54 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais Alvenaria x LSF	76
Figura 55 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis Alvenaria	77
Figura 56 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis LSF	78
Figura 57 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis Alvenaria x LSF.....	78
Figura 58 - Eutrofização Alvenaria	79
Figura 59 - Eutrofização LSF.....	80
Figura 60 - Eutrofização Alvenaria x LSF	81
Figura 61 - Ecotoxicidade aquática em água doce Alvenaria.....	82
Figura 62 - Ecotoxicidade aquática em água doce LSF	82

Figura 63 - Ecotoxicidade aquática em água doce Alvenaria x LSF	83
Figura 64 - Toxicidade Humana Alvenaria	84
Figura 65 - Toxicidade Humana LSF.....	84
Figura 66 - Toxicidade Humana Alvenaria x LSF	85
Figura 67 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada Alvenaria.....	86
Figura 68 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada LSF	87
Figura 69 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada Alvenaria x LSF	87
Figura 70 - Destruição da Camada de Ozônio Alvenaria	88
Figura 71 - Destruição da Camada de Ozônio LSF.....	89
Figura 72 - Destruição da Camada de Ozônio Alvenaria x LSF.....	89
Figura 73 - Oxidação Fotoquímica Alvenaria	90
Figura 74 - Oxidação Fotoquímica LSF.....	91
Figura 75 - Oxidação Fotoquímica Alvenaria x LSF	91
Figura 76 - Ecotoxicidade Terrestre Alvenaria	92
Figura 77 - Ecotoxicidade Terrestre LSF.....	93
Figura 78 - Ecotoxicidade Terrestre Alvenaria x LSF	93
Figura 79 - Resumo Percentual Total de Impactos	94
Figura 80 - Resumo impactos por sistemas construtivos	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área paredes externas	37
Tabela 2 - Quantidade blocos	40
Tabela 3 - Quantidade Argamassa assentamento	40
Tabela 4 - Quantidades Materiais Argamassa assentamento	40
Tabela 5 - Quantidade materiais chapisco, emboço e reboco	41
Tabela 6 - Quantidade materiais totais alvenaria em Kg	41
Tabela 7 - Quantidades materiais totais LSF em Kg	44
Tabela 8 - Distância específica por materiais para parede de alvenaria	66
Tabela 9 - Distância específica por materiais para parede em LSF	67
Tabela 10 - Entradas Alvenaria	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Métodos AICV	22
Quadro 2 - Principais Software ACV no mundo	24

SIGLAS, TERMOS E ABREVIACOES

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida;
AICV	- Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida;
CRMD	- Canadian Raw Materials Database;
ELCD	- The European Life Cycle Database;
EPS	- Poliestireno Expandido;
GEE	- Gases do Efeito Estufa;
ICV	- Análise do Inventário Ciclo de Vida;
LSF	- Light Steel Frame;
LWF	- Light Wood Frame;
OSB	- Oriented Strand Board;
RF	- Resistente ao Fogo;
RU	- Resistente a Umidade;
ROM	- Run Off Mine;
ST	- Standart;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	DELINEAMENTO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	EDIFICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE	18
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	19
2.2.1	Definição do objetivo e do escopo	20
2.2.2	Análise do Inventário - ICV	21
2.2.3	Avaliação dos impactos - AICV	21
2.2.3.1	CML	22
2.2.1	Software	25
2.2.2	Interpretação ciclo de vida	25
2.2.3	Relatório final	27
2.3	ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
2.4	ACV NA CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA CERÂMICA	28
2.5	ACV NA CONSTRUÇÃO EM LIGHT STEEL FRAME	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	OBJETO DE ESTUDO	35
3.2	SOFTWARE	38
3.3	SIMULAÇÃO REVESTIMENTO EM ALVENARIA	38
3.4	SIMULAÇÃO REVESTIMENTO EXTERNO LIGHT STEEL FRAME	42
3.5	PROCESSOS RELACIONADO AOS MATERIAIS	44
3.5.1.	Processos na produção dos Blocos Cerâmicos (Alvenaria)	45
3.5.2.	Processos na produção da Argamassa (Alvenaria)	48
3.5.2.1.	Processos na produção do Cimento (Alvenaria)	48
3.5.1.1.	Processos na produção da Areia (Alvenaria)	51
3.5.1.2.	Processos na produção da Cal (Alvenaria)	52
3.5.1.	Processos na produção do Drywall (LSF)	54
3.5.2.	Processos na produção dos Perfis de Aço (LSF)	55
3.5.3.	Processos na produção das chapas OSB (LSF)	56

3.5.4. Processos na produção da Lã de Vidro (LSF)	57
3.5.5. Processos na produção da chapa de EPS – Poliuretano expandido (LSF)	59
3.5.6. Processos na produção da Membrana Hidrófuga (LSF)	61
3.5.7. Processos na produção da Tela de Fibra de Vidro (LSF)	62
3.5.8. Processos na produção da Fita junta (LSF).....	63
3.5.1 TRANSPORTE DOS MATERIAIS	65
3.5.9. Transporte de materiais para composição em Alvenaria	65
3.5.10. Transporte de materiais para composição em Light Steel Frame	66
3.6. FLUXO PROCESSOS	67
3.6.1. Entradas Software	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
4.1 POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO	70
4.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	72
4.3 ESGOTAMENTO DOS RECURSOS ABIÓTICOS – ELEMENTOS, RESERVAS FINAIS	75
4.4 ESGOTAMENTO DOS RECURSOS ABIÓTICOS – COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	77
4.5 EUTROFIZAÇÃO.....	79
4.6 ECOTOXICIDADE AQUÁTICA EM ÁGUA DOCE	81
4.7 TOXICIDADE HUMANA.....	83
4.8 ECOTOXICIDADE AQUÁTICA EM ÁGUA SALGADA.....	86
4.9 DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO	88
4.10 OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA.....	90
4.11 ECOTOXICIDADE TERRESTRE	92
4.12 RESUMO RESULTADOS.....	94
5 CONCLUSÃO.....	96
5.1 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS	97
REFERÊNCIAS.....	98
APÊNDICE A – CONSUMO ENERGÉTICO MATERIAIS	106
APÊNDICE B – ENTRADA FLUXO MATERIAIS	110
APÊNDICE C – ANÁLISE IMPACTOS MATERIAIS	114

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual da humanidade, a visão perante as questões ambientais é algo indispensável para qualquer estudo de viabilidade econômica. O crescimento e evolução tecnológica são itens que tendem a evoluir alinhados a visão sustentável dos recursos, para que a balança esteja sempre equilibrada.

Nesta premissa, a partir da década de 90, diante de um mercado cada vez mais exigente e competitivo, o setor da construção civil passa a dar mais importância a redução de custo, de desperdícios e a satisfação do cliente, pois a lucratividade é decorrente desses fatores (SOUZA; ABIKO, 1997). Em vista da sustentabilidade, surgem os estudos de caso visando a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que se torna mais uma ferramenta útil na tomada de decisões de materiais empregados para execução de um empreendimento.

A ACV é um procedimento para escolha de materiais, aos quais devem atender aos requisitos esperados, tanto para conforto estético, acústico e térmico de um determinado espaço, quanto para ser o mais sustentável. É a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (FERREIRA, 2004).

Segundo a NBR 15575-1, recomenda-se que os empreendimentos sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias-primas (ABNT, 2015). Ainda segundo o mesmo autor, na medida das possibilidades, devem ser privilegiados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final.

Tendo em vista esta pegada ecológica, surgem novos estudos visando práticas construtivas, que trazem além de aspectos como, desempenho construtivo mais ágeis e com propostas de melhor desempenho acústico e térmico, mas também envolvidos com a questão de sustentabilidade do planeta. Propondo o uso de novos materiais, e formas de construir que gerem menos resíduos, e desperdícios entre suas etapas construtivas. Segundo Gomes (2014), sistemas construtivos sustentáveis combinados ao uso de tecnologias seguem o conceito de baixo custo e redução do impacto ambiental nas diversas fases do ciclo de vida da construção.

Seguindo a ideia de novas práticas construtivas, esse trabalho visa trazer um novo método construtivo que está em constante desenvolvimento no Brasil, que é o *Light Steel Frame*, em comparativo com o sistema convencional em alvenaria. Será proposto um comparativo entre as duas composições para uma habitação residencial de padrão médio-alto, serão avaliados os materiais que contemplam as paredes externas da residência, e assim quantificado os impactos que os materiais exercem em seu ciclo de vida.

O *Light Steel Frame* é um sistema de construção inovador, que nos garante um prazo de construção mais ágil, basicamente seus materiais empregados passam por processos industrializados na sua composição e chegam no canteiro de obras na sua forma final de uso, não necessitando misturas ou aplicação de formas artesanais, o que garante uma redução no número de desperdício.

Enquanto o sistema em alvenaria convencional, emprega técnicas construtivas que são utilizadas a séculos, empregando materiais que muitas vezes acabam sendo cortados, perdidos ou desperdiçados dependendo muito da forma que é aplicado.

Segundo Figueiró (2009), a alvenaria é considerada como uma etapa da construção responsável pelos maiores índices de desperdício de materiais de uma obra. Visando assim dimensionar além do impacto gerado para a composição fabril do material a ser usado, em somatório com o resíduo que o mesmo pode gerar que não agrega na composição da parede.

Nesse contexto empregado, a motivação do trabalho busca trazer um sistema que consta com maior número de etapas industrializadas em comparativo com a construção em alvenaria convencional, podendo apresentar números significativos perante avaliação em diversos tipos de impacto que mostrem qual de ambos, aplicados em grande escala, gera menor impactos ao meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

Neste subcapítulo serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa promover a Avaliação do Ciclo de Vida de dois cenários que nos proporcionam bons desempenhos técnicos de composição de fachada externa, apresentando um estudo de duas tipologias de revestimento externo para residenciais de um padrão médio-alto de empreendimentos. A composição se dará entre um sistema convencional em alvenaria com parede dupla composta de revestimento argamassado nas faces internas e externas, em comparativo a estrutura em Light Steel Frame (LSF), composta por aço na composição dos seus montantes estruturais, com revestimento interno em Drywall e externo em placa de EPS.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com vistas a atender o objetivo geral deste trabalho, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Comparar as duas composições perante 11 tipos de impactos (Potencial de Acidificação, Depleção da camada de ozônio, Esgotamento dos recursos abióticos - Elementos e reservas finais, Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis, Ecotoxicidade em Água Doce, Ecotoxicidade em Água Salgada, Ecotoxicidade Terrestre, Eutrofização, Mudança Climática, Oxidação fotoquímica, Toxicidade humana);
- b) Identificar potenciais impactos relacionados com cada material das composições;
- c) Subsidiar tomadores de decisão na escolha da alternativa menos impactante;
- d) Construir um inventário com as principais variantes no processo do ciclo de vida de cada uma das alternativas com uso de dados nacionais.

1.2 DELINEAMENTO

O trabalho foi dividido em cinco partes, conforme a Figura 01:

Figura 1 - Delineamento das Etapas da Pesquisa



Fonte: O Autor (2021).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos relevantes para contextualização deste trabalho. Inicialmente será descrito a história da ferramenta ACV, suas ferramentas de estruturação e seu embasamento relacionado a construção civil, por fim serão descritos os dois sistemas construtivos a serem analisados, sendo estes Alvenaria e LSF.

2.1 EDIFICAÇÕES E SUSTENTABILIDADE

O termo sustentabilidade pode ser definido como uma situação que se deseja permitir a continuidade da existência humana e da sociedade, ou como uma busca por integrar aspectos econômicos, culturais, sociais e ambientais da sociedade humana com uma principal preocupação de se preservar, para que a habilidade e a capacidade das gerações futuras, além dos limites do planeta, não sejam comprometidas (ARAÚJO, 2009).

Segundo o SEBRAE (2007), a gestão ambiental é uma questão de sobrevivência, tendo em vista que o meio ambiente é hoje parte do processo produtivo e não mais uma externalidade. Isto faz com que a variável ambiental esteja presente no planejamento das empresas por envolver a oportunidade de redução de custos, já que uma empresa poluente é, antes de tudo, uma entidade que desperdiça insumos e gasta mais para produzir menos.

A questão ambiental é algo que vem não somente para impor regras perante aos métodos construtivos, ela é algo que deve andar junto com as inovações desse setor, pois ela preza por evitar os impactos ambientais que conseqüentemente são a redução dos desperdícios nos métodos construtivos. Ou seja, evitando o número de desperdícios, resulta que o valor investido numa construção cada vez mais está totalmente empregado no produto final, sem ter investimentos em algum material que depois parte pode virar a se tornar resíduo.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Construção Civil é um setor que desde seus primórdios está em constante mudança e depende diretamente de recursos naturais para sua execução, geralmente são em escalas significativas. Para este tipo de analogia relacionada ao controle de materiais a serem consumidos, um método de regulamentação e ferramenta de controle para fins de impactos causados pelos mesmos, foi criado a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV se originou com a crise do petróleo da década de 1970, auxiliando inicialmente como uma ferramenta para analisar opções para a redução de custos operacionais relacionados ao consumo de energia e de matérias-primas de processos produtivos, objetivando fontes alternativas de combustíveis e materiais de fontes fósseis (STEIN, 2018).

A análise dos possíveis impactos causados a partir da escolha dos materiais para a concepção dos empreendimentos, é primordial para a elaboração de um projeto. Caso este item estivesse previsto desde o plano diretor das cidades, seria peça fundamental para sustentabilidade do nosso planeta.

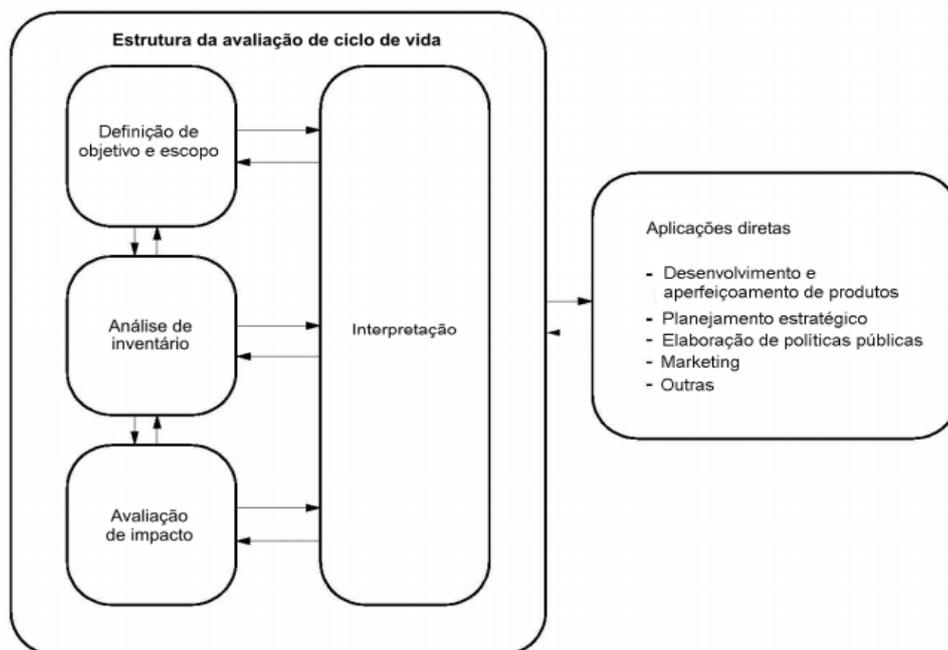
O método de avaliação por ACV, é um método que tende a vir simplificar a busca por conteúdos, segundo a norma que gere a ACV, NBR 14040 (ABNT, 2009). Ele considera todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração e aquisição de matérias-primas, através da produção de energia e materiais, manufatura, uso, tratamento de fim de vida até a disposição final.

2.2.1 Definição do objetivo e do escopo

A definição do objetivo consiste em identificar as definições que o trabalho busca concluir. Neste caso buscar informar um critério decisório, na escolha de um sistema construtivo para duas composições de materiais de uma residência.

A partir da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), os resultados da ACV podem ser subsídios úteis para uma variedade de processos decisórios. As aplicações diretas dos resultados de estudos de ACV ou ICV, ou seja, as aplicações pretendidas na definição de objetivo e escopo do estudo de ACV ou ICV, conforme Figura 2.

Figura 2 - Fases da ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009).

Interpretando a Figura 2, retirada da ABNT 14040, nota-se a importância da definição do objetivo e como isto está ligado em ambos sentidos com a interpretação que buscasse obter com a ACV.

2.2.2 Análise do Inventário - ICV

Esta etapa refere-se à avaliação dos dados de entrada e saída dos itens a serem analisados de cada sistema, tem como descrição de Inventário do Ciclo de Vida (ICV). No caso em análise, identificara entradas e saídas estão referidas aos recursos de liberação no solo, água e ar em associação com o sistema.

Será estipulada uma unidade funcional para fins de comparabilidade de resultado entre sistemas analisados, segundo NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), o propósito principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade de resultados da ACV. A comparabilidade de resultados da ACV deve ser particularmente crítica quando diferentes sistemas estiverem sendo avaliados, para assegurar que tais comparações sejam feitas numa base comum.

Conforme Choio (1994), o ICV é o total cumulativo das entradas e saídas de um sistema para cada fase de um produto. O consumo de recurso tem sido escolhido para investigação por duas razões principais: auxiliar no alcance do objetivo global de redução de aquisição de material, considerar os inter-relacionamentos entre o consumo de material e energia, bem como emissão de resíduos gerados para a produção dos produtos.

Para alimentação do inventário é necessário que seja feito por uma base de dados de confiança, atualmente estas bases de dados são alocadas em *softwares*, sendo destes alguns licenciados ou de uso grátis. Entre os principais bancos de dados pode citar Ecoinvent, USLCI, *Canadian Raw Materials Database* (CRMD), *German Network on LCI*, *The European Life Cycle Database* (ELCD) E *The LCA National Project in Japan*.

2.2.3 Avaliação dos impactos - AICV

A avaliação de impactos busca identificar detalhadamente cada resíduo analisado em todo seu percurso de vida, tem com descrição a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV), analisa as formas de composição desde sua matéria-prima, definindo assim suas fases complexas até o seu descarte final.

Guinée (2001) declara que normalmente esta fase tem uma intensiva demanda de recursos, dados qualitativos e quantitativos que devem ser incluídos no inventário de uma ACV, necessitam de uma particular coleta de dados para cada etapa de processo presente no sistema.

Entre os métodos avaliativos para o ciclo de vida, o Quadro 1, mostra os principais métodos utilizados, acompanhado dos seus países de origem e anos de criação.

Quadro 1 - Principais Métodos AICV

Nome	País	Detalhamento
CML	Holanda	Guinée (2001)
Eco-indicador99	Holanda / Suíça	Goedkoop et al. (2000)
Ecopoints	Suíça	Brand et al. (1998)
EDIP	Dinamarca	Wenzel et al. (1997)
EPS	Suécia	Steen (1999)
IMPACT 2002(+)	Suíça	Jolliet et al. (2003)
JEPIX	Japão	Miyazaki et al. (2003)
LIME	Japão	Itsubo e Inaba (2003)
LUCAS	Canadá	Bulle et al. (2005)
TRACI	Estados Unidos	Bare et al. (2003)

Fonte: Adaptado de MENOUI (2011).

Perante os principais métodos indicados para avaliação de impacto, o presente trabalho usará o método CML (2001) como referencial teórico, por avaliar o maior número de impactos ambientais.

2.2.3.1 CML

O método CML 2001 (ou CML 01) surgiu por meio de estudos de um grupo de cientistas associados ao Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Holanda. O grupo publicou um guia operacional para as normas ISO (GUINÉE et al, 2001b; GUINÉE et al, 2001c), resumidamente sua proposta é fornecer diretrizes com guias operacionais para conduzir um estudo ACV.

O método difere em dois tipos de impacto aos itens analisados, sendo estes o *midpoint*, que é a abordagem orientada ao problema e o *endpoint*, que é abordada aos danos gerados.

As categorias de impacto obrigatórias estão disponíveis em diversos métodos de AICV, e permitem comparações de seus resultados entre diferentes métodos. As principais categorias de impacto do CML 2001 são: Acidificação, Depleção da camada de ozônio, Depleção de recursos abióticos, Ecotoxicidade, Eutrofização, Mudança Climática, Oxidação fotoquímica, Toxicidade humana (GUINÉE, 2001).

Acidificação – É o fenômeno causado pela queima de combustíveis fósseis, pela produção de energia, pela emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e enxofre (SOx) para atmosfera, água e solo. Ocorre a adição de cátion de hidrogênio (H⁺), que resulta na redução de pH, aumentando a acidez da água e solo. Os resultados obtidos nessa categoria geralmente são expostos em dióxido de enxofre (SO₂) resultando em Kg SO₂-eq. / kg de emissão.

Depleção da camada de ozônio – Refere-se à redução da camada de ozônio (O₃) e conseqüentemente exposição da terra aos raios ultravioletas, que são prejudiciais à saúde humana e ecossistemas. Seus resultados são expressos em Kg CFC-11-eq / Kg de emissão.

Depleção dos recursos abióticos – Baseia-se na extração de recursos naturais, como minerais, óleo cru (base do petróleo), gás natural, carvão mineral, sendo estes os fatores não vivos do ecossistema. Os resultados são expostos em Kg de Antimônio – eq. / Kg de emissão quando relacionado elementos e reservas, e em MJ-eq. / Kg de emissão quando relacionado ao esgotamento de combustíveis fósseis.

Ecotoxicidade – Representa a ação tóxica de substâncias perante a fauna e flora por meio de atividades antrópicas, como descartes incorretos de rejeitos, metais pesados, derivados de petróleo, que causam danos aos organismos vivos, a função e estrutura do ecossistema. Estes danos podem ser avaliados perante a água salgada, água doce ou terra. Sua unidade expressa nos resultados é em Kg Diclorobenzeno-eq / Kg de emissão.

Eutrofização – É o fenômeno que resulta no aumento de nutrientes no ambiente aquático causados por excesso de substâncias a base de nitrogênio e fósforo, gerando danos ao meio ambiente marinho, como mortalidade de espécies devido à redução de oxigênio. Os resultados são expressos em Kg PO₄-eq. / Kg de emissão.

Mudança climática – Basicamente é gerado pela emissão de gases, por diversas atividades econômicas, que acabam afetando as camadas mais próximas da

terra. Os gases que geram esse fato, são o dióxido de carbono (CO₂) e o Metano (CH₄). Atividades como desflorestamento e queima de combustíveis fósseis são exemplos que contribuem para a pontuação de aquecimento global (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2005). Resultados são expressos em kg de CO₂ – eq. / Kg de emissão.

Oxidação fotoquímica – É a formação de substâncias reativas que causam danos à saúde humana e ecossistemas, causado por reações de óxidos de nitrogênio e substâncias orgânicas voláteis sob a ação dos raios ultravioleta, gerando nevoeiros. Resultados são expressos em Kg Etileno-eq. / Kg de emissão.

Toxicidade humana – É causada pelas emissões de substâncias tóxicas no meio ambiente, que refletem diretamente na saúde humana. Inclui efeitos toxicológicos crônicos, efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos e impactos relacionados a uma determinada massa de um elemento químico. Resultados são expressos em Kg de Diclorobenzeno-eq. / Kg de emissão.

A partir da definição do banco de dados a ser utilizado, este é alocado em *software* para obtenção de resultados para interpretação do ciclo de vida e relatório final, estes permitem a inserção de parâmetros em forma de fórmulas matemáticas, índices de eficiência dos materiais e insumos ou funções lógicas. Os principais *softwares* estão descritos conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Principais Software ACV no mundo

Nome	Endereço internet
BEES	http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm/
The Boustead Model	http://www.boustead-consulting.com.uk/products.htm
CMLCA	http://www.cmlca.eu/
ECO-it	http://www.pre-sustainability.com/content/eco-it-ecodesign-software
EIOLCA	http://www.eiolca.net/
GaBi	http://gabi-software.com/
GEMIS	http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm
GREET Model	http://greet.es.anl.gov/
IDEMAT	http://www.idemat.nl/
LCAiT	http://www.lcait.com/
LCAPIX	http://www.kmlmtd.com/index.html
OpenLCA	http://www.openlca.org/index.html
Simapro	http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software
Solidworks	http://www.solidworks.com/sustainability/sustainability-software.htm
Software Sustainable Minds	http://www.sustainableminds.com/
TEAM TM	http://www.ecobilan.com/uk_team.php
Umberto	https://www.umberto.de/en/
WISARD TM	https://www.ecobilan.com/uk_wisard.php

Fonte: Adaptado de Curran, 2006.

2.2.1 Software

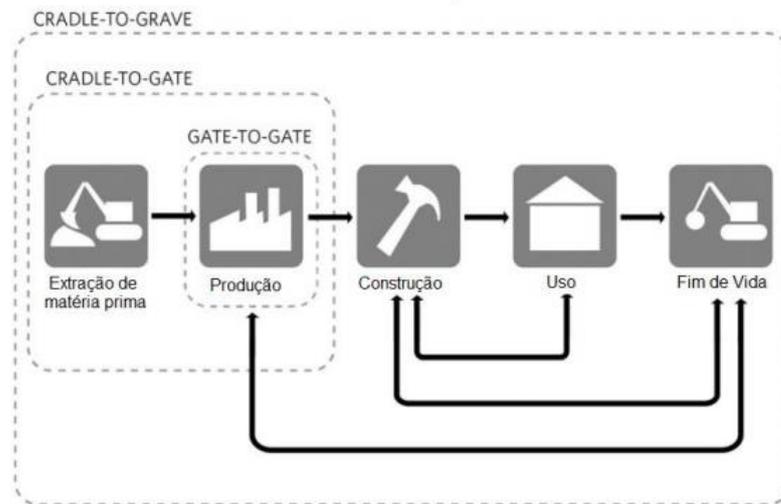
O *software* escolhido para o presente trabalho será o OpenLCA. O mesmo foi criado em 2006, é executado e gerado pelo *GreenDelta*. O OpenLCA permite a importação de bancos de dados disponibilizados no OpenLCA nexus, que é um repositório online de dados de ICV. Nele encontram-se dados oferecidos pelo *world-leading* LCA, Ecoinvent centre, PE Internacional e do ELCD (*Joint Research Centre from the European Commission*). Em sua última versão, testes comparando os resultados do OpenLCA com outros softwares de avaliação do ciclo de vida foram desenvolvidos a fim de comprovar a eficiência do algoritmo utilizado. Os resultados obtidos apresentaram valores idênticos para quase todos os fluxos considerados, demonstrando que o OpenLCA apresenta funcionamento similar ao dos programas SimaPro e o sistema de processamento Ecoinvent (NOI; CIROTH; SROCKA, 2017).

Estes softwares auxiliam o estudo principalmente com relação a análise de inventário do ciclo de vida, pois permite que o processamento de dados ocorra de maneira mais fácil, rápida e imparcial, garantindo maior confiança nos cálculos e originando relatórios consistentes (RODRIGUES, 2008).

2.2.2 Interpretação ciclo de vida

A interpretação é a última fase da análise, onde se junta todos dados obtidos e destes, busca tirar as conclusões propostas. Esta fase tem como função analisar o produto em si, e propor modificações ou melhorias no processo, ou no caso em si, identificar o sistema que no quesito ACV apresenta números mais favoráveis em relação ao número inferior de dados gerados. A Figura 3 nos expressa as diferentes interpretações que se pode obter das entradas e saídas de um determinado item.

Figura 3 - Diferentes escopos em ACV



Fonte: FELLER (2014).

Na interpretação são desenvolvidas prioridades e são feitas avaliações identificando oportunidades para redução do ônus ambiental (PRADO, 2007).

Para ABNT (2009a) existem três elementos básicos na interpretação:

- Identificação de questões relevantes (*hotspots*) para os resultados de ICV e AICV;
- Avaliação de estudo considerando as verificações de completeza, sensibilidade e consistência. A análise de completeza visa verificar se todas as informações relevantes e dados necessários para o estudo de ciclo de vida estão disponíveis e completos. A verificação de sensibilidade avalia a confiabilidade final dos resultados e as conclusões determinando o quanto que eles são afetados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação, alteração de pressupostos, etc. E a análise de consistência analisa o quanto que as hipóteses traçadas, métodos e dados obtidos são consistentes ao longo do ciclo de vida do produto;
- Conclusões, limitações e recomendações. As conclusões levam em conta as definições da fase de objetivo e escopo e os resultados da identificação das questões relevantes do estudo. Sobre as recomendações, estas devem estar embasadas nas conclusões finais, devendo refletir de maneira lógica e razoável como consequências das conclusões. Também convém que as recomendações estejam engajadas com a aplicação do estudo de ACV.

2.2.3 Relatório final

O relatório final expressa os resultados obtidos para cada composição proposta, de uma forma clara, trazendo valores que se tornem uteis para uma tomada de decisão.

Para Manzini e Vezzoli (2002) existem três razões fundamentais que torna a operação ACV complexa:

- a) Deve-se considerar que o impacto ambiental não é determinado por um produto, e menos ainda por um material que compõe, mas pelo conjunto dos processos que o acompanham durante todo o seu ciclo de vida, sendo necessário, preparar e sistematizar um modelo de ciclo de vida do produto como um todo, considerando desde a extração de matéria-prima até sua eliminação final;
- b) Uma vez definido o perfil do ciclo de vida inteiro do produto, ficam muitas dúvidas sobre os reais impactos ambientais dos processos utilizados, faltando dados preciosos para a análise;
- c) O conhecimento sobre o ambiente que nos circunda ainda é limitado, o ambiente é particularmente complexo e torna-se difícil defini-lo com um modelo apenas.

O uso do ACV na construção civil deve abranger diferentes indicadores ambientais de modo a identificar as etapas ou elementos críticos ao longo do ciclo de vida, uma vez que o setor tem papel relevante ao consumo energético e de recursos, na geração de resíduos e nas emissões atmosféricas (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

2.3 ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil é um importante influenciador no consumo mundial de recursos naturais e energia elétrica, além de representar parcela significativa da economia no Brasil (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BRASIL, 2017).

Como a construção civil é um setor econômico em grande destaque

mundialmente, e necessita diretamente de recursos naturais para sua execução, e também é uma grande geradora de resíduos, se torna alvo de vários estudos com finalidade de analisar e viabilizar melhores práticas, visualizando a sustentabilidade no setor. Segundo estudo de Miranda, Angulo e Careli (2009), em 2008 cerca de 1% das empresas construtoras no Brasil possuía parcerias com empresas de consultoria e outras instituições conhecidas para a implantação do gerenciamento de RCD em seus canteiros.

De acordo com Rodrigues (2008) a área de edificações e construção civil como um todo, gera muitos impactos ambientais e econômicos. Cerca de 10% do PIB mundial vem da construção, produzindo anualmente 3 bilhões de dólares, diluídos 30% na Europa, 23% nos países emergentes, 22% nos EUA, 21% no Japão e 4% no restante.

O panorama apresentado mostra o grande potencial que o setor tem para buscar soluções que minimizem os impactos gerados pela sua atividade (MEDEIROS; DURANTE; CALLEJAS, 2018).

Os métodos da ACV fazem parte da avaliação na construção civil desde a década de 90, dando análises consistentes das edificações. A partir destes estudos, a ACV em edificações pode ter dois focos diferentes, um voltado para os materiais de construção e outro para a junção dos processos de uma obra (ORTIZ, 2009).

Construir impactando o meio ambiente o menos possível é um desafio nesse século e, sendo assim, a industrialização da construção civil é um princípio que deve ser considerado desde a concepção do projeto arquitetônico, gerando por meio de modernas 25 tecnologias em pré-fabricação de materiais, a configuração do canteiro de obras para uma linha de montagem (CASTRO, 2014).

2.4 ACV NA CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA CERÂMICA

A construção de paredes em blocos ou tijolos de alvenaria, é uma prática muito antiga, que surgiu há 4.000 a.C, onde a construção passou a ser executada a partir de tijolos resultantes da argila. Por alvenaria entende-se o sistema construtivo composto por blocos, tijolos ou pedras que podem ser unidos por meio de um ligante, normalmente uma argamassa cimentícia (ABCP, 2013).

O sistema construtivo de alvenaria teve um espaço muito grande durante séculos na história da arquitetura principalmente por poder ser fabricada com 47 diferentes componentes, por ser um sistema de fácil execução e adaptação à diferentes sítios, tipologias e sistemas de produção das edificações (ZANONE; SÁNCHEZ, 2012).

A alvenaria como forma tradicional de construção tem sido usada há milhares de anos. Com o passar do tempo, houve muitos avanços sobre os materiais e componentes utilizados, assim como nas metodologias de cálculo; no período entre os séculos 19 e 20, por exemplo, edifícios eram construídos com espessuras excessivas (RICHTER, 2007).

Assim, com base em John (2007), Isaia (2007) e John et al (2007), cabe selecionar materiais por suas características: os de menor impacto ambiental, advindos de fontes renováveis ou com relação à redução da poluição do ar; os duráveis, com maior resistência (ou conservação) ao longo do tempo; os de Graduações Funcionais (FGM), que são cromoativos, autolimpantes, hiperisolantes térmicos, que geram energia; e os que são capazes de ajustar a umidade internas de edifícios.

Com base nos principais métodos construtivos no Brasil, a construção convencional é aquela bem estabelecida em seu país, com grande disponibilidade de mão de obra habilitada para a sua execução e vasta aplicação nos canteiros de obras. Nas construções convencionais do Brasil predomina-se o uso do concreto armado e da alvenaria (VASQUES; PIZZO, 2014).

O sistema em si possui diversas etapas artesanais, e que dependem muito de profissionais capacitados e bem orientados, para que as tarefas sejam realizadas com êxito e com o menor número de desperdício possível.

Executada a alvenaria, as instalações são realizadas através de rasgos nos blocos para passagem de conduítes, tubulações e caixas elétricas. Depois, deve ser feito o revestimento das paredes, composto por camadas de espessura variada de chapisco, emboço, reboco e massa corrida ou gesso, nesta ordem de aplicação (PILOTTO; VALLE, 2011; VASQUES; PIZZO, 2014).

Para execução das tarefas como assentamento da alvenaria, e suas tarefas subsequentes como Chapisco, Emboço e Reboco, o cimento se faz presente em todas, na formulação da Argamassa para as mesmas.

No entanto, as argamassas utilizadas como revestimentos, que têm seu uso bastante frequente na construção civil brasileira, possuem poucos dados de seus impactos ambientais - apenas os de alguns estudos como Albuquerque, Lira e Sposto (2018) e Caldas e Toledo Filho (2018).

Cimento, de acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2002), é um pó fino acinzentado, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio que em contato com água hidratam formando uma pasta moldável e resistente, capaz de aglutinar outros materiais como os agregados e desenvolver grande resistência mecânica ao longo do tempo. A matéria-prima principal do cimento é o calcário. A extração da rocha de calcário envolve a retirada da vegetação, desmonte por explosivos, transporte de material para as usinas de processamento e britagem. A este são adicionados argila, alumina, óxido de ferro para facilitar a formação de silicatos de cálcio. Estes minerais passam por processos de britagem, moagem e mistura, alimentados por energia elétrica, para garantir a homogeneização da mistura antes de ser levada para a queima (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para composição da Argamassa é necessário a combinação do cimento, areia e cal. A areia é utilizada em mais de uma granulometria, dependendo da sua aplicação. Perante os aspectos ambientais da mineração de areia e cascalho, estas caracterizam-se por uso e ocupação do solo temporários (passível de recuperação para usos futuros sustentáveis), com remoção de vegetação (inclusive de áreas de preservação permanente) e alteração temporária de ecossistemas locais. Não há utilização de substâncias químicas poluentes no processo produtivo e a necessidade de combustíveis e lubrificantes é bem menor em comparação com outras indústrias (ALMEIDA; LUZ, 2012).

Para obtenção da cal, segundo Bessa (2010), é feita por meio da perfuração de bancada com posterior explosão para desmonte da rocha. A partir daí, ocorre o transporte dos pedaços de rocha, com posterior moagem do material até granulometria específica. A parte de moagem e calcinação envolve grande quantidade de energia térmica e elétrica, sendo estas etapas responsáveis por grande parte das emissões relacionadas à cal.

2.5 ACV NA CONSTRUÇÃO EM LIGHT STEEL FRAME

O *Light Steel Framing* (LSF), estrutura leve em aço, teve origem no início do século XIX, iniciando com as habitações em madeira construídas no território norte americano, chamado de *Light Wood Framing* (LWF). O crescimento populacional e a expansão das cidades naquela época demandavam sistemas construtivos com maior rapidez, o que proporcionou o cenário ideal para a difusão do sistema de LWF (FREITAS; CRASTO, 2006).

O LSF traz o conceito de obras industrializadas, onde a etapa de projeto tem um período maior, porém é recompensado no tempo de execução, podendo equivaler a um terço da obra convencional em alvenaria.

Segundo Milan, Novello e Reis (2011), o sistema construtivo em LSF possui características que facilitam o gerenciamento da produção e do controle de qualidade em toda sua cadeia, como insumos industrializados e fabricados sob normas de qualidade, padronização/modulação de medidas, assim como a utilização de mão de obra mais qualificada e especializada.

Segundo Santiago (2012), os principais benefícios e vantagens no uso do sistema *Light Steel Frame* em edificações são os seguintes:

- Produtos padronizados com tecnologia avançada, onde os elementos construtivos são produzidos industrialmente, e a matéria-prima, processos de fabricação e acabamentos passam por rigorosos controles de qualidade;
- O aço é um material de comprovada resistência e alto controle de qualidade;
- Durabilidade e longevidade da estrutura;
- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido a leveza dos elementos;
- Construção a seco, o que diminui o uso de recursos naturais e o desperdício;
- Rapidez na construção, dentre outros.

As desvantagens do sistema estão relacionadas ao mesmo possuir uma quantidade maior de materiais na composição, e dependendo da região da construção, pode encontrar-se maior dificuldade para aquisição dos mesmos.

O sistema apresenta diversidade nas tipologias de paredes, tudo isso depende

do padrão construtivo escolhido, seja esse visando economia, melhores desempenhos térmicos ou acústicos, composição mais sustentável. A proposta para o trabalho em sim será uma parede externa revestida em sua face interna por chapa OSB e posteriormente chapa Drywall com utilização de fita juntas para as emendas de placas.

As chapas de Drywall ficam localizadas na face interna da composição, basicamente podem ser de três tipos, que são diferenciadas pela cor do papel-cartão, e seu tipo de aplicação. Verde, Resistente a Umidade (RU), são utilizadas em áreas úmidas, possuem silicone e aditivos fungicidas na sua composição, Rosa, Resistente ao Fogo (RF), tem na sua composição fibra de vidro, podem ser utilizadas em revestimento de áreas como churrasqueiras e lareiras, ou em lugares com determinada resistência ao fogo exigida e Branco, Standard (ST), que são as mais utilizadas em ambientes secos e forros.

A produção das chapas de gesso é dividida em duas etapas, conforme Marcondes (2007), a primeira denominada calcinação, consiste na transformação do minério de gipsita de gesso, ou seja, do sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) em semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 + 1/2\text{H}_2\text{O}$) por meio de etapas de moagem, calcinação e resfriamento.

Para tratamento das emendas das chapas Drywall, são utilizadas fitas de papel. Segundo Labuto, deve-se atentar também para o tratamento das juntas, pois está diretamente atrelado a características de desempenho da estrutura. Existem maneiras distintas de se executar o tratamento das juntas, que em geral é feita utilizando massa especial para rejunte e a fita de papel micro perfurado (LABUTO, 2014).

A chapa OSB são formadas de partículas de madeira orientadas e prensadas, tem função de estruturar a composição, demonstrando melhor capacidade de fixação de moveis posteriores, além de função de enrijecer a parede. A mesma é utilizada tanto na face interna quanto externa, ambas fixadas direto no perfil de aço.

A placa de *Oriented Strand Board* (OSB) ou painel de tiras de madeira orientados são fabricadas em três a cinco camadas de tira de madeira reflorestada coladas com resina à prova de água e consolidados por prensagem a quente. Os painéis são tratados contra insetos e possui uma relativa resistência a umidade (SANTIAGO, FREITAS E CRASTO, 2012).

A face externa da parede, será composta pelo perfil de aço, revestido

internamente com lã de vidro, após conforme citado anteriormente a chapa OSB, membrana Hidrófuga, chapa de EPS e tela de fibra de vidro para tratamento das emendas de placas.

Os perfis de aço são utilizados para formação das paredes e estruturação, são modulados e garantem a rigidez do sistema. Geram vantagens pois permitem o reaproveitamento e reciclagem.

Os perfis de aço que compõem a estrutura, por passarem por processo de industrialização, a quantidade de sobras e entulho gerados é significativamente reduzida, além da possibilidade de reciclagem (CAMPOS, 2014).

A lã de vidro é alocada no meio do perfil de aço, tem como função principal de exercer função termo acústica. É fabricada em fornos de alta temperatura, composta de sílica, sódio e adição de resinas sintéticas que visam aumentar sua capacidade isolante.

A membrana Hidrófuga, que é fixada após a chapa OSB no revestimento externo, tem função de impermeabilizar o revestimento. A barreira impermeável adotada é feita de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e possui estanqueidade. É uma das camadas do sistema de vedação e, apesar de ter a principal função de impermeabilidade, também protege contra entrada de vento, poeira e insetos nas instalações (IBU, 2016).

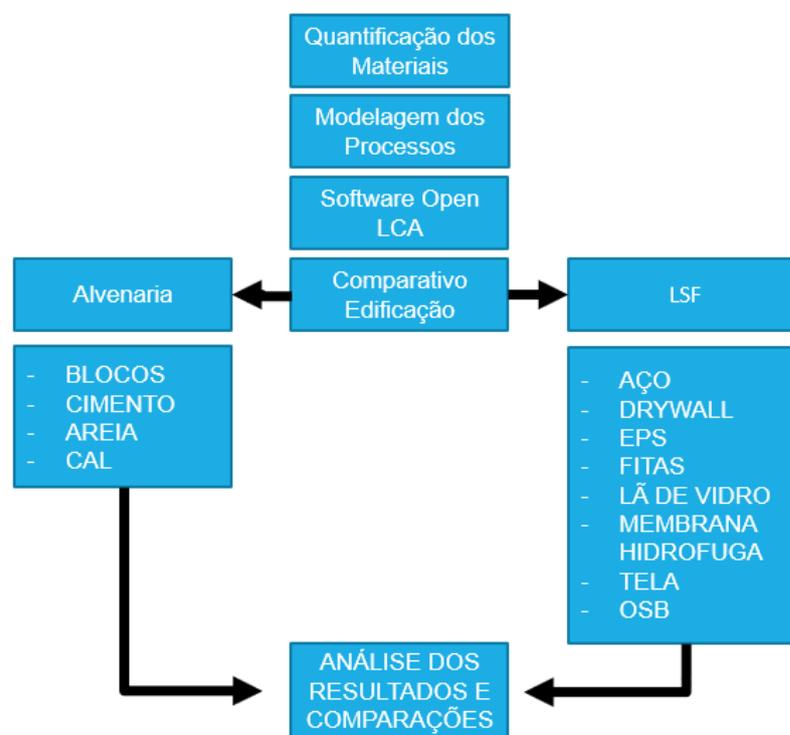
Posteriormente tem-se a chapa de *Expanded PolyStyrene* (EPS), que basicamente agrega na estrutura como um material de melhor comportamento energético, que funciona muito bem como isolante térmico, possui baixo peso, diminuindo o peso da composição. É um material reciclável e fabricado sem o uso do gás CFC, nocivo à camada de ozônio e contribuinte para o aquecimento global.

Para tratamentos das juntas das placas em EPS, e reforço na camada de cobertura da parede, possibilitando melhor aderência de posterior textura ou acabamento, utiliza-se a tela de fibra de vidro. Tem função de distribuir as tensões evitando fissuras, podendo ser encontrada em rolos, ou em peças específicas como cantoneiras, perfis para junta de dilatação, perfis pingadeira entre outros.

3 METODOLOGIA

A fase experimental do trabalho será desenvolvida conforme fluxograma representado na Figura 4, onde será discriminado as composições de materiais para cada composição de revestimento, seguido da modelagem de cada material perante seu processo de fabricação.

Figura 4 - Fluxograma das etapas de trabalho



Fonte: O Autor (2021).

Os 11 tipos de impactos ambientais analisados estão descritos na Figura 5, com suas devidas categorias de impacto que atingem.

Figura 5 - Categorias de Impactos Ambientais

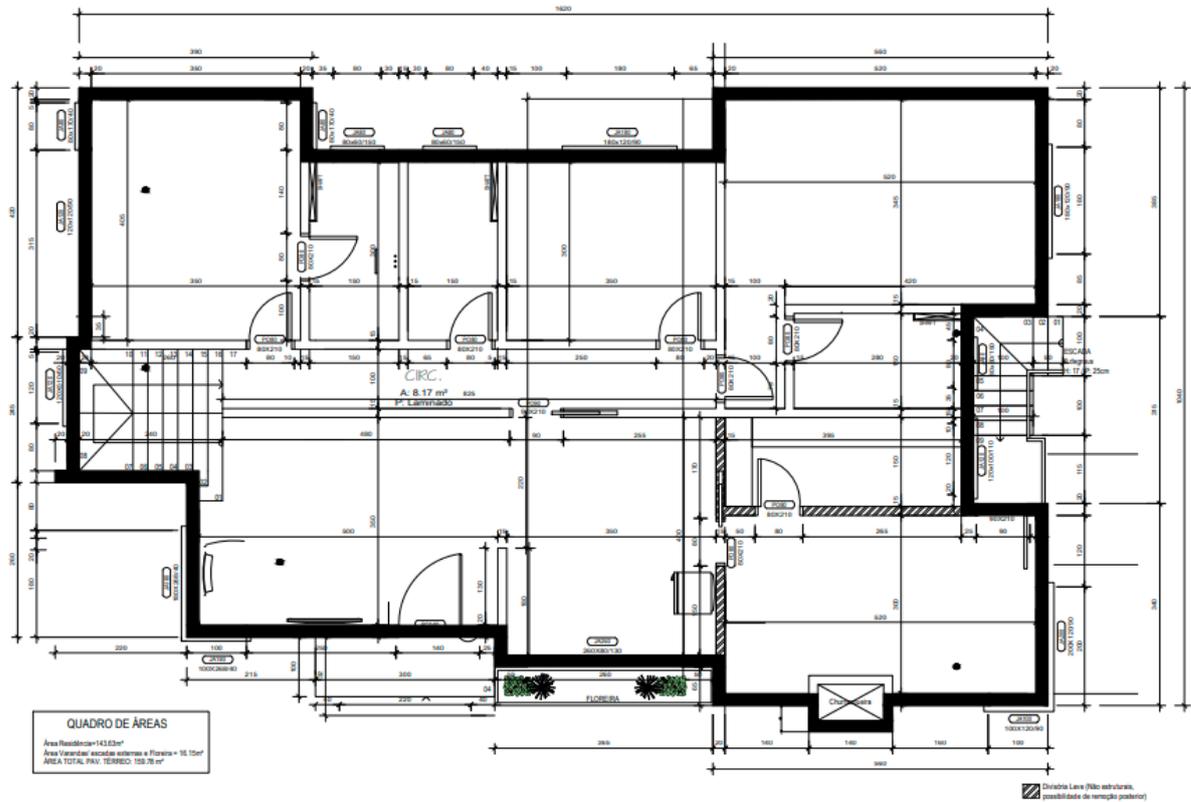


Fonte: O Autor (2021).

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O projeto escolhido para fins de análise, é uma residência unifamiliar de padrão normal composta por três dormitórios, localizada na cidade de Caxias do Sul, o projeto busca especificar o impacto ambiental para duas composições de revestimento externo, conforme Figura 6. O revestimento externo a ser analisado, será composto apenas pelas fases de estruturação e fechamento, sem quantificar questões de acabamento, como textura e pintura.

Figura 6 - Projeto Arquitetônico Residência



Fonte: O Autor (2021).

A habitação escolhida pra o estudo foi construída em LSF, conforme Figura 7, a mesma possui área construída do pavimento Térreo de 158m², o subsolo não foi quantificado, pois estava abaixo do nível do solo, sendo construído com paredes em cortina de concreto.

Figura 7 - Fotografia Habitação do Estudo em LSF



Fonte: O Autor (2021).

As paredes a serem analisadas serão somente as externas, visando que estas têm composição diferente das internas, contendo uma quantidade maior de materiais, a Tabela 1 traz a área das paredes a serem analisadas.

Tabela 1 - Área paredes externas

(Continua)		
ÁREA PAREDES EXTERNAS		
Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)
3,9	3	11,7
4,2	3	12,6
2,45	3	7,35
2,2	3	6,6
2,6	3	7,8
5,15	3	15,45
3,65	3	10,95
0,65	3	1,95
1,6	3	4,8
0,9	3	2,7
1,4	3	4,2

		(Conclusão)
2,6	3	7,8
3,4	3	10,2
3,15	3	9,45
3,85	3	11,55
2	3	6
5,2	3	15,6
2	3	6
6,7	3	20,1

Fonte: O Autor (2021).

3.2 SOFTWARE

O Software utilizado será o Open LCA 1.10.3, criado pela empresa GreenDelta GmbH, é uma ferramenta disponibilizada para cálculos de ACV, que se encontra dentro das exigências da ISO 14040 e 14044. Seu banco de dados é utilizado para preenchimento do inventário e obtido através do banco de dados do Open LCA Nexus.

O banco de dados escolhido foi o ELCD 3.2, que é um banco de dados europeu, disponível gratuitamente, que traz dados coletados de associações de empresas europeias e de outras fontes de dados referentes à produção de diversos materiais. O banco foi escolhido devido ao mesmo, ter na sua base de dados os itens referentes a ambas composições escolhidas.

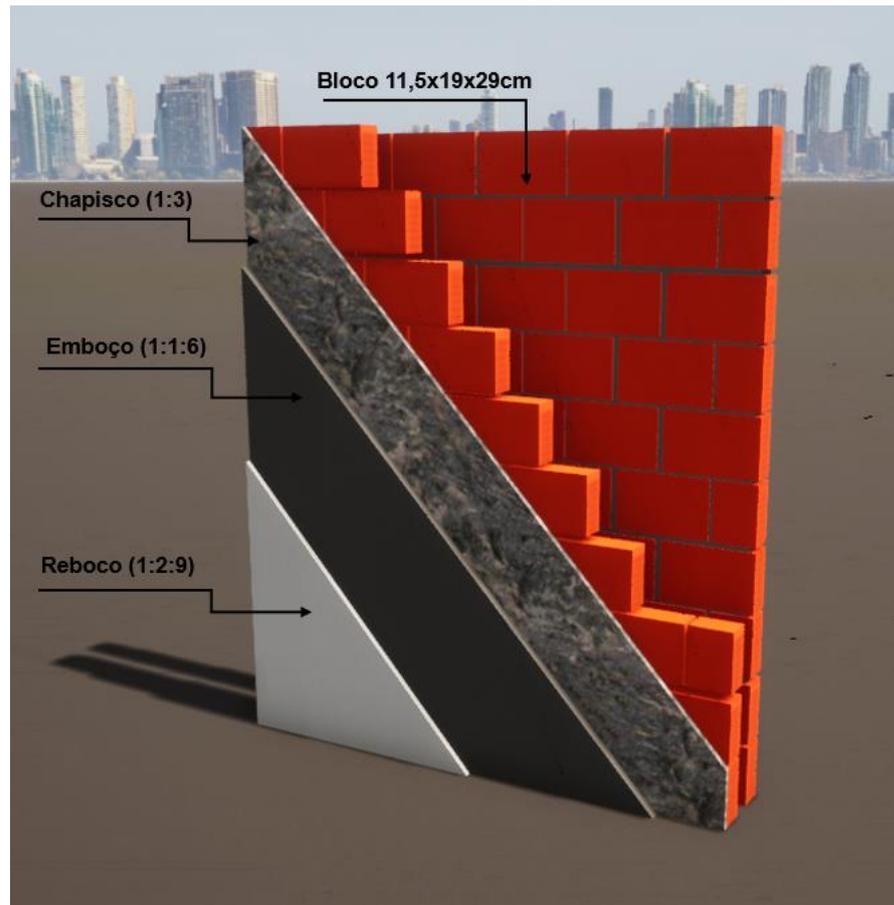
O software em si traz diversas possibilidades, podendo relacionar os modelos estudados de forma comparativa com modelos já existentes, ao mesmo tempo compartilhando os dados obtidos, abrindo muito o leque de conhecimento entre os usuários.

3.3 SIMULAÇÃO REVESTIMENTO EM ALVENARIA

A simulação da residência construída em alvenaria, é constituída por divisória composta de parede dupla de alvenaria, com blocos cerâmico de dimensões 11,5x19x29cm, com uma câmara de ar entre paredes visando melhor desempenho, térmico, acústico e também para fins de estanqueidade e impermeabilização da

edificação. O revestimento externo e interno é de mesmo acabamento, composto de chapisco de traço 1:3 (cimento e areia grossa) com espessura considerada de 6mm, posteriormente emboço com traço 1:1:6 (cimento, cal e areia média) com espessura média considerada de 18mm e por fim reboco com traço de 1:2:9 (cimento, cal e areia fina) com espessura média considerada de 15mm, representados na Figura 8.

Figura 8 - Componentes revestimento em alvenaria



Fonte: O Autor (2021).

Baseando-se na área obtida para as paredes externas (m^2), foram quantificados os materiais necessários para a composição. Os materiais serão quantificados, e posteriormente convertidos todos para unidade padrão de quilogramas (kg), que será a unidade de entrada no software.

Os blocos de dimensão 11,5 cm de largura, 19 cm de altura e 29 cm de comprimento, foram quantificados no valor de 16,7 unidades/ m^2 , porém como a parede terá elevação dupla de alvenaria, tendo uma redução na dimensão interna da parede nos vértices de encontro, foram considerados 32 unidades/ m^2 , conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade blocos

Material	Unidades de Blocos / m²	Área total paredes (m²)	Total (Unidades)
Bloco 11,5x19x29	32	172,8	5530

Fonte: O Autor (2021).

A quantidade de Argamassa para assentamento dos blocos foi considerada com rejunte de 1,5 cm, pela face a ser assentada, resultando em 0,00042 m³/ por bloco. Totalizando um total de 2,32 m³ de Argamassa, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade Argamassa assentamento

Volume argamassa / Bloco (m³)	Quantidade blocos (Unidades)	Volume total (m³)
0,00042	5530	2,322432

Fonte: O Autor (2021).

Com esse volume total estipulado foi calculado as quantidades para cada material conforme traço estipulado, as quantidades obtidas estão no Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidades Materiais Argamassa assentamento

Traço Argamassa adotado	01:01:06 (cimento, cal, areia media)		
Material	Volume por item (m³)	Peso especifico (Kg/m³)	Quantidade (Kg)
Cimento	0,290304	1200	348,3648
Cal	0,290304	1700	493,5168
Areia media	1,741824	1700	2961,1008

Fonte: O Autor (2021).

As quantidades dos materiais obtidas para o chapisco, emboço e reboco foram estipuladas conforme as especificações de traço e espessura, estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidade materiais chapisco, emboço e reboco

Traço Chapisco adotado	01:03 (cimento, areia grossa)	Volume total (m³)	2,0736
		obs.: espessura 0,6cm	
Material	Volume por item (m³)	Peso específico (Kg/m³)	Quantidade (Kg)
Cimento	0,6912	1200	829,44
Areia grossa	1,3824	1800	2488,32
Traço Emboço adotado	01:01:06 (cimento, cal, areia media)	Volume total (m³)	6,2208
		obs.: espessura 1,8cm	
Material	Volume por item (m³)	Peso específico (Kg/m³)	Quantidade (Kg)
Cimento	0,7776	1200	933,12
Cal	0,7776	1700	1321,92
Areia media	4,6656	1700	7931,52
Traço Reboco adotado	01:02:09 (cimento, cal, areia fina)	Volume total (m³)	5,184
		obs.: espessura 1,5cm	
Material	Volume por item (m³)	Peso específico (Kg/m³)	Quantidade (Kg)
Cimento	0,432	1200	518,4
Cal	0,864	1700	1468,8
Areia fina	3,888	1500	5832

Fonte: O Autor (2021).

A Tabela 6, traz todos materiais que contemplam a composição em alvenaria, com suas devidas unidades convertidas para kg, e o somatório dos materiais que são usados em mais de uma etapa, como areia média (assentamento blocos e reboco) e cimento (Assentamento blocos, chapisco, emboço e reboco).

Tabela 6 - Quantidade materiais totais alvenaria em Kg

Material	Quantidade do item (m³)	Peso específico (Kg/unidade)	Quantidade (Kg)
Blocos	5530	5,6	30968
Material	Volume por item (m³)	Peso específico (Kg/m³)	Quantidade (Kg)
Cimento	2,191104	1200	2629,32
Cal	1,931904	1700	3284,24
Areia fina	3,888	1500	5832,00
Areia média	6,407424	1700	10892,62
Areia grossa	1,3824	1800	2488,32

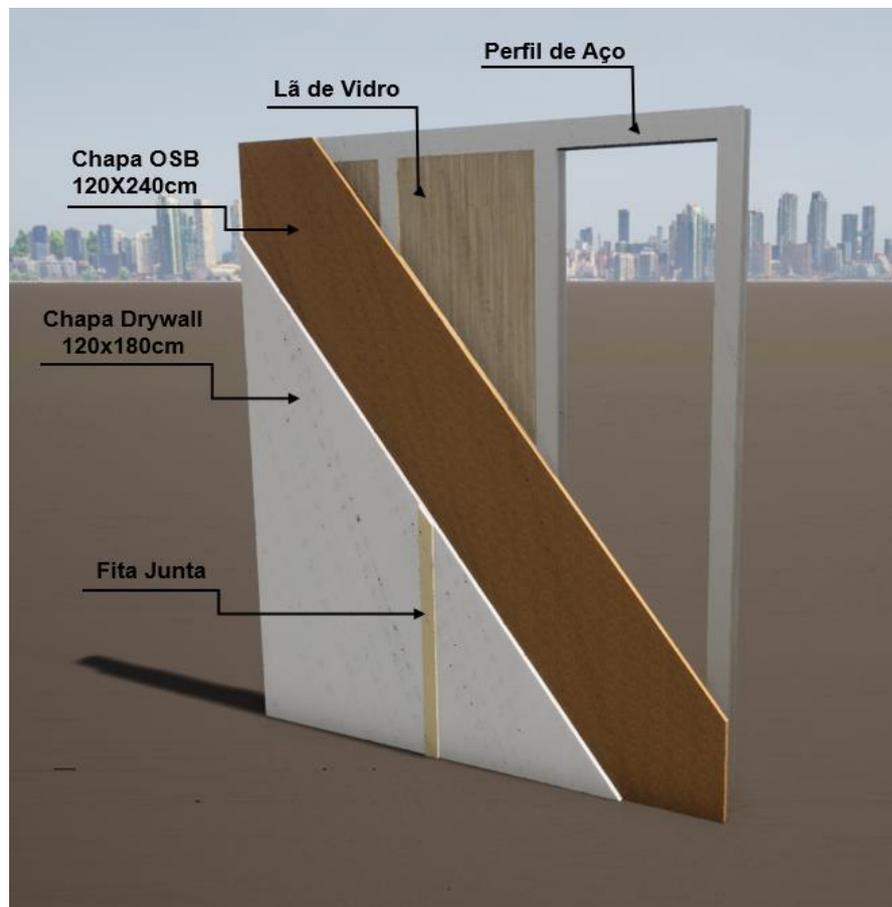
Fonte: O Autor (2021).

Totalizando assim uma parede de 31 cm de espessura, resultando numa área livre de 141m².

3.4 SIMULAÇÃO REVESTIMENTO EXTERNO LIGHT STEEL FRAME

A simulação da residência construída em LSF, é constituída por divisória em aço, com revestimento interno em chapa de OSB (120x240cm) com espessura 9,5mm e chapa de gesso de Drywall (120x180cm) com espessura de 12,5mm, o perfil em aço é preenchido em seu interior por lã de vidro, conforme descrito na Figura 9.

Figura 9 - Componentes revestimento interno LSF

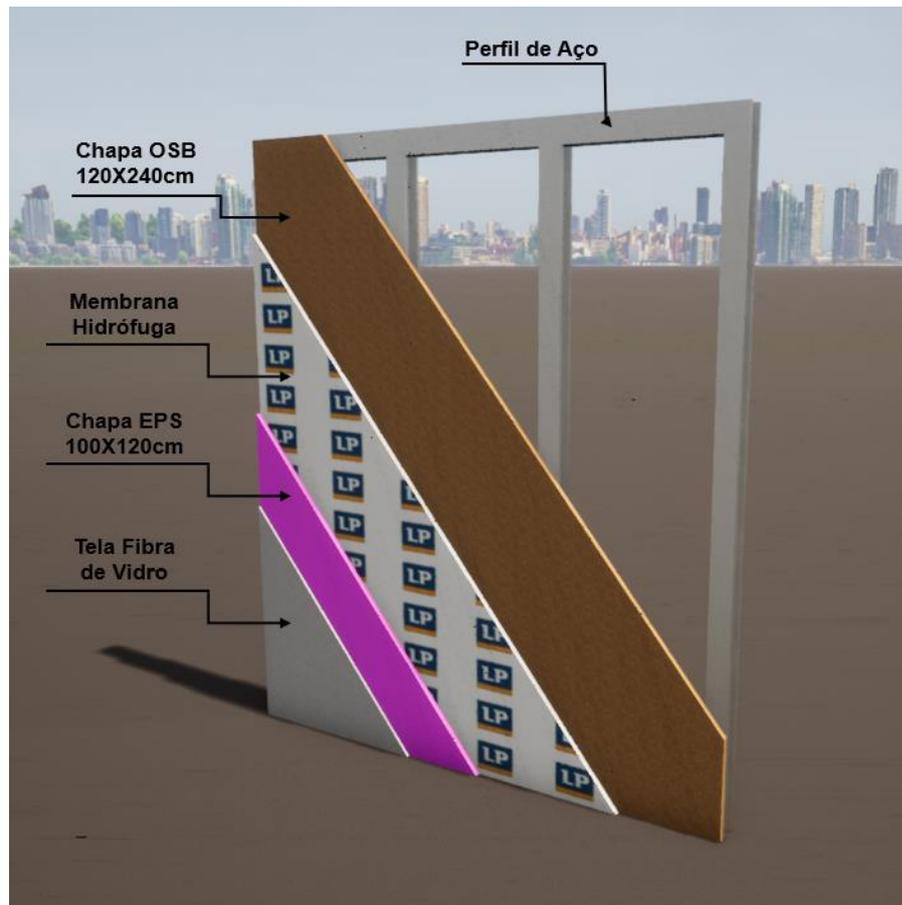


Fonte: O Autor (2021).

Enquanto sua parte externa que estará em contato com o ambiente, é revestida por Chapa OSB (120x240cm), Membrana Hidrófuga adquirida em rolos de 100cmx50m, com fins de impermeabilização e estanqueidade da residência, Chapa

de EPS (100x120cm) com 2,5mm de espessura, tela para aderência do revestimento em rolos de 100cmx50m e por fim Tela de Fibra de Vidro para tratamento das emendas, representados na Figura 10.

Figura 10 - Componentes revestimento externo LSF



Fonte: O Autor (2021).

Para obtenção dos materiais com suas respectivas quantidades, foram contabilizadas cada componente com sua devida aplicação, e por fim contabilizado as quantidades obtidas para a unidade de entrada do *software*, em Kg, conforme Tabela 7.

Para Drywall foi considerado o peso específico de uma chapa, e considerado sua aplicação apenas no revestimento interno. Os montantes de aço têm função de estruturar os revestimentos tanto internos como externos, com seu peso específico de 1,31 Kg/m foi considerado pela área total de paredes.

As chapas OSB diferente das demais chapas, tem sua função aplicada em

ambos lados, tanto no revestimento interno quanto externo, por isso foi considerada pelo seu peso específico multiplicado por 345,6 m². A lâ de vidro foi considerada na espessura de 75mm, pela área total de 172,8 m², contabilizando um volume de 13 m³ multiplicados pelo seu peso específico. O EPS e Membrana Hidrófuga, possuem seus pesos específicos na unidade de m², e foram considerados apenas para o revestimento externo.

Por fim a tela de fibra de vibro tem sua aplicação após a chapa EPS, e sua totalidade é representada pela área externa multiplicada pelo seu peso específico. Por fim a Fita Junta foi considerada 2,8 metros lineares de fita para cada m², totalizando 485 metros lineares para todas paredes.

Tabela 7 - Quantidades materiais totais LSF em Kg

Material	Peso específico	Unidade Referência	Peso total (Kg)
Drywall	10 Kg / m ²	172,8 m ²	1728
Montantes de aço	1,31 Kg / m	662,4 m	867,7
Tela fibra vidro	160 g / m ²	172,8 m ²	27,6
Chapa OSB	6,08 Kg / m ²	345,6 m ²	2101,2
Lã de vidro	32 Kg / m ³	13,0 m ³	416
EPS	6,08 Kg / m ²	172,8 m ²	1050
Membrana Hidrófuga	0,13 Kg / m ²	172,8 m ²	22,5
Tela fibra vidro	0,16kg / m ²	172,8 m ²	27,648
Fita Junta	0,007 Kg / m	485 m	3,4

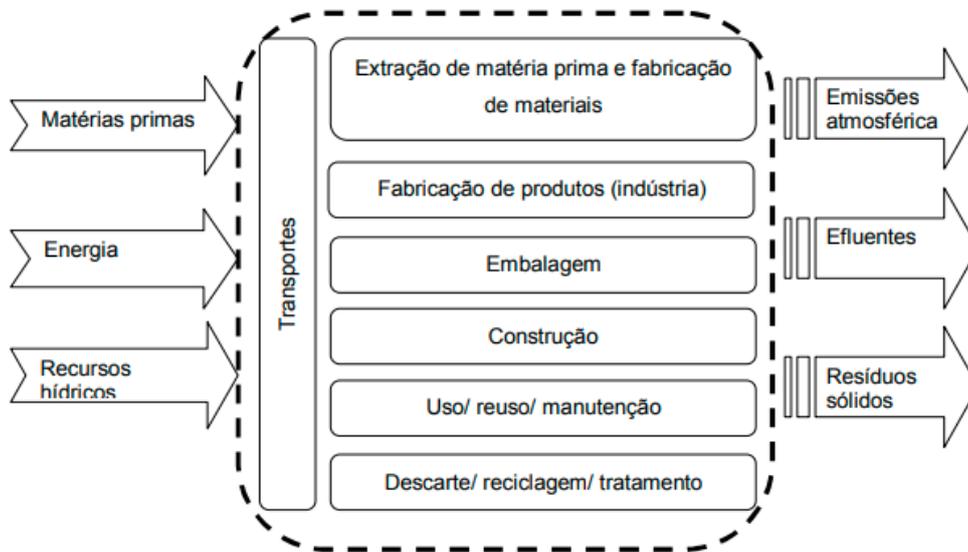
Fonte: O Autor (2021).

Totalizando assim uma parede de 16 cm de espessura, resultando numa área livre de 148m².

3.5 PROCESSOS RELACIONADO AOS MATERIAIS

Os processos relacionados para cada material de ambas composições serão modelados conforme suas entradas e saídas, serão relacionados desde suas extrações, avaliando processos no decorrer da sua vida útil, até o descarte final, a Figura 11 representa como será a avaliação de cada material.

Figura 11 - Etapas consideradas na avaliação dos impactos

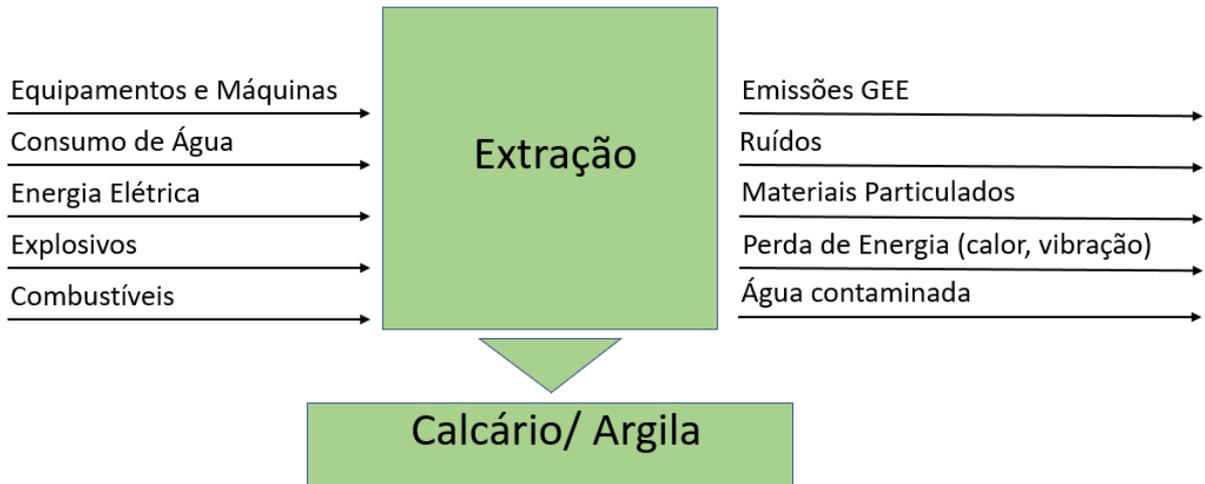


Fonte: adaptado de LOBO (2010).

3.5.1. Processos na produção dos Blocos Cerâmicos (Alvenaria)

O processo de fabricação de blocos cerâmicos inicia pela extração da matéria-prima, no caso a argila. A extração é feita de forma mecânica, através do uso de retroescavadeiras, tratores, carregadeiras e caminhões nas jazidas. O combustível consumido neste é o diesel, que no seu processo de compressão do motor libera a emissão de gases do efeito estufa (GEE), conforme Figura 12.

Figura 12 - Extração Argila

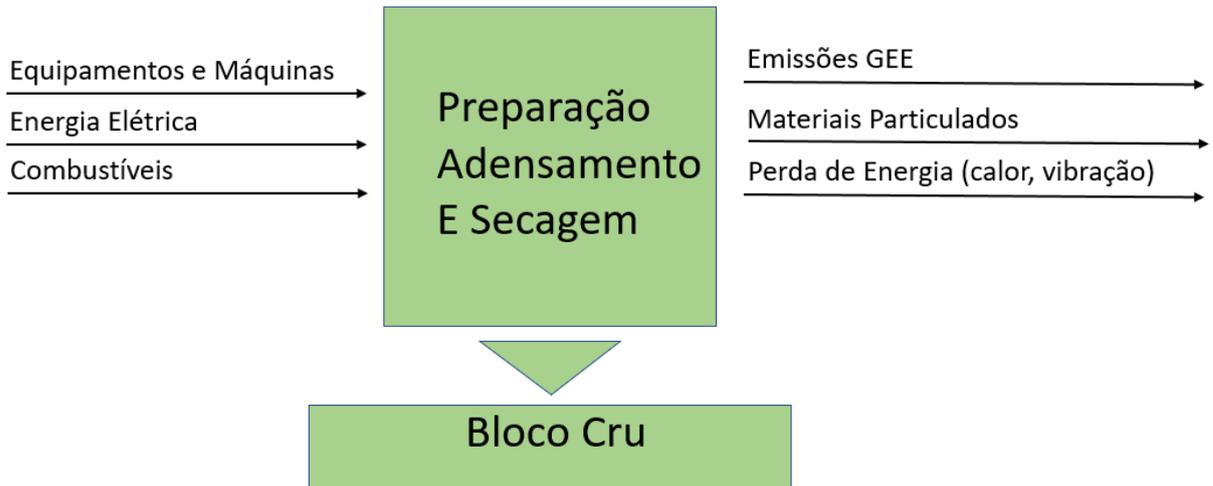


Fonte: O autor, (2021).

Após a extração, o processo de fabricação da continuidade com a fabricação da massa da argila, posteriormente essa massa é utilizada dentro de formas, que delimitam o tamanho exato dos blocos, a massa preenche os vazios e aguarda seu tempo de secagem, que antecede o processo de queima. Onde visa o enrijecimento desta massa, ganhando dimensão e resistência para o consumo específico.

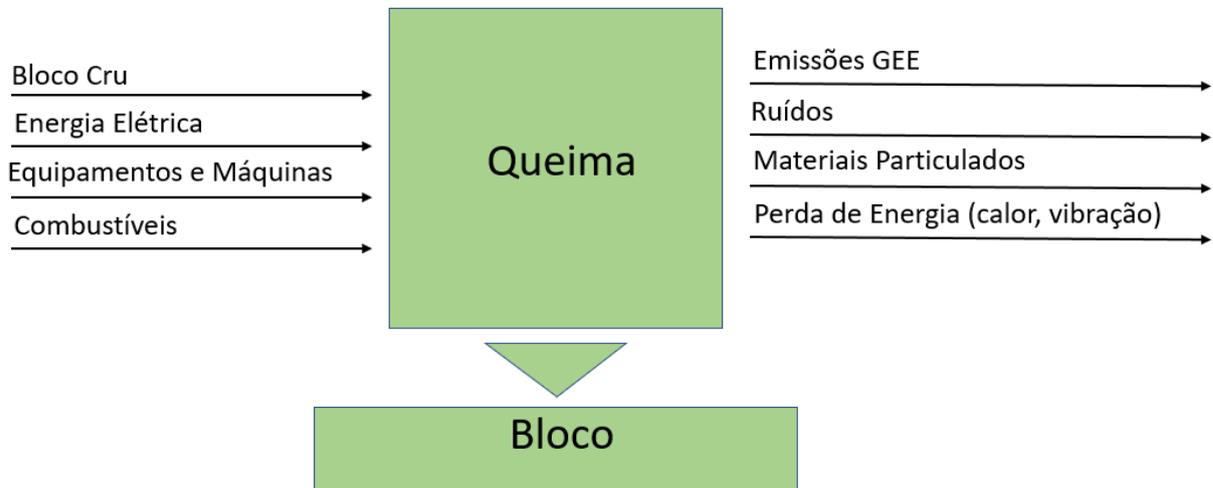
Para o aquecimento da massa, são utilizadas diversas formas de gerar o calor, entre as principais caldeiras, abastecidas a lenha, gás, óleo, entre outros. Os resíduos gerados nesta etapa são, perdas de materiais, emissões GEE, consumo de energia elétrica, cinzas produzidas pela queima, conforme Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Fabricação Bloco



Fonte: O autor, (2021).

Figura 14 - Queima do Bloco



Fonte: O autor, (2021).

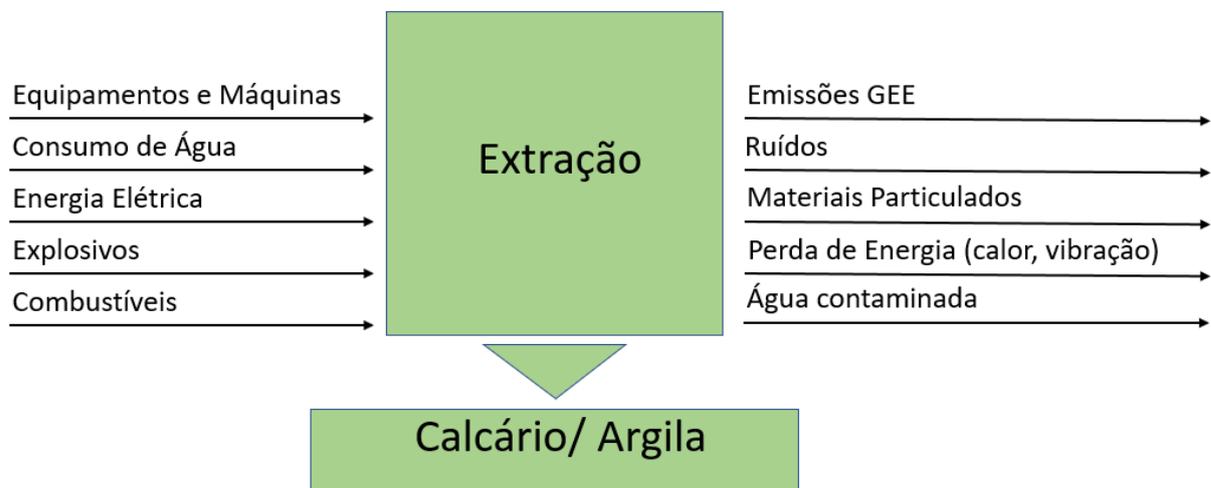
3.5.2. Processos na produção da Argamassa (Alvenaria)

A Argamassa será utilizada para assentamento dos blocos, e posteriormente emboço e reboco das faces internas e externas da composição. Sua composição será de quatro materiais, entre estes, cimento, areia, cal e água.

3.5.2.1. Processos na produção do Cimento (Alvenaria)

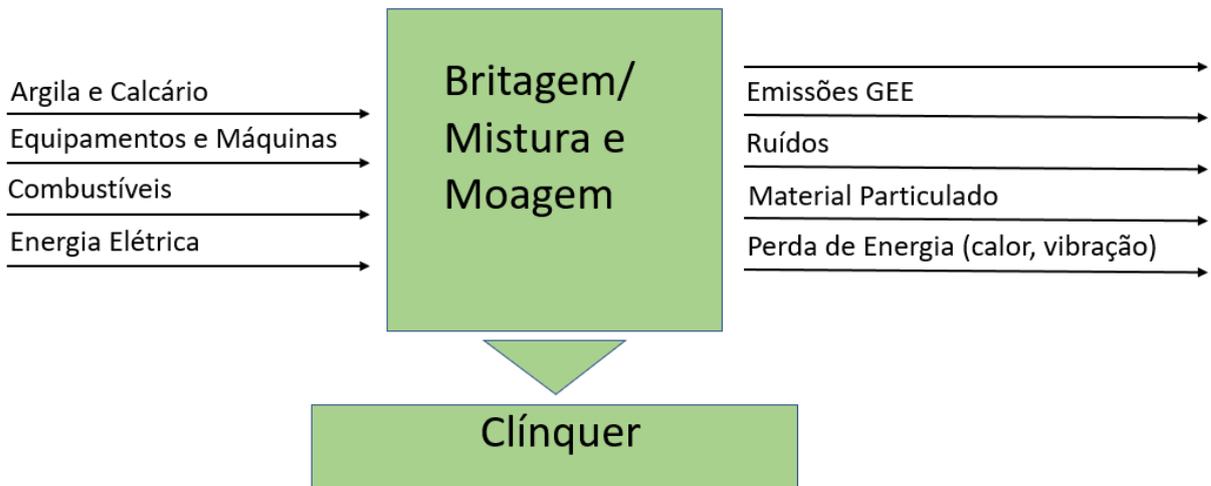
Os processos que constituem o cimento têm origem na extração do calcário e da argila, conforme Figura 15. Após a extração a matéria prima passa pelos processos de britagem, mistura e moagem, que por fim geram o Clínquer conforme Figura 16. Após isso é feita a queima, onde o material passa a ficar na composição do seu estado final, conforme Figura 17, assim é ensacado e disponibilizado para comércio.

Figura 15 - Extração da argila e do calcário



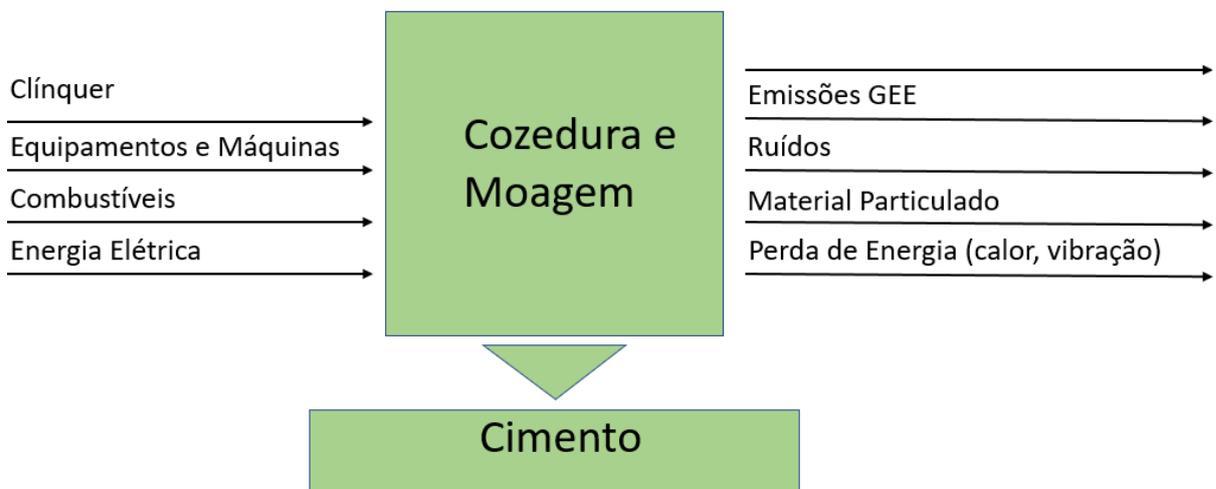
Fonte: O autor, (2021).

Figura 16 - Produção do clínquer



Fonte: O autor, (2021).

Figura 17 - Produção do Cimento



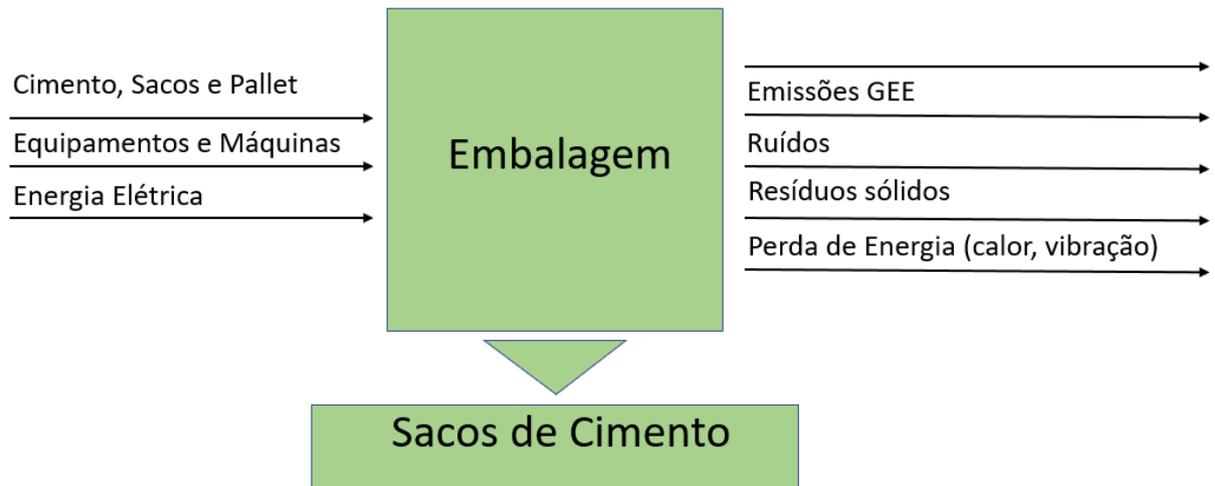
Fonte: O autor, (2021).

Após a conclusão do seu processo de fabricação, a análise parte para sua forma de comercialização, onde no estudo foi envolvido desde sua forma de embalagem em sacos, onde os mesmos são dispostos em pallets para transporte e seus sacos envelopados em cima dos pallets para enrijecimento e manuseio nos locais de comércio, conforme Figura 18.

O meio de transporte considerado para análise foi o meio rodoviário, que é o principal meio de transporte para a comercialização do cimento. O mesmo foi

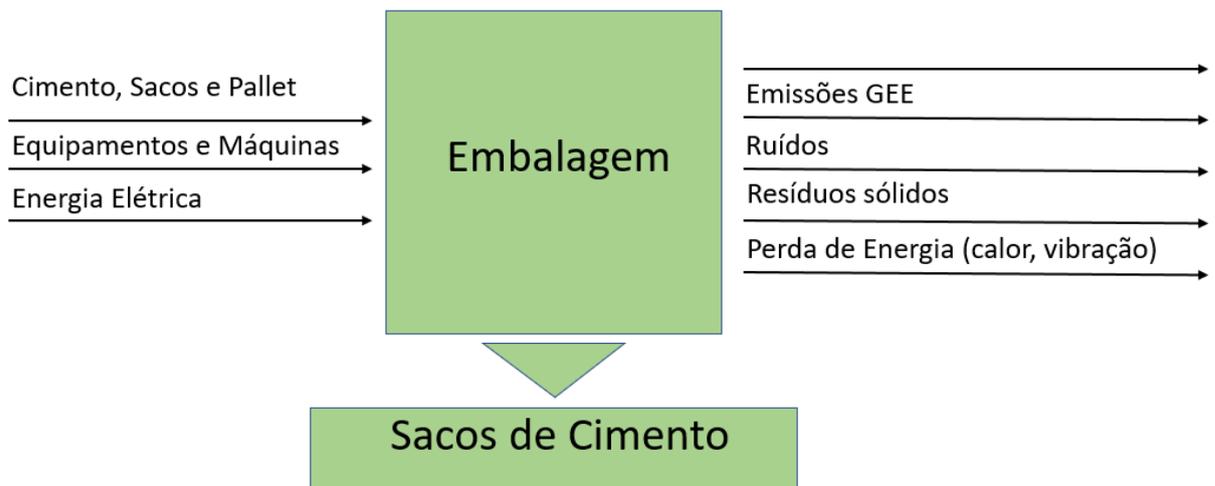
quantificado através do grande número de emissões de gases GEE, devido ao consumo do diesel dos caminhões, descritos na Figura 19.

Figura 18 - Embalagem do Cimento



Fonte: O autor, (2021).

Figura 19 - Comercialização do Cimento



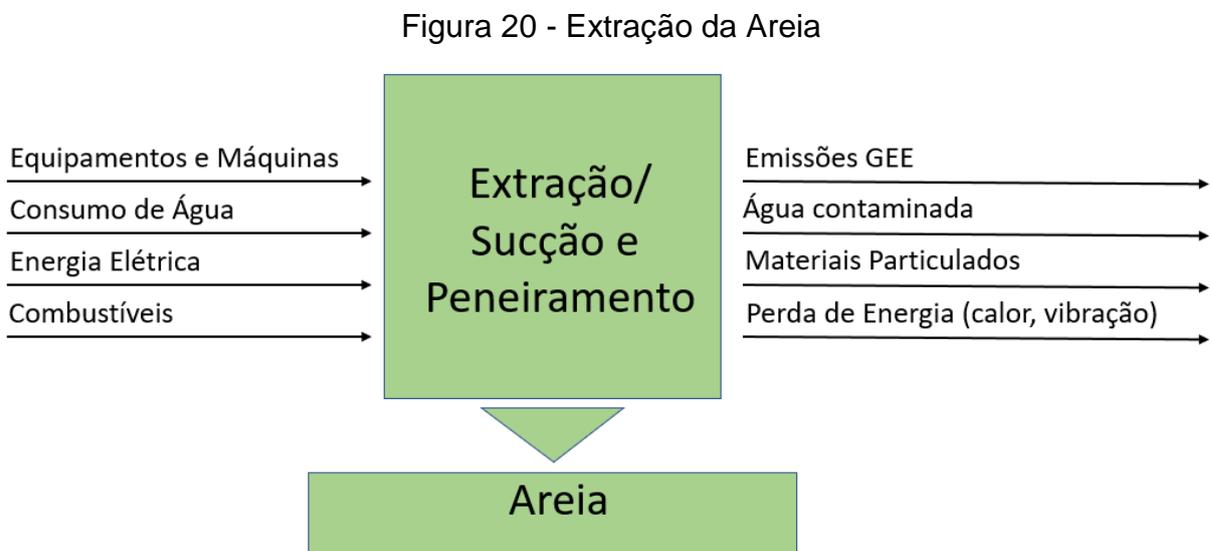
Fonte: O autor, (2021).

Nota-se a grande quantidade de processos para a fabricação do cimento, tendo várias etapas e diferentes tipos de saídas, partindo da extração das suas matérias-primas que são fontes não renováveis, consequentemente causando grandes agressões ao meio ambiente.

Visando mitigar este problema, grandes empresas da indústria cimenteira buscam recuperar florestas antes devastadas por minas de extração, fazer o monitoramento da fauna terrestre, criar programas de cooperação para desenvolver, implementar e difundir boas práticas de mineração em áreas de cavernas e no entorno das Unidades de Conservação e Preservação da Biodiversidade (ABCP, 2012).

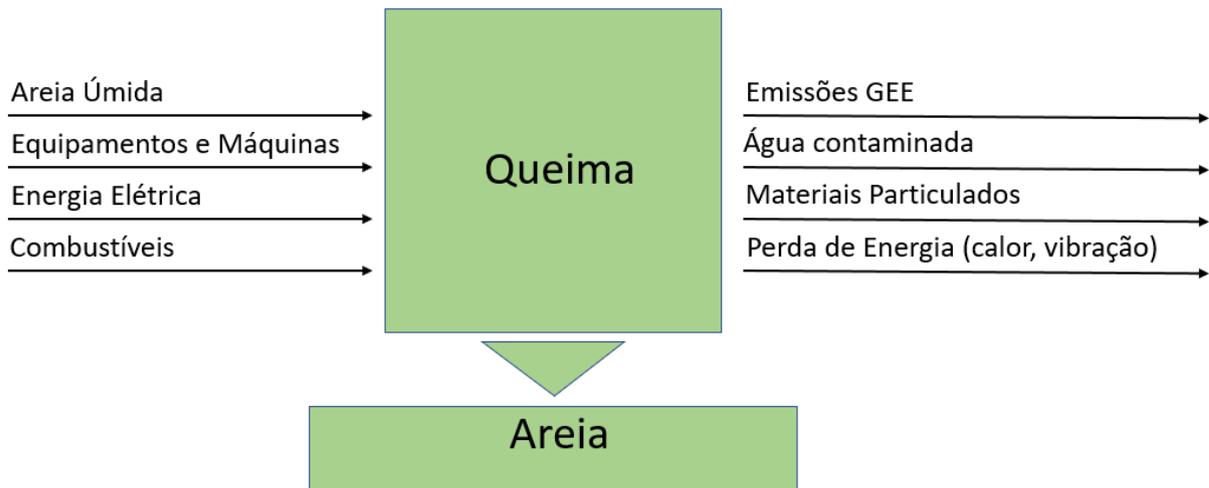
3.5.1.1. Processos na produção da Areia (Alvenaria)

O processo de extração da areia por sua maioria é feito por processo de bombeamento de rios, pela forma de sucção e peneira fixa para classificação, conforme Figura 20. As areias após extração passam pelo processo de beneficiamento, remoção de impurezas, classificação granulométrica e secagem, conforme Figura 21.



Fonte: O autor, (2021).

Figura 21 - Beneficiamento da Areia



Fonte: O autor, (2021).

O beneficiamento deve garantir que aproximadamente 95% da massa do produto final encontre-se na faixa granulométrica cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,075mm. Em beneficiamentos mais simples, o ROM (*Run off mine*) passa por uma peneira estática de 1 deck que para reter partículas de granulometria acima de 4,8 mm. O material retido na peneira, composto predominantemente por cascalho e matéria orgânica, é encaminhado para pilhas de estocagem de cascalho e rejeito. Enquanto o material passante do peneiramento segue para pilha desaguadora (ALMEIDA; LUZ, 2012).

O processo em si não é relativamente complexo, costuma-se optar por extrações próximas ao local de utilização e comércio, visando a redução de emissões de GEE.

3.5.1.2. Processos na produção da Cal (Alvenaria)

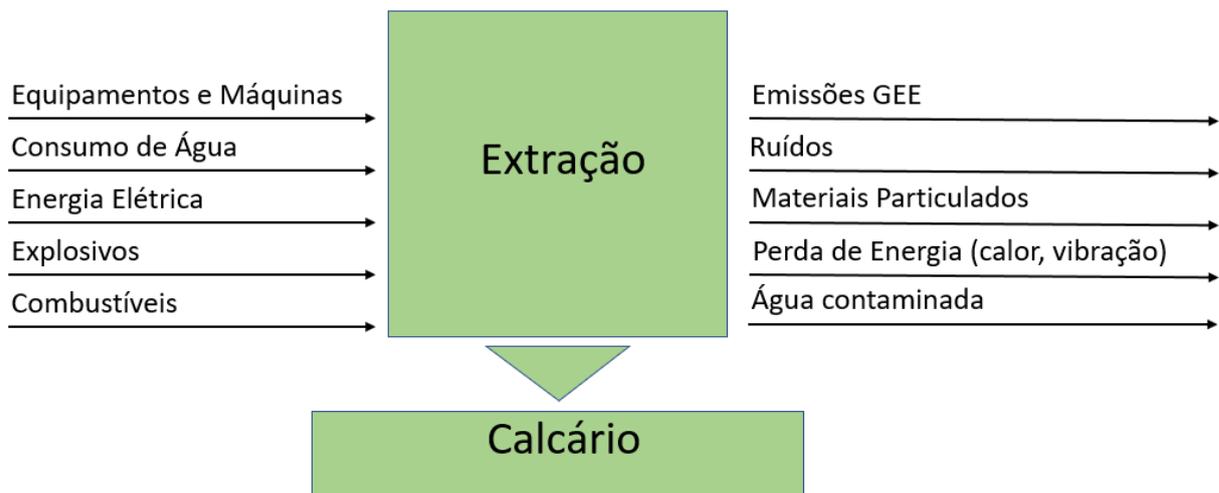
A cal tem como processo de extração grande semelhanças com a extração da areia, conforme Figura 22. Em seu processo de beneficiamento a cal é separada por especificações de granulometria, em seguida para o processo de moagem e hidratação.

Em seu processo calcificação ela é submetida a aquecimento em fornos, onde ocorre a queima de biomassa, onde através de reações químicas geram a cal virgem.

Em seguida ela é submetida ao processo de moagem, onde é feita a separação de malhas e posteriormente hidratação. Com a conclusão deste processo a Cal está liberada para ensacamento e comércio, conforme Figura 23.

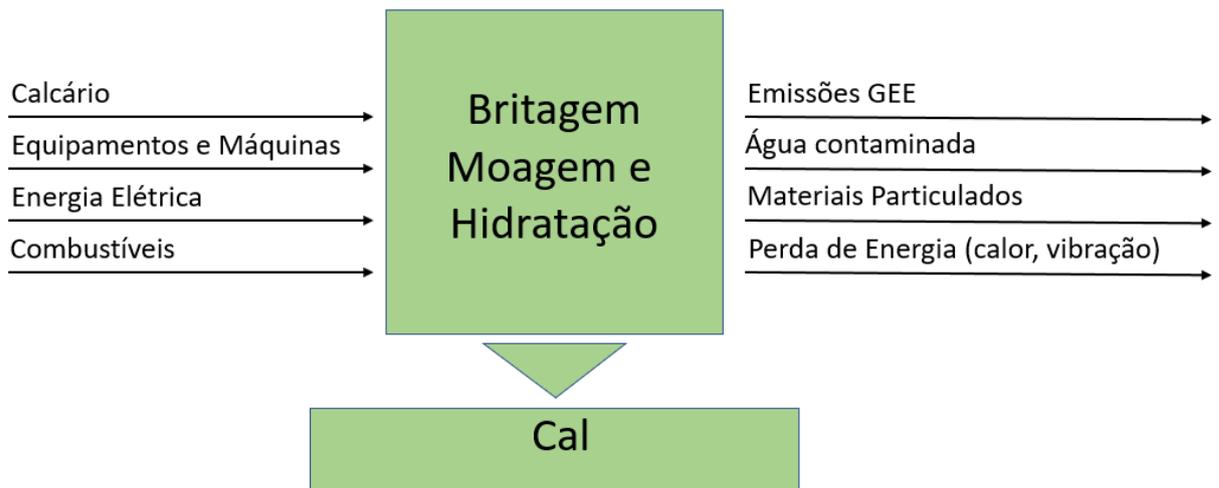
A cal hidratada é embalada em recipientes plásticos ou em sacos de papel “kraft”, numa granulometria 85% abaixo de 0,074 mm. Este material tem as vantagens de ter dispersão geográfica de suas unidades de fabricação em todas as regiões do Brasil, com abundância de oferta e de ser de baixo custo (MME, 2009).

Figura 22 - Extração do Calcário



Fonte: O autor, (2021).

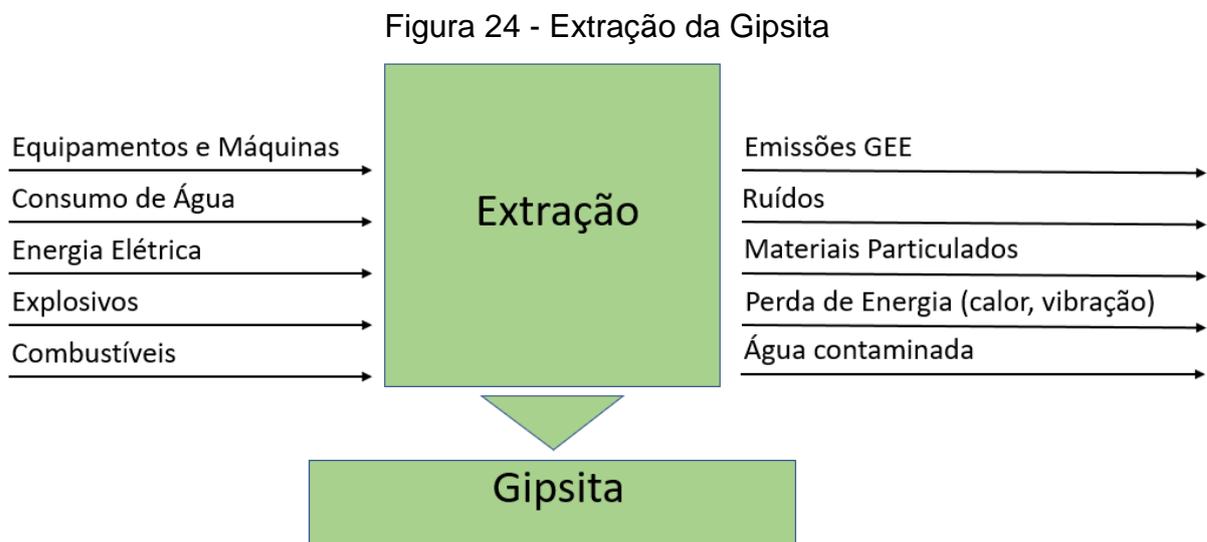
Figura 23 - Beneficiamento da Cal



Fonte: O autor, (2021).

3.5.1. Processos na produção do Drywall (LSF)

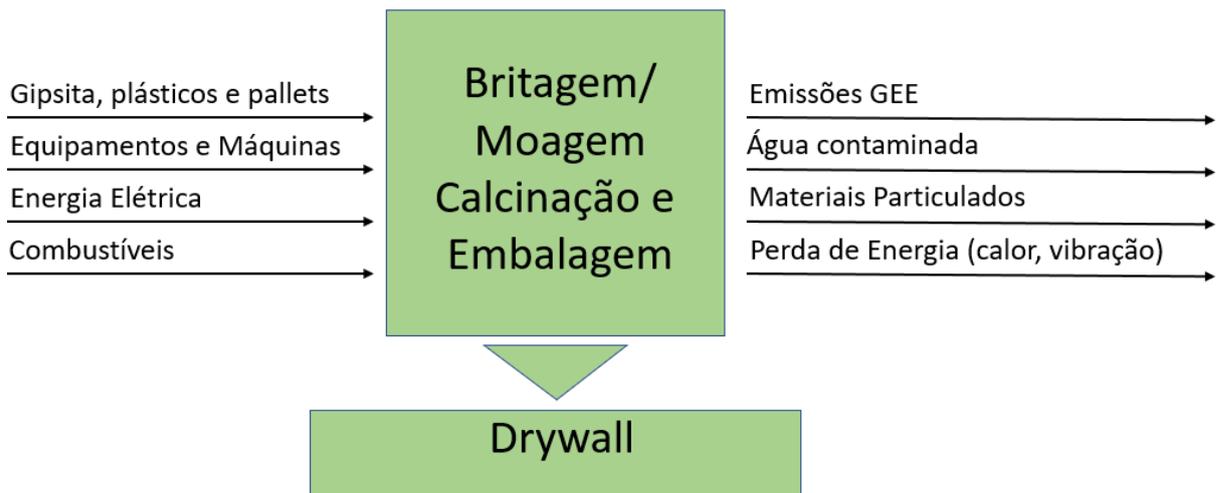
O processo de fabricação das chapas de Drywall tem início na extração da Gipsita, para extração são utilizadas maquinário como retroescavadeiras, carregadeiras, tratores e caminhões. Uma etapa impactante desse processo é que para desagregação do material é necessário o uso de explosivos para as jazidas, conforme Figura 24.



Fonte: O autor, (2021).

O próximo processo é o de beneficiamento da Gipsita, onde passa pelos processos de britagem, moagem, calcinação e por fim gerando o Drywall. Estas etapas são grandes emissores de GEE, além do elevado consumo de energia, a Figura 25 ilustra esse ciclo.

Figura 25 - Beneficiamento do Gesso

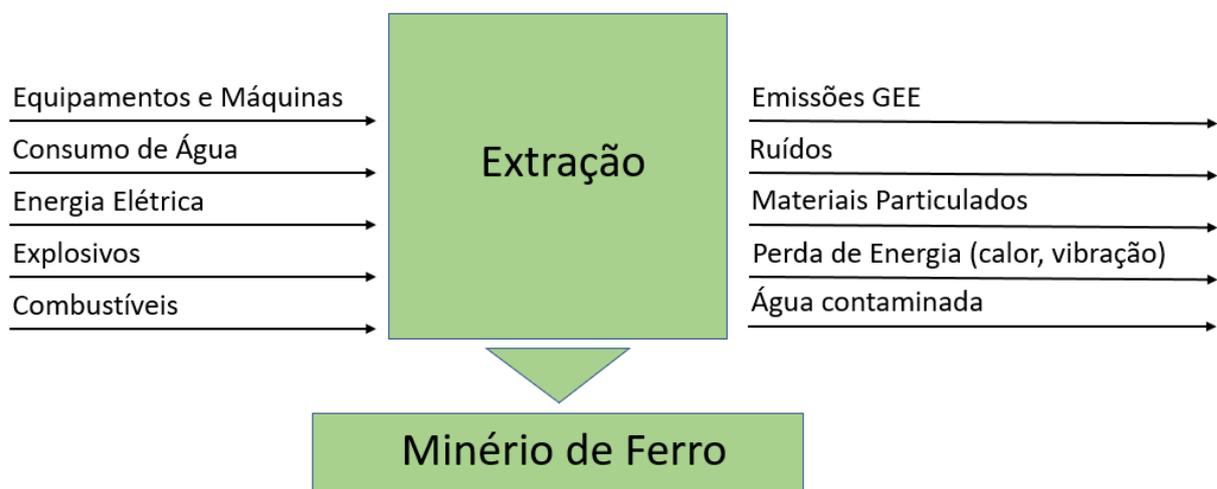


Fonte: O autor, (2021).

3.5.2. Processos na produção dos Perfis de Aço (LSF)

O processo de extração do aço tem início na extração do minério de ferro, é um produto que tem total capacidade siderúrgica nacional para produção, a Figura 26 descreve esse processo inicial.

Figura 26 - Extração minério de ferro

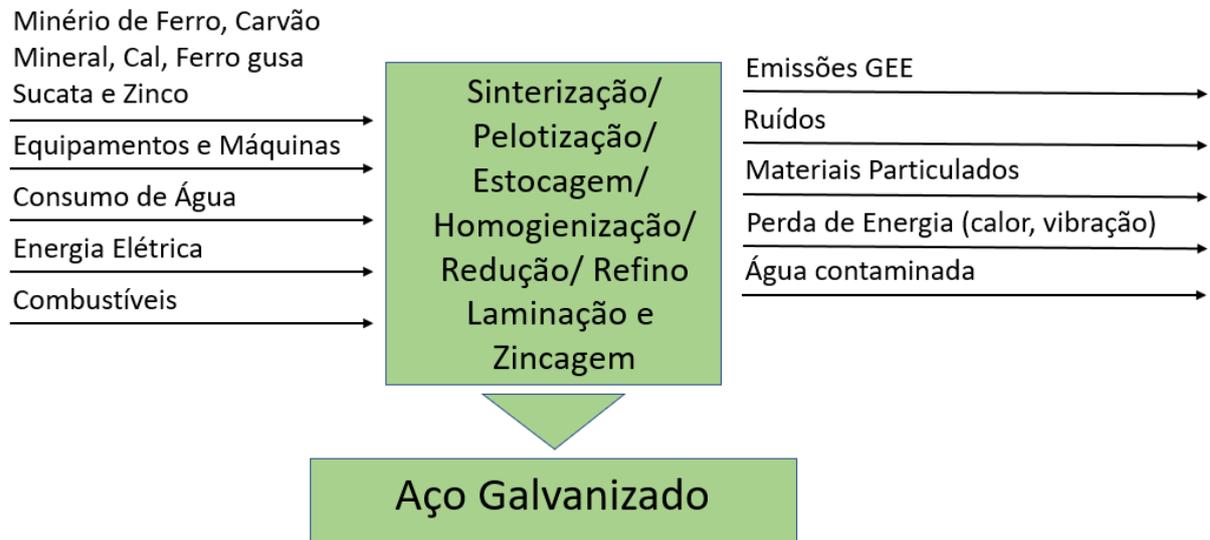


Fonte: O autor, (2021).

Após extração do minério, até a obtenção do aço galvanizado, ocorrem

diversos processos. Estes são de grande complexidade e que acabam sendo grandes gerados de impactos ambientais, conforme podemos ver na Figura 27.

Figura 27 - Beneficiamento do aço



Fonte: O autor, (2021).

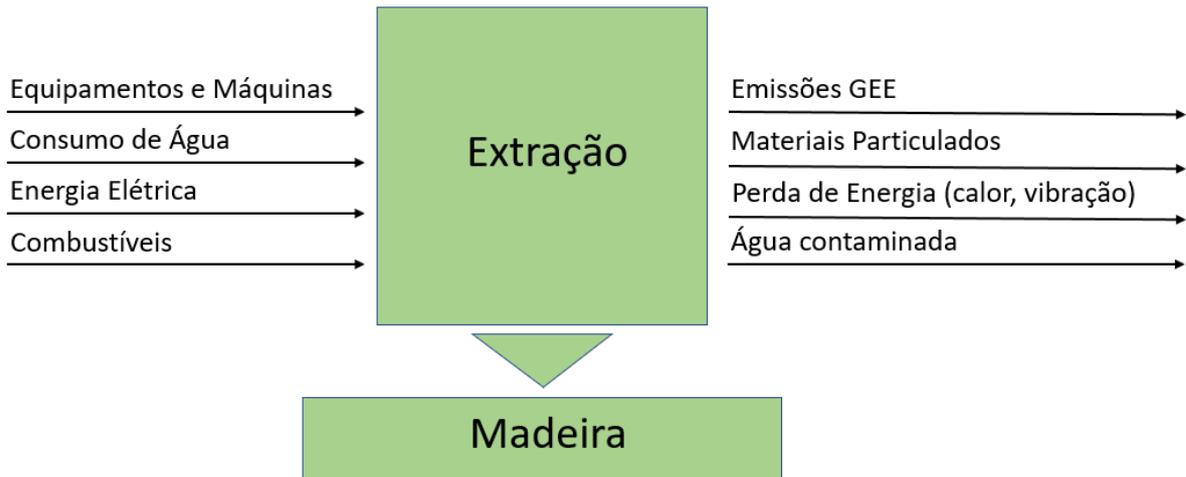
Após esse ciclo de etapas se obtém o aço galvanizado, por ter tantas etapas a fabricação do aço nos gera grandes impactos.

Segundo Camillo (2016), o processo de fabricação do aço caracteriza-se em geral, pelo elevado consumo de insumos naturais, energia elétrica e térmica, água e também pela grande quantidade de emissões particulados, lamas, escórias e gases do efeito estufa.

3.5.3. Processos na produção das chapas OSB (LSF)

O processo de fabricação das chapas OSB inicia pela extração da madeira, onde gera danos florestais e modificações no solo, conforme Figura 28.

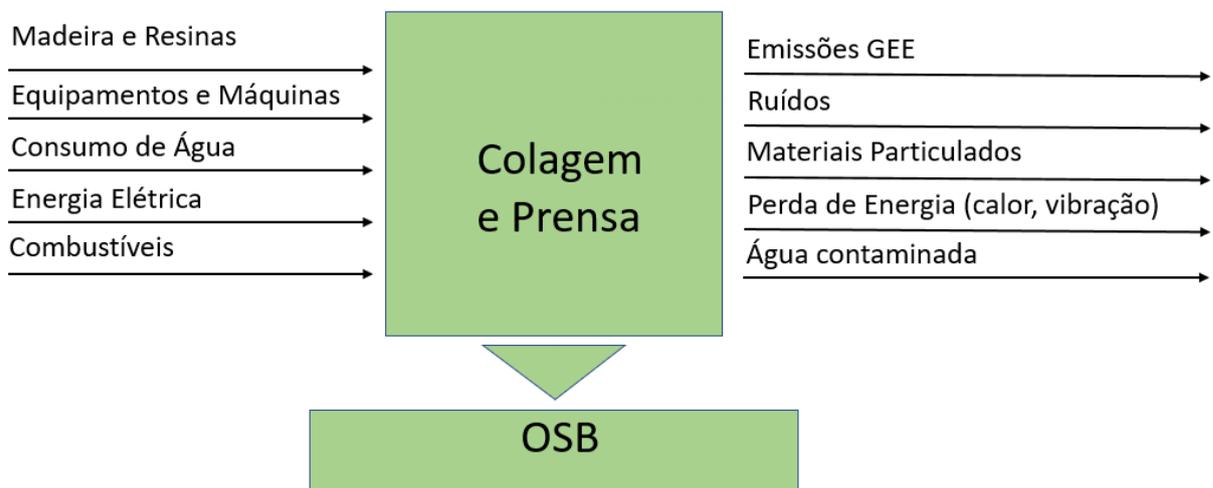
Figura 28 - Extração madeira



Fonte: O autor, (2021).

Após extração, a madeira passa pelos processos de desdobro e secagem. Em seguida é feita a colagem com resina, passando pelo processo de prensa para gerar o formato de chapa, conforme Figura 29. Nestes procedimentos temos como principais impactos, o consumo de energia, resíduos de madeira e resíduos de resina.

Figura 29 - Beneficiamento OSB



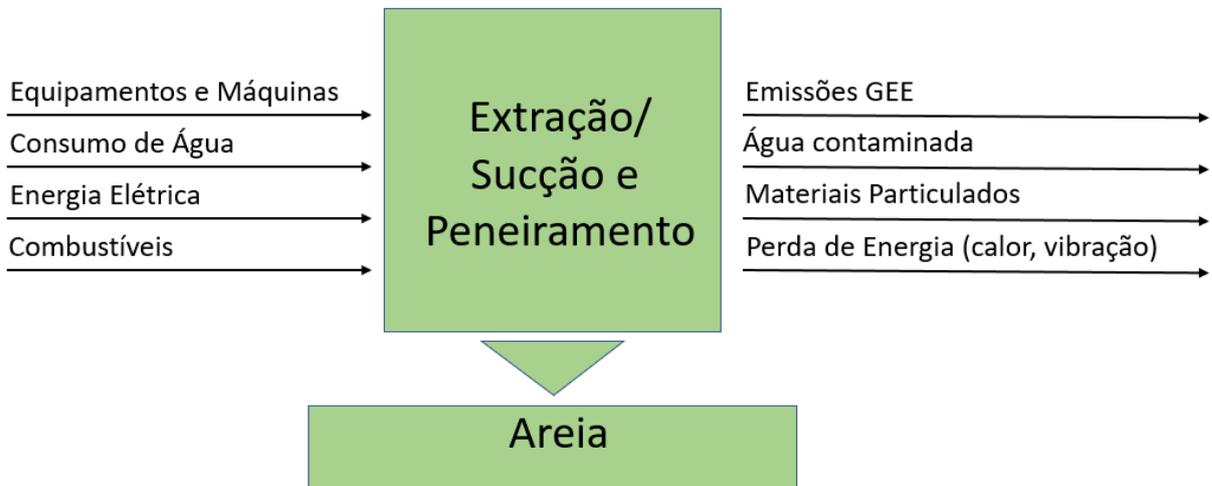
Fonte: O autor, (2021).

3.5.4. Processos na produção da Lã de Vidro (LSF)

A lã de vidro tem como materiais de sua composição areia e aditivos, sua produção tem início através da extração da areia, conforme Figura 30, após é feito o

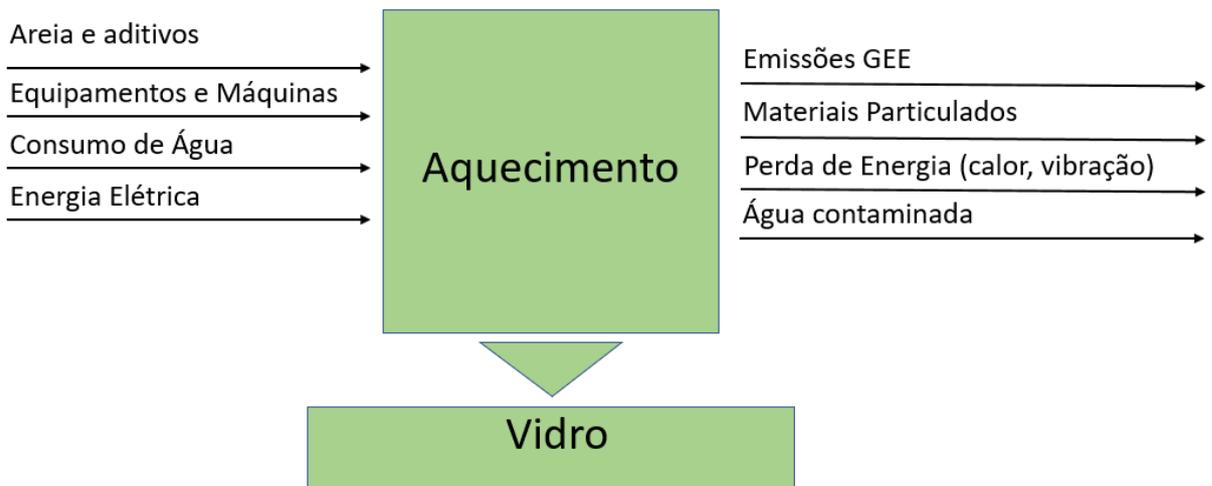
aquecimento de areia e aditivos, conforme Figura 31, onde é obtido o vidro através de um processo de rotação em alta velocidade, conforme Figura 32.

Figura 30 - Extração da Areia



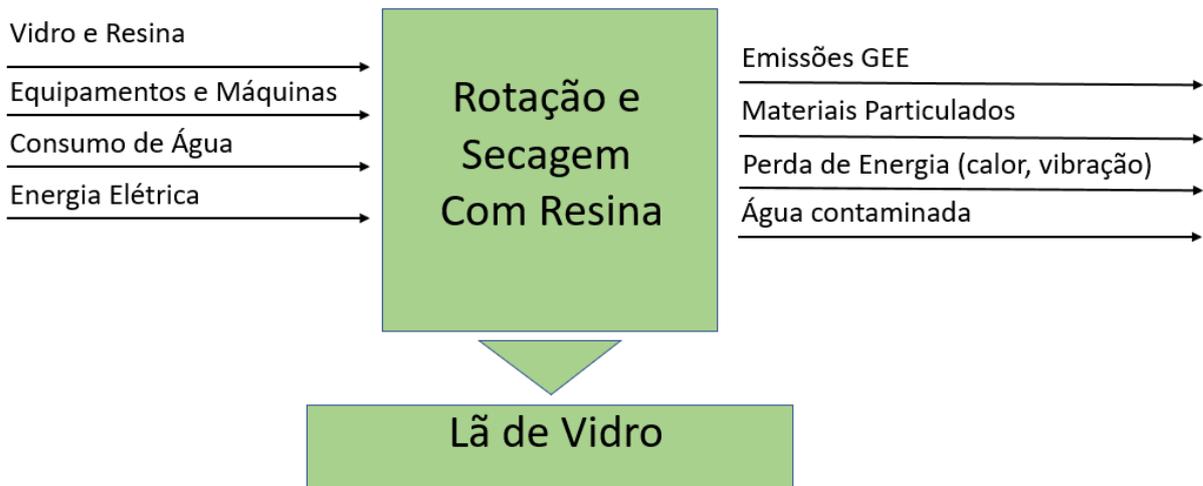
Fonte: O autor, (2021).

Figura 31 - Fabricação vidro



Fonte: O autor, (2021).

Figura 32- Fabricação lã de vidro



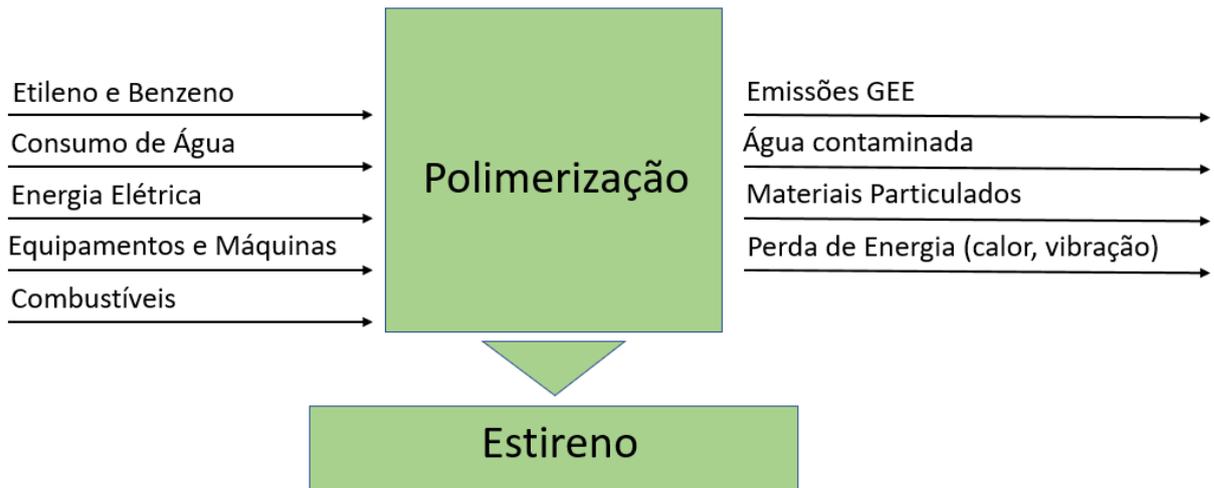
Fonte: O autor, (2021).

Neste processo final para obtenção da Lã de Vidro, tem se como principais impactos o elevado consumo de energia elétrica, e consumo de combustíveis que geram emissões de GEE.

3.5.5. Processos na produção da chapa de EPS – Poliuretano expandido (LSF)

A produção da chapa de poliuretano expandido (EPS) tem como principal função uma forma de isolamento acústico da composição. Seu processo de fabricação tem início no Etileno e Benzeno que são derivados do petróleo. Ambos são combinados e aquecidos a vapor dando origem ao Estireno, conforme Figura 33.

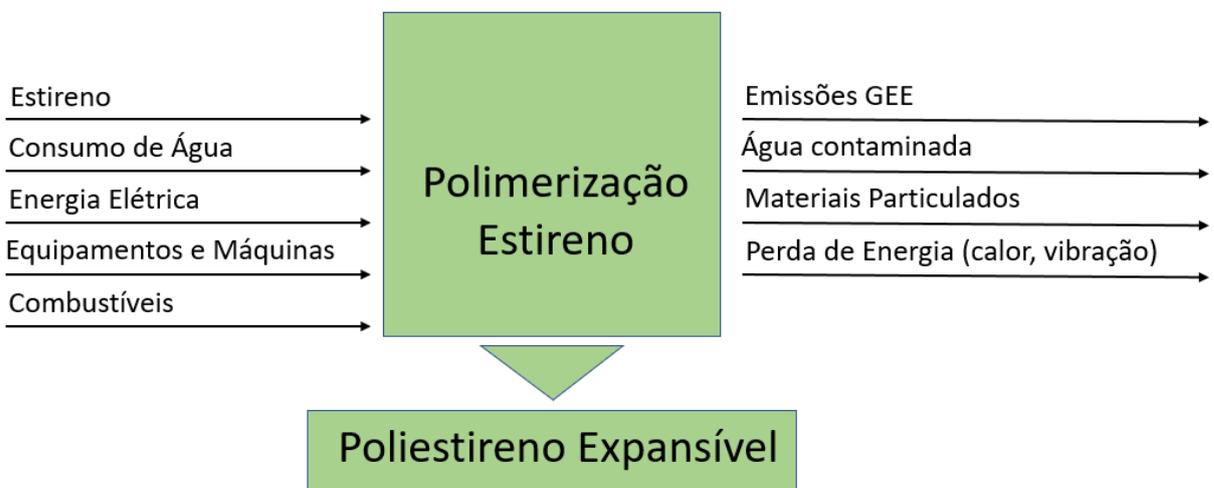
Figura 33 - Fabricação Estireno



Fonte: O autor, (2021).

Após estireno passa por uma destilação a vácuo e polimerização para obter-se o Poliestireno expansível, conforme Figura 34.

Figura 34 - Fabricação Poliestireno Expansível (EPS)



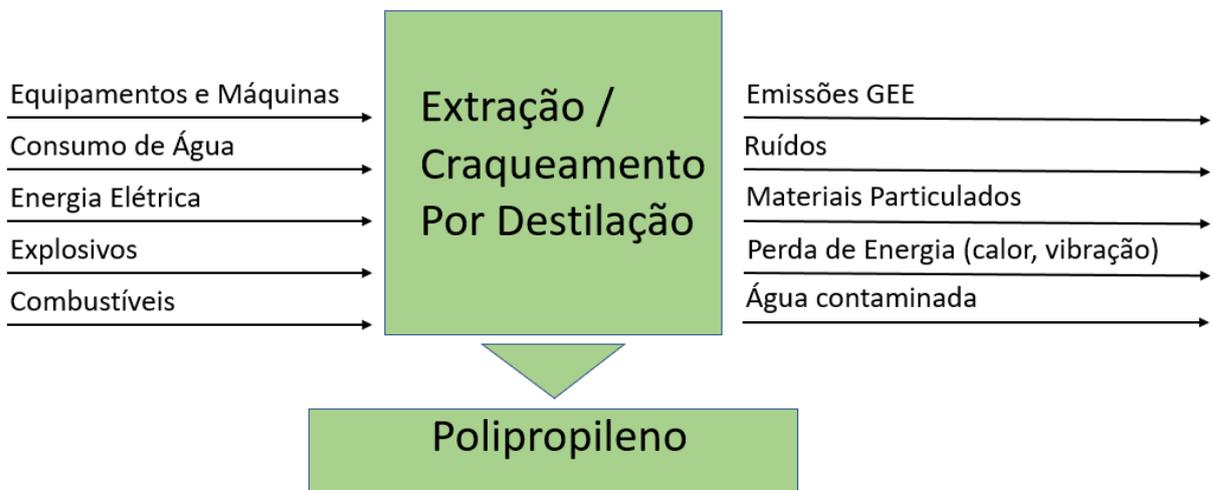
Fonte: O autor, (2021).

A produção de poliestireno expandido é feita a partir do granulado de poliestireno. Ocorre em três etapas, nomeadamente, a pré-expansão, a estabilização, onde o granulado de isopor arrefece o que cria uma depressão no meio das células. Após o mesmo é introduzido nos moldes, onde são expostos a vapor d'água, obtendo assim o Poliestireno Expandido.

3.5.6. Processos na produção da Membrana Hidrófuga (LSF)

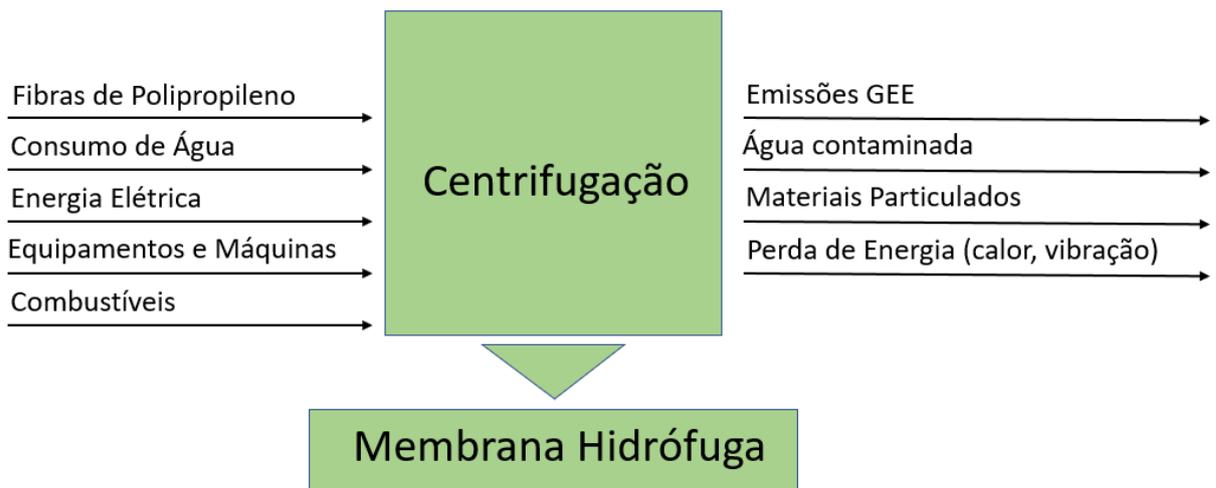
A Membrana Hidrófuga é um material que tem origem do petróleo, conforme Figura 35. Tem na sua composição a obtenção das fibras do Polipropileno que é basicamente sua composição, garante flexibilidade e resistência. Através do processo de centrifugação obtém se a membrana, conforme Figura 36. No seu processo além do alto índice de consumo de energia, como é derivado do petróleo, tem grandes número de emissões de GEE.

Figura 35 - Extração do petróleo



Fonte: O autor, (2021).

Figura 36 – Fabricação Membrana Hidrófuga

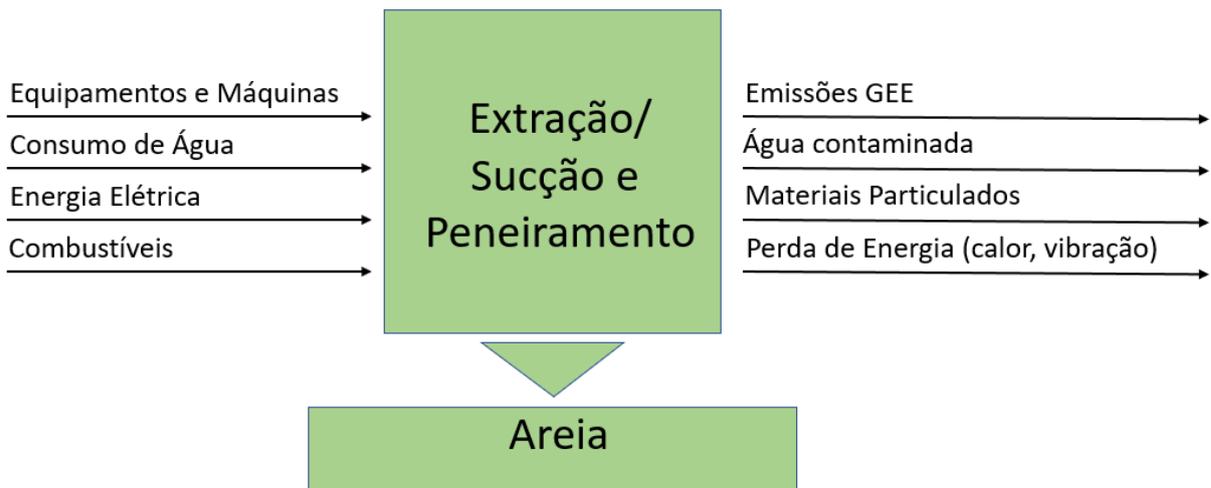


Fonte: O autor, (2021).

3.5.7. Processos na produção da Tela de Fibra de Vidro (LSF)

A Tela de fibra de vidro é usada para união das placas de EPS, dando acabamento nas emendas e garantindo melhor aderência de posterior acabamento ou textura. O seu processo de fabricação inicia pela extração da areia como ilustrado na Figura 37.

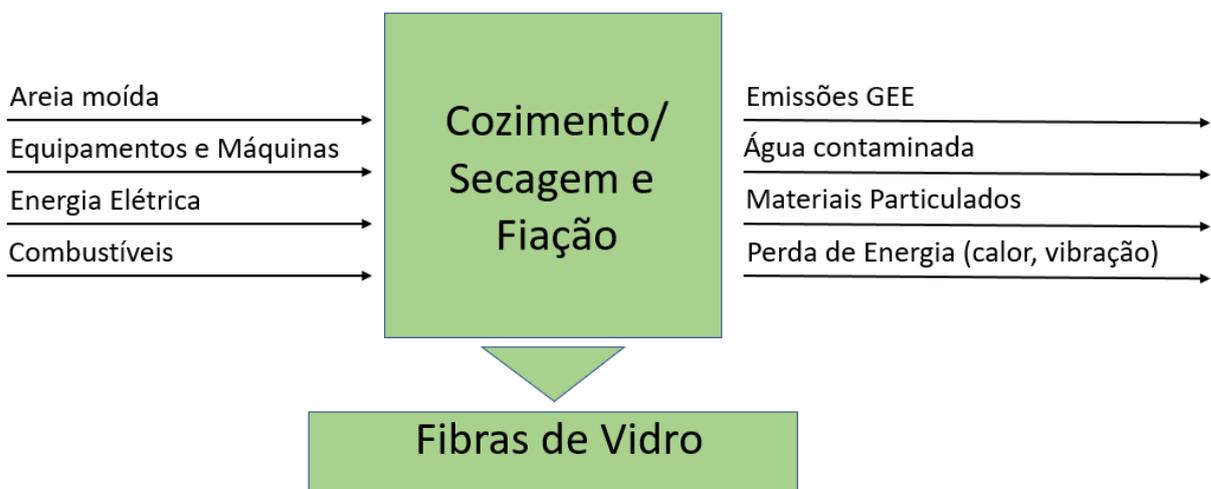
Figura 37 - Extração argila e calcário



Fonte: O autor, (2021).

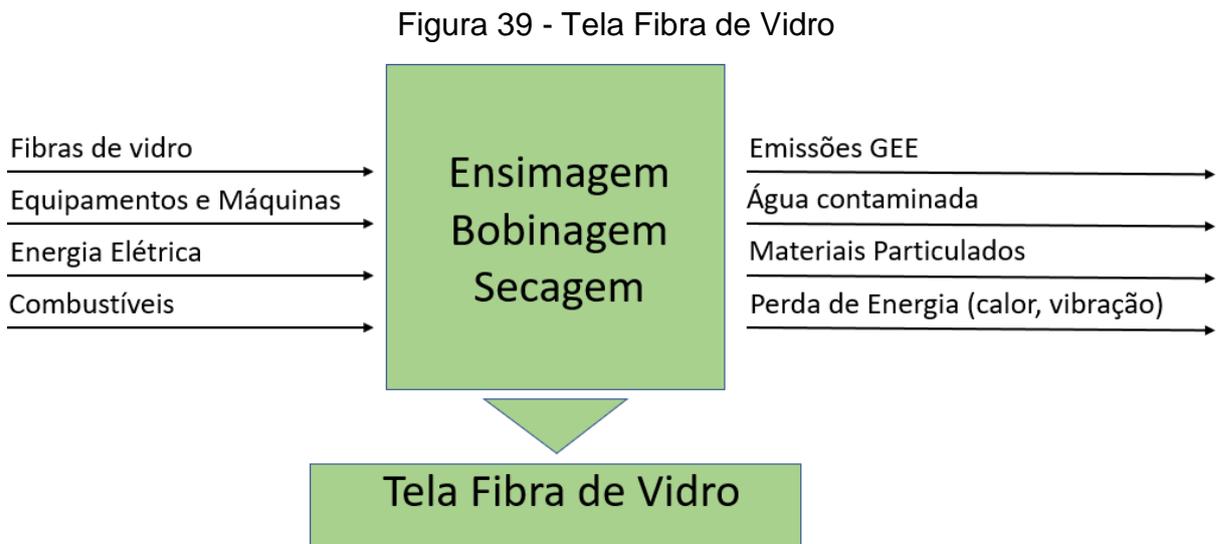
Após é feito o aquecimento de areia e aditivos, conforme Figura 38, onde são moídos e obtida a Fibra Vidro através de um processo de rotação em alta velocidade.

Figura 38 – Fibras de Vidro



Fonte: O autor, (2021).

Após a obtenção das Fibras de Vidro, os mesmos passam por um procedimento chamado Ensimagem onde passam por uma fina película, onde se forma uma solução aquosa, sua principal função é mudar a superfície da fibra de vidro modificando características tais como: sensibilidade ao ataque da água, surgimento de cargas eletrostáticas, falta de coesão entre os filamentos, falta de resistência à abrasão, não união química com a matriz, não adaptação aos processos de transformação. Na sequência é bobinagem e secagem, conforme Figura 39.

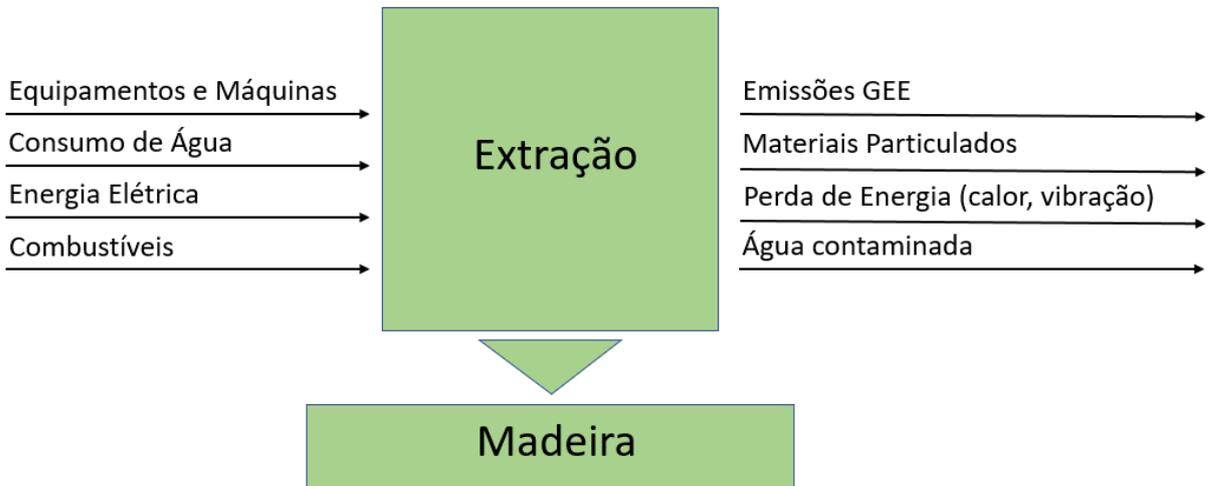


Fonte: O autor, (2021).

3.5.8. Processos na produção da Fita junta (LSF)

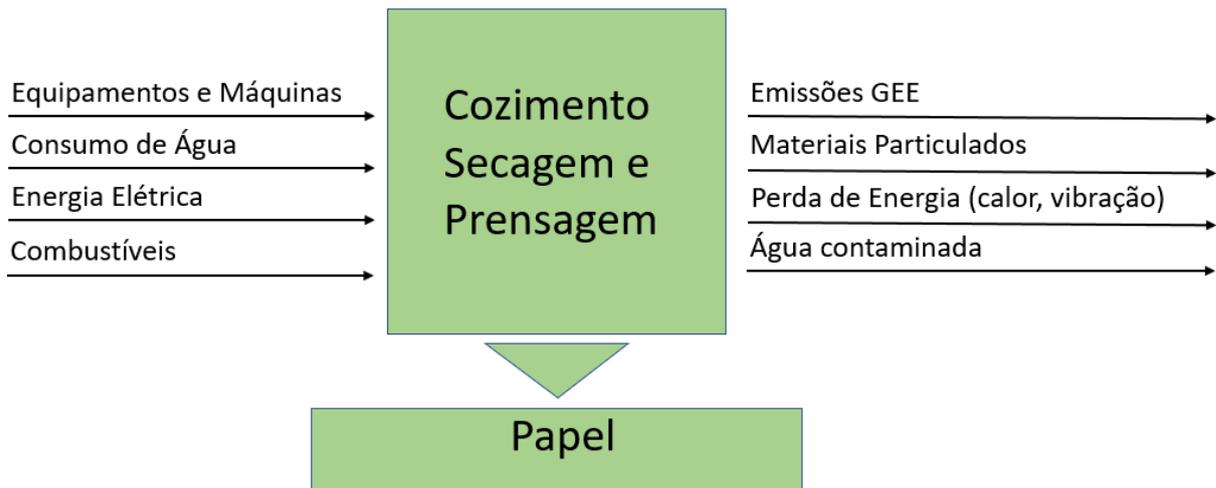
As fitas de junta, tem função de absorver movimentações entre placas de Drywall, seu processo de fabricação inicia na extração da madeira conforme Figura 40. Basicamente são geradas de cavacos de madeira, tem processo de fabricação semelhante ao papel, conforme Figura 41.

Figura 40 - Extração Madeira



Fonte: O autor, (2021).

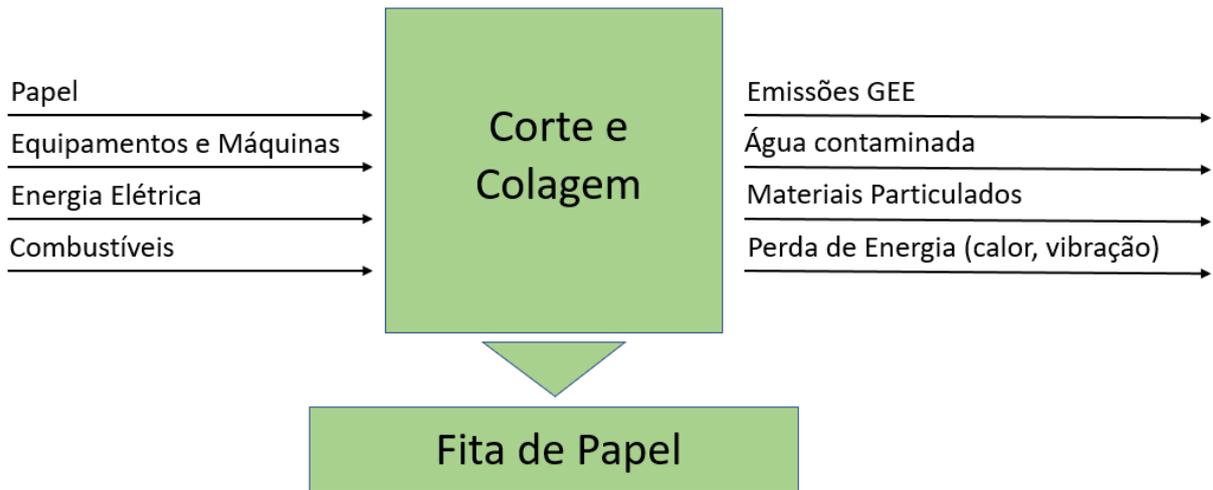
Figura 41 - Beneficiamento Madeira



Fonte: O autor, (2021).

Após obter o papel, o mesmo é submetido a corte e colagem onde obtém-se as características específicas do produto, conforme Figura 42.

Figura 42 - Fabricação fita de papel



Fonte: O autor, (2021).

3.5.1 TRANSPORTE DOS MATERIAIS

Um aspecto importante a ser analisado na composição de cada item está relacionado a distância do local de produção específica do material, podendo avaliar assim os veículos de transporte e suas devidas distâncias de percursos. A análise realizada para composição se refere ao ponto de comercialização até a cidade de destino final em somatório com a distância de extração do material em relação ao ponto de comercialização.

3.5.9. Transporte de materiais para composição em Alvenaria

Para o transporte dos materiais optados para composição em alvenaria, foram considerados o tamanho e capacidade do caminhão pela quantidade de massa de cada item.

Referente ao Bloco Cerâmico foi considerado empresa de grande porte localizada em Vale Real –RS, onde a mesma tem sua matéria-prima e fabricação do bloco alocados na cidade, sendo considerado assim apenas a distância até a cidade de aplicação dos blocos, no caso obra localizada em Caxias do Sul.

Para a Areia foi considerado o local de extração em Osório – RS, onde é

possível encontrar os três tipos de areias (fina, média e grossa) utilizados no projeto, para transporte foi considerado caminhão de 17,3 toneladas.

No caso do Cimento, foi considerado a distância de transporte partindo de Sobradinho – DF, considerando como ponto de extração e produção desde a matéria prima até produto final, considerado transporte em caminhões de 3,3 toneladas.

Por fim a cal, teve como ponto inicial de transporte o município de Almirante de Tamandaré – PR, como o local mais perto com ponto de extração e fabricação da cal, o meio de transporte considerado foi caminhões de 3,3 toneladas.

O Tabela 8 representa a distância específica considerada para cada material, e com seus devidos pesos que serão utilizados.

Tabela 8 - Distância específica por materiais para parede de alvenaria

Material	Massa (Kg)	Distancia (Km)	Fornecedores
Blocos	30968	37	Vale Real - RS
Cimento	2629,32	1929	Sobradinho - DF
Cal	3284,24	600	Almirante Tamandaré - PR
Areia fina	5832,00	198	Osorio - RS
Areia média	10892,62	198	Osorio - RS
Areia grossa	2488,32	198	Osorio - RS

Fonte: O autor, (2021).

3.5.10. Transporte de materiais para composição em Light Steel Frame

As distâncias de trajeto que os materiais percorrem foram retiradas desde a empresa que faz a extração e beneficiamento do material, até o destino final Caxias do Sul – RS, conforme expresso na Tabela 9.

Basicamente a maioria dos itens encontram-se dentro do estado, como os Perfis de Aço, Lã de vidro, EPS, Tela de Fibra de Vidro e Fita Junta. Todos foram considerados para meio de transporte caminhões de 3,3t.

Itens mais específicos e que compõem o revestimento externo, como chapa OSB, Drywall e Membrana Hidrófuga, obtiveram as maiores distâncias, devido a extração de alguns itens da sua composição estarem localizados apenas em outros estados, estes também foram considerados por caminhões de 3,3t.

Tabela 9 - Distância específica por materiais para parede em LSF

Material	Massa (Kg)	Distancia (Km)	Fornecedores
Drywall	1728	3850	Araripina - PE
Montantes de aço	587,52	110	Lajeado - RS
Chapa OSB	2101,2	686	Ponta Grossa - PR
Lã de vidro	416	110	Lajeado - RS
EPS	1050	102	Porto Alegre - RS
Membrana Hidrófuga	22,5	2880	Feira de Santana - BA
Tela fibra vidro	27,6	110	Lajeado - RS
Fita Junta	3,4	110	Lajeado - RS

Fonte: O autor, (2021).

3.6. FLUXO PROCESSOS

Após a obtenção dos pesos totais em Kg de cada material, os mesmos vão ter seu devido fluxo criado no *software*, onde serão levados em consideração, o consumo energético em Mega Joule (MJ), peso total em quilogramas (Kg) e peso total em Toneladas multiplicado pela distância em quilômetros (t*Km).

3.6.1. Entradas Software

O consumo energético foi obtido através da entrada do peso total do material no OpenLCA, sendo informado assim o consumo energético de entrada para o peso especificado, conforme exemplo do item Areia, na Figura 43.

Figura 43 - Consumo energético areia

☰ Sand 0/2. production mix. at plant. wet and dry quarry. undried

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...
▶ F crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	267.08080	MJ
▶ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	1.21174E-6	kg
▶ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	1.25650	MJ
▶ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	5.25900	MJ
▶ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	31.46005	MJ
▶ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▶ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	6.08706	MJ
▶ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▶ F Fluorspar	Resource	in ground	1.50852E-6	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Os demais consumos energéticos dos outros materiais que contemplam os dois sistemas propostos, encontram-se no Apêndice A.

O peso total para cada material foi obtido através dos cálculos referentes ao projeto específico, conforme Tabela 6 e 7, e sobre o deslocamento desde o ponto de extração, conforme Tabela 8 e 9, este multiplicado pelo peso de cada item, conforme expresso na Tabela 10.

Tabela 10 - Entradas Alvenaria

Fonte: O autor, (2020).

Material	Massa (Kg)	Distancia (Km)	Consumo Energético (MJ)
Blocos	30968	37	6639
Cimento	2629,3248	1929	345,25
Cal	3284,2368	600	2342
Areia	19210	198	44
Drywall	1728	3850	341
Montantes de aço	867,7	110	331
Tela fibra vidro	27,6	110	1162,2
Chapa OSB	2101,2	686	104,5
Lã de vidro	416	110	4370
EPS	1050	102	877
Membrana Hidrofuga	22,5	2880	844
Tela fibra vidro	27,648	110	22,9
Fita Junta	3,4	110	0

Fonte: O autor, (2021).

Após ter todas informações necessárias, foi criado o fluxo para cada material, onde este será avaliado de acordo com o método CML, conforme exemplo do item Areia, na Figura 44.

Figura 44 - Entradas Fluxo Areia

P Entradas/Saídas: Areia

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade	Provedor padrão
Electricity from hydroelectric...	Energy carriers and technologies/Electricity	44.06000	MJ	Electricity from hydroelectric power plants, production mi
sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	1.92140E4	kg	Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, un
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	19.214*198	t*km	Lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 22 t total weight, 17,3

Fonte: OpenLCA, (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

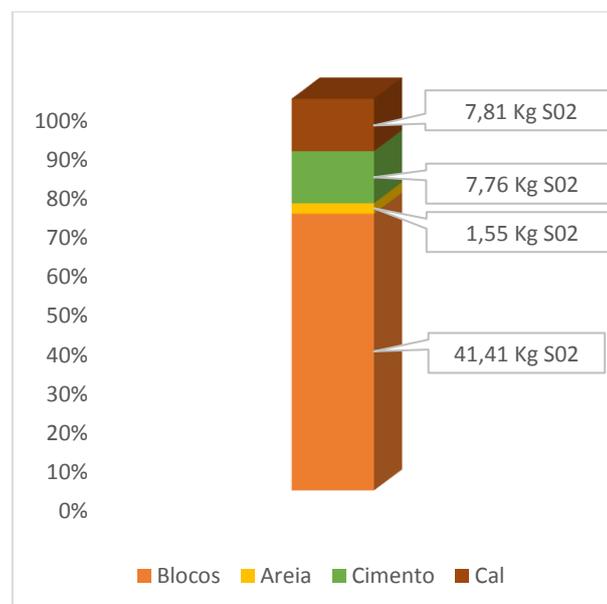
Neste capítulo serão apresentados os resultados em termos percentuais, que expõem os impactos ambientais relacionados aos materiais utilizados em cada sistema construtivo e a fase do ciclo de vida, de modo a facilitar a interpretação dos valores encontrados.

Os itens serão relacionados da seguinte maneira, gráfico do impacto da Alvenaria, seguindo do gráfico de impacto do *Light Steel Frame*, finalizando com o gráfico comparativo entre eles. A interpretação destes em relação a qual o sistema construtivo de maior impacto dentro do seu ciclo de vida, serão identificados por fim juntamente com os processos elementares de maior contribuição para tal resultado, e possíveis peculiaridades de cada impacto.

4.1 POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO

Referente ao potencial de acidificação perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 46, que os blocos são o item mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 41,41 Kg de SO₂.

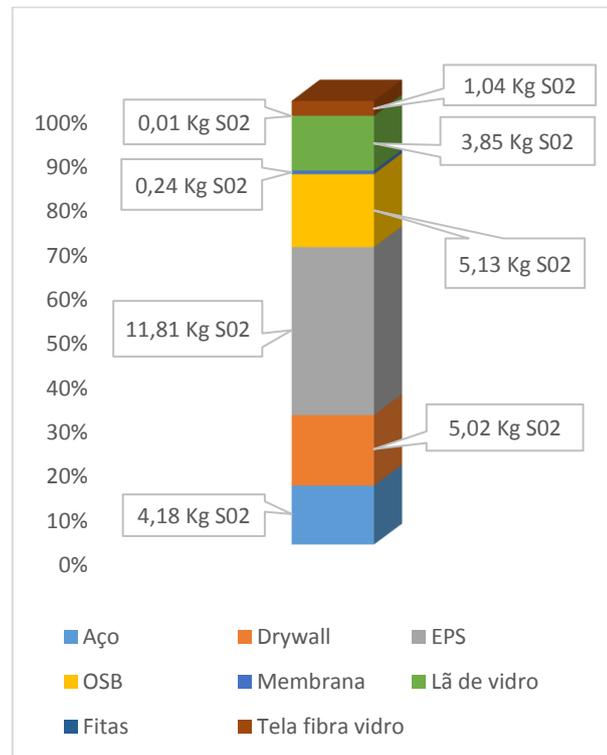
Figura 46 - Potencial de Acidificação Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 47. O mesmo foi responsável pela emissão de 11,81 Kg de SO₂.

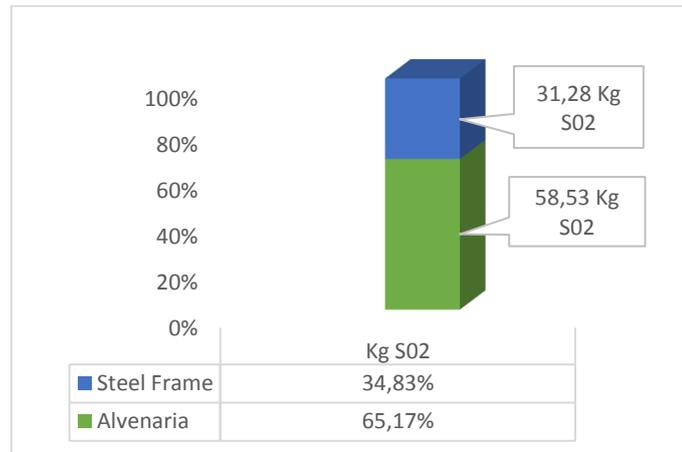
Figura 47 - Potencial de Acidificação Light Steel Frame



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 58,21 Kg SO₂, onde para o sistema em LSF obteve-se 31,28 Kg SO₂ totais, conforme Figura 48.

Figura 48 - Potencial de Acidificação Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

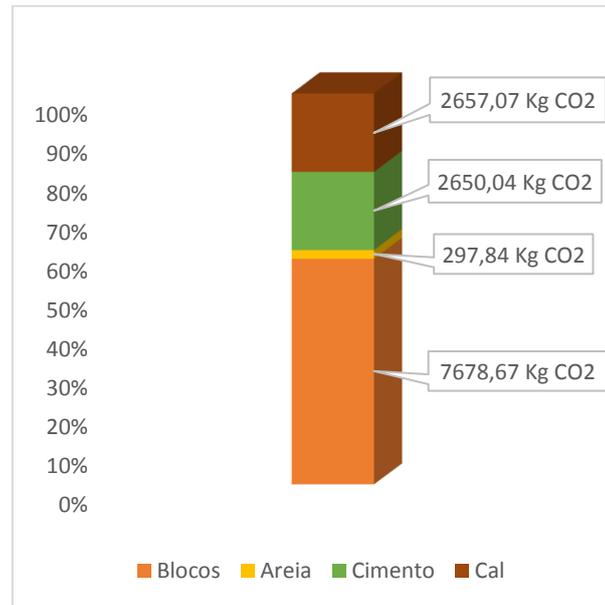
O Bloco foi o material mais impactante entre os demais materiais, o mesmo obteve esse impacto negativo, pois em uma das etapas de sua produção, onde é feita a queima de massas cerâmica argilosas, é liberado alguns gases em grandes quantidades, entre estes o dióxido de enxofre, que é a unidade expressa pelo método proposto.

De acordo com Souza et al (2008), a queima de massas cerâmicas argilosas pode liberar concentrações apreciáveis de certos componentes gasosos como: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), amônia (NH₃) e metano (CH₄), que em fortes concentrações prejudicam o meio ambiente, equipamentos, ferramentas e principalmente a saúde humana.

4.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Referente as mudanças climáticas perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 49, que os blocos são o item mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 7678,67 Kg de CO₂.

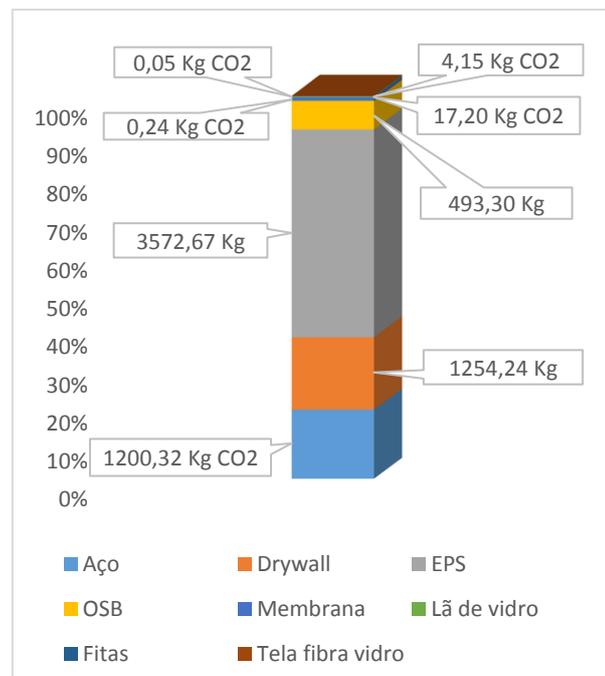
Figura 49 - Mudança Climática Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 50. O mesmo foi responsável por 3572,67 Kg de CO₂.

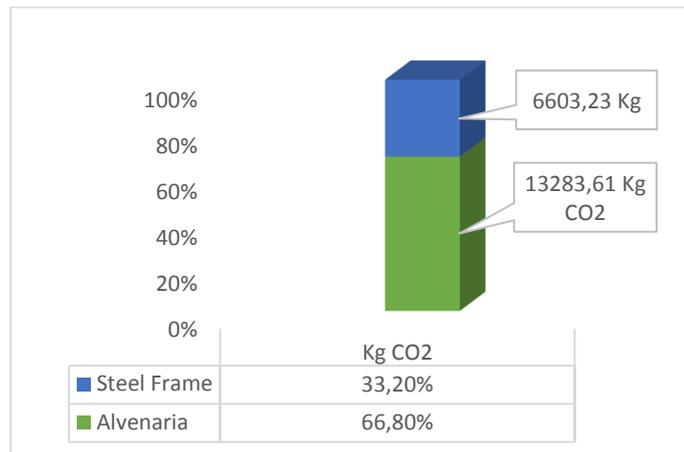
Figura 50 - Mudança Climática LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 13.283,61 Kg CO₂, onde para o sistema em LSF obteve-se 6.603,23 Kg CO₂ totais, conforme Figura 51.

Figura 51 - Mudança Climática Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

Os blocos devido a sua forma de fabricação e utilização da queima de combustíveis fósseis para obtenção do seu estado final, no processo da queima e transporte, emite um número elevado de dióxido de carbono (CO₂).

Segundo Caldas, o sistema de vedação convencional (VC) apresentou maiores impactos no transporte que o sistema de LSF, influenciado principalmente pela elevada massa do sistema. Desta forma, no momento de comparação entre diferentes tipos de sistemas construtivos esta é uma avaliação importante a ser realizada.

Ressalta frisar que de todos itens analisados, para o quesito Mudança climática, o item chapa de OSB teve valor de impacto negativo, devido ao seu potencial de reciclagem e reflorestamento, conforme Tabela C8.

De acordo com Sozin et al (2017), o OSB se apresenta como componente vantajoso ao indicarem valor negativo de emissão de GEE, que ocorreram devido ao sequestro de carbono durante o tempo de vida da madeira.

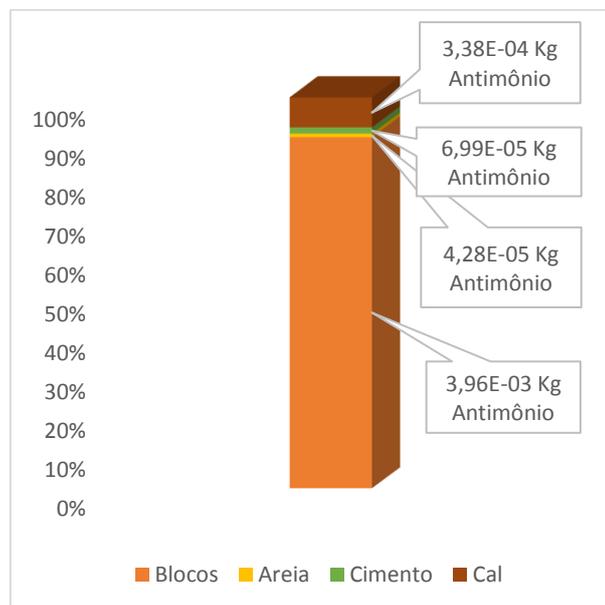
O item Argamassa, se contabilizado a soma dos matérias Areia, Cal e Cimento totalizaram emissão de 5605 Kg de CO₂. Segundo Caldas, Lira e Sposto (2017) verificaram que o revestimento argamassado é responsável por emissões de CO₂-eq consideráveis do sistema de alvenaria com blocos cerâmicos.

Soluções para redução do impacto dos materiais que contemplam a Argamassa, de acordo com Cirilo (2018) onde verificou que a argamassa industrializada emite 50% menos CO₂-eq que argamassas rodadas em obra devido principalmente à maior eficiência do sistema de produção, que consome menos cimento, e pelo fato de não ser utilizada cal na formulação.

4.3 ESGOTAMENTO DOS RECURSOS ABIÓTICOS – ELEMENTOS, RESERVAS FINAIS

Referente ao Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais, perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 52, que os blocos são o item mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 0,00396 Kg de Antimônio.

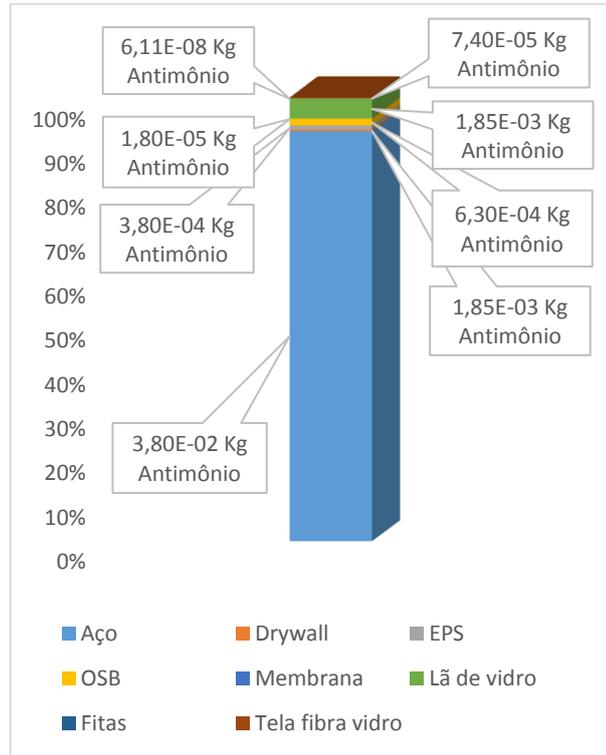
Figura 52 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se o perfil de aço, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 53. O mesmo foi responsável por 0,038 Kg de Antimônio.

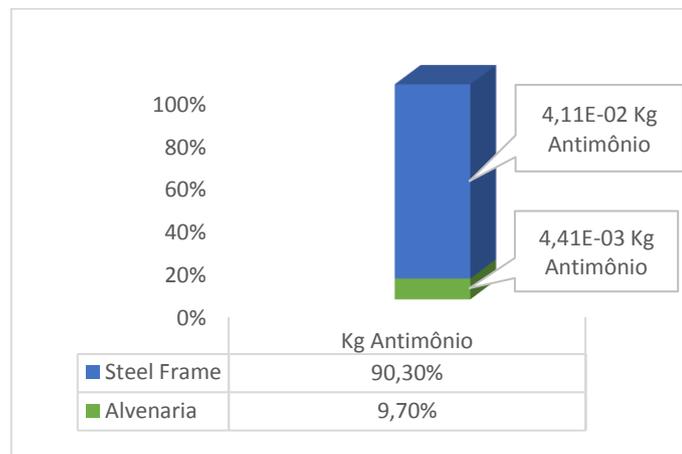
Figura 53 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparação dos dois sistemas, obteve-se o sistema em *Light Steel Frame* como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 0,041 Kg de Antimônio, onde para o sistema em Alvenaria obteve-se 0,00441 Kg de Antimônio totais, conforme Figura 54.

Figura 54 - Esgotamento dos recursos abióticos – Elementos e reservas finais Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

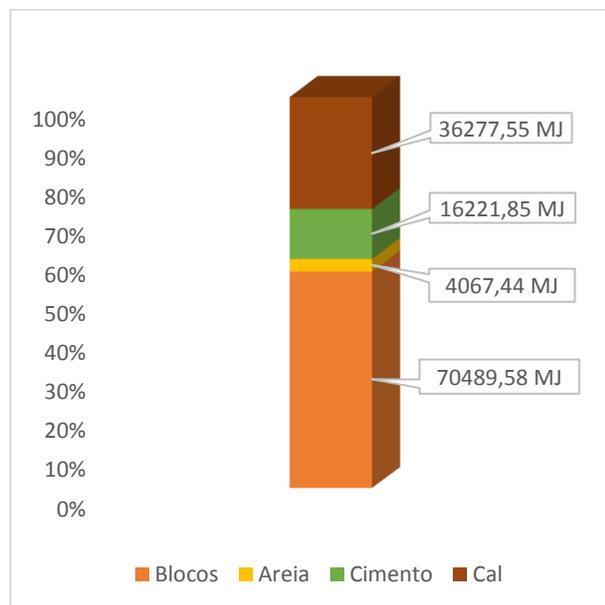
O perfil de aço obteve tal resultado pelos elementos que contemplam sua composição, sendo responsável por mais de 90% de todo impacto gerado nessa categoria. O Elemento que predominou para isso, foi o minério Chumbo, um metal que tem suas reservas finitas.

Em estudo sobre ACV para vedações externas, Bueno (2014) conclui, a respeito do esgotamento dos metais, a observação dos processos no ciclo de vida do sistema *steel framing*, revela que a contribuição mais notória é a do processo de produção de aço.

4.4 ESGOTAMENTO DOS RECURSOS ABIÓTICOS – COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Referente ao Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis, perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 55, que os blocos são o item mais impactante negativamente, sendo responsável pelo consumo de 70489,58 MJ.

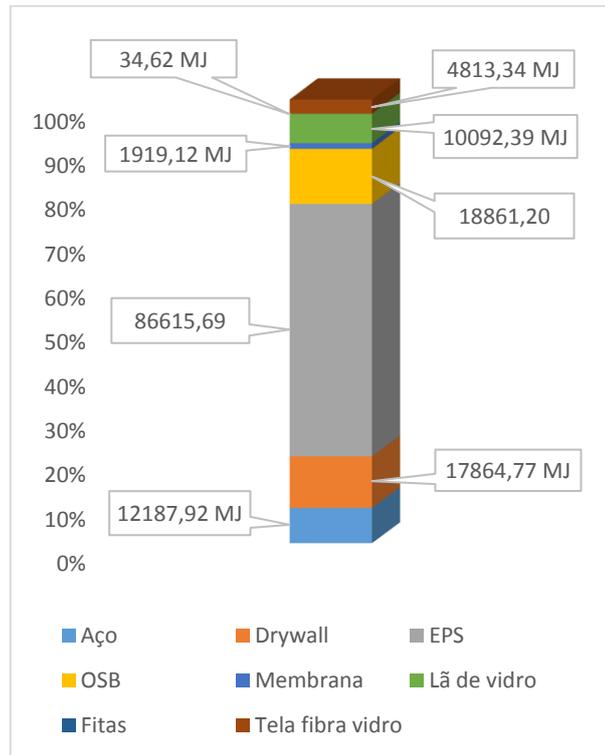
Figura 55 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 56. O mesmo foi responsável pelo consumo de 86.615,69 MJ.

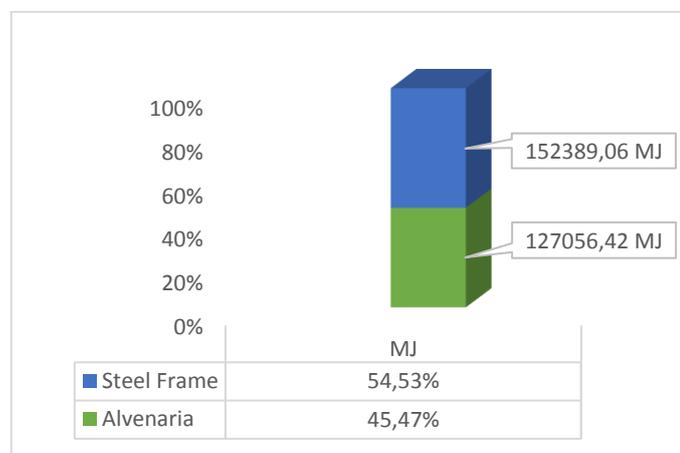
Figura 56 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em *Light Steel Frame* como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 152.389,06 MJ, onde para o sistema em Alvenaria obteve-se 127.056,42 MJ totais, conforme Figura 57.

Figura 57 - Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis Fósseis Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

A chapa de EPS foi o material mais impactante negativamente, obteve tal resultado por fato de sua cadeia produtiva necessitar diretamente do uso de petróleo e gás natural.

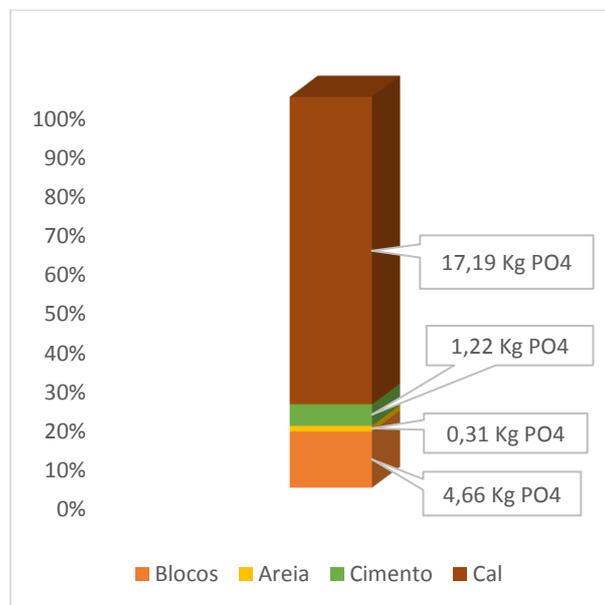
Em estudo sobre a ACV do Poliestireno Expandido (EPS) e Aglomerado de Cortiça Expandido, Lopes (2011) concluiu, este processo por si só contribui com 89% para a categoria de depleção abiótica devido ao fato de estar associado à extração de petróleo do solo para produção de um seu derivado a nafta. Como já referido o poliestireno expansível é produzido a partir da nafta.

O LSF obteve maiores valores para o impacto em si, justificado pelos pontos de extração dos seus materiais possuírem maior distância para transporte, elevando assim o consumo de combustível para a locomoção.

4.5 EUTROFIZAÇÃO

Referente a Eutrofização perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 58, que a Cal é o item mais impactantes negativamente. O mesmo foi responsável pelo consumo de 17,19 Kg de PO₄.

Figura 58 - Eutrofização Alvenaria

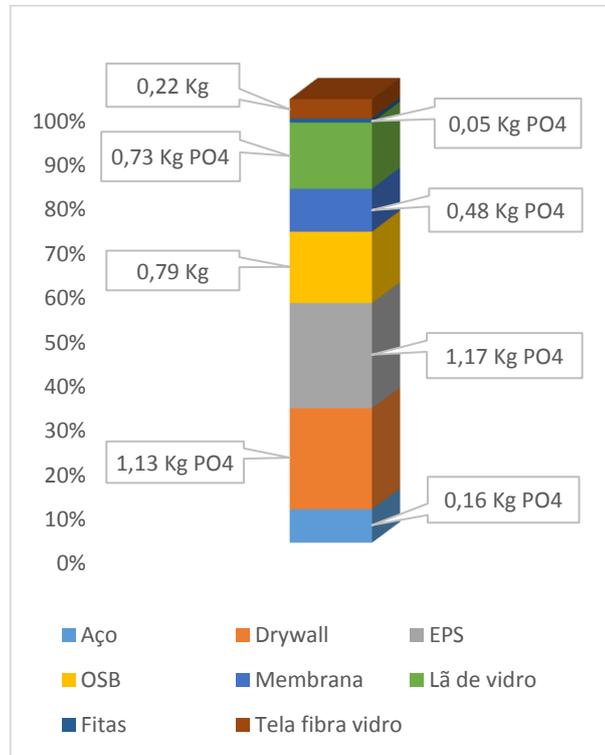


Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS e a chapa

Drywall, como principais materiais negativamente, conforme Figura 59. Estes obtiveram o consumo de 1,17 Kg de PO₄ para a chapa de EPS e 1,13 Kg de PO₄ para chapa de Drywall.

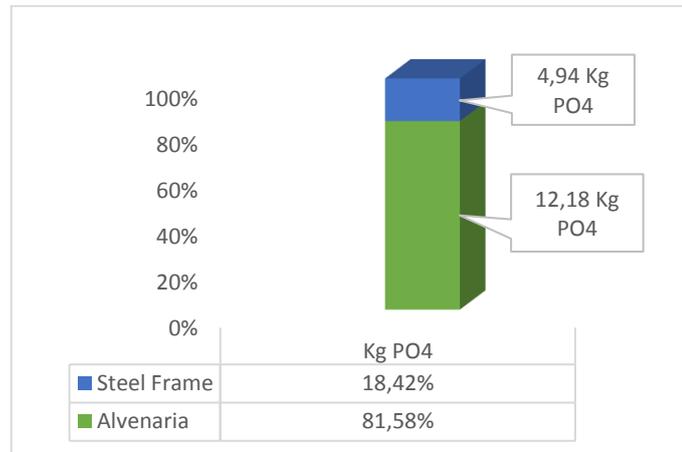
Figura 59 - Eutrofização LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 12,18 Kg de PO₄, onde para o sistema em LSF obteve-se 4,94 Kg de PO₄ totais, conforme Figura 60.

Figura 60 - Eutrofização Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

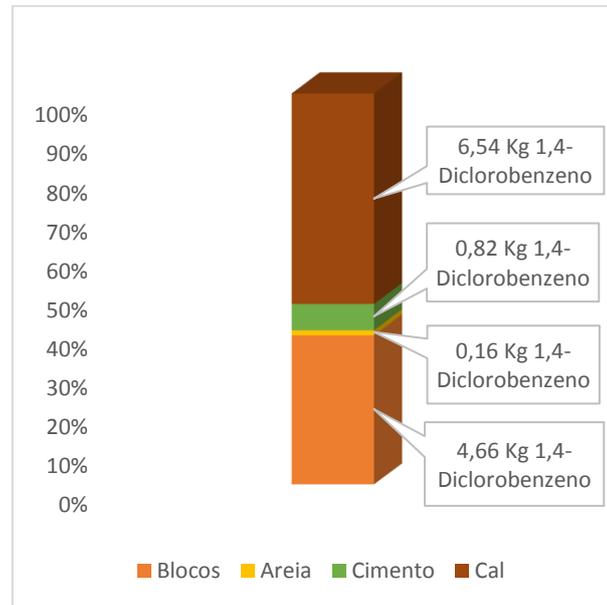
O material mais impactante para eutrofização foi a Cal, representando 78,5% do impacto da Alvenaria, devido a emissão de óxido de Nitrogênio no processo de fabricação.

Segundo John, Punhagui e Cincotto (2014), a produção de cal emite além de dióxido de carbono outros gases como óxido de nitrogênio, resultante da reação de alta temperatura entre o nitrogênio e oxigênio no ar de combustão ou da reação dos compostos nitrogenados presentes no combustível com o oxigênio do ar de combustão.

4.6 ECOTOXICIDADE AQUÁTICA EM ÁGUA DOCE

Referente a Ecotoxicidade aquática em água doce perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 61, que a Cal é o item mais impactantes negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 6,54 Kg 1,4-Diclorobenzeno.

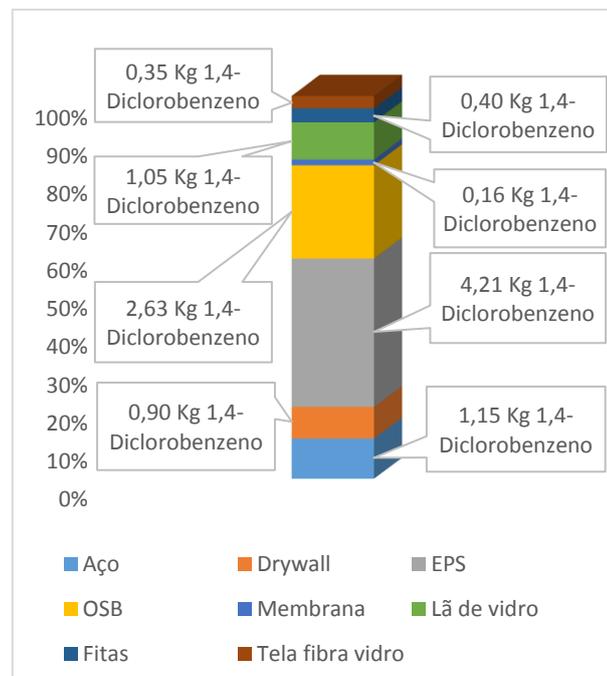
Figura 61 - Ecotoxicidade aquática em água doce Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 62. O mesmo foi responsável pelo consumo de 4,21 Kg de 1,4- Diclorobenzeno.

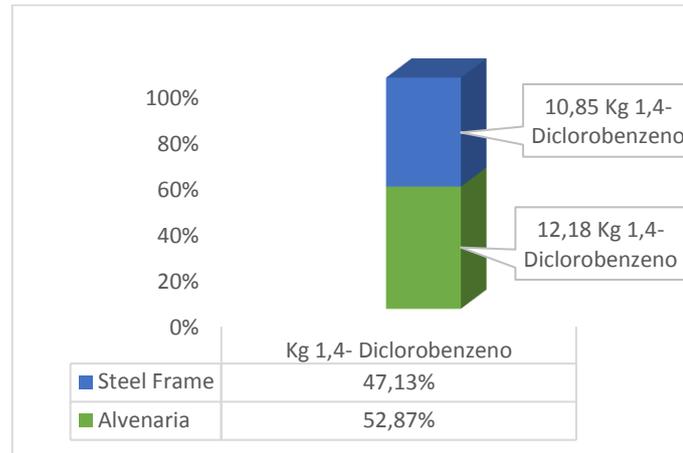
Figura 62 - Ecotoxicidade aquática em água doce LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 12,18 Kg de 1,4-Diclorobenzeno, onde para o sistema em *Light Steel Frame* obteve-se 10,85 Kg de 1,4-Diclorobenzeno totais, conforme Figura 63.

Figura 63 - Ecotoxicidade aquática em água doce Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

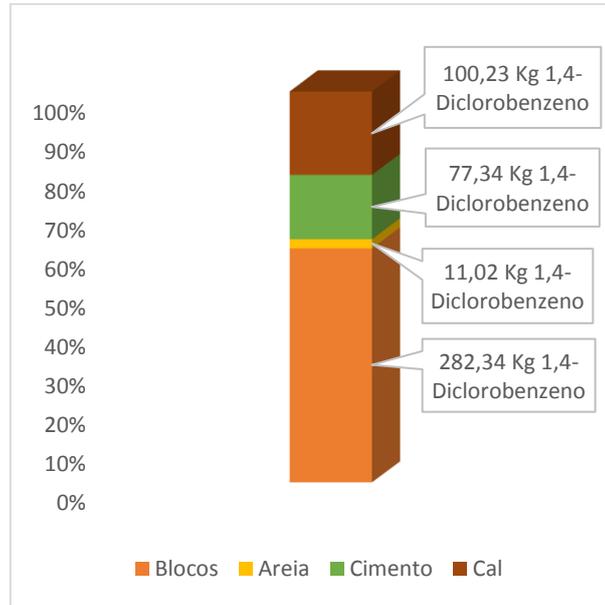
O material mais impactante para a Ecotoxicidade em água doce foi a Cal sendo responsável por 53,72% da emissão de todo sistema.

Sobre a produção da Cal, segundo John, Punhagui e Cincotto (2014), a poeira gerada tanto no processo de britagem, transporte, no forno e após a hidratação é um sério problema ambiental que requer filtros nos fornos, estratégias de abatimento de poeira na área de britagem e transporte. Este é certamente o item mais claramente percebido pelas comunidades próximas.

4.7 TOXICIDADE HUMANA

Referente a Toxicidade Humana perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 64, que os Blocos são o item mais impactante negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 282,34 Kg de 1,4-Diclorobenzeno.

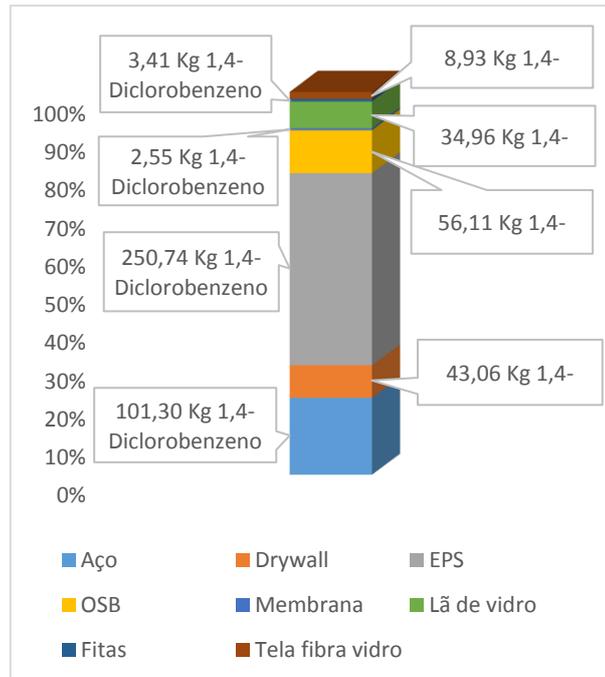
Figura 64 - Toxicidade Humana Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 65. O mesmo foi responsável pelo consumo de 250,74 Kg de 1,4- Diclorobenzeno.

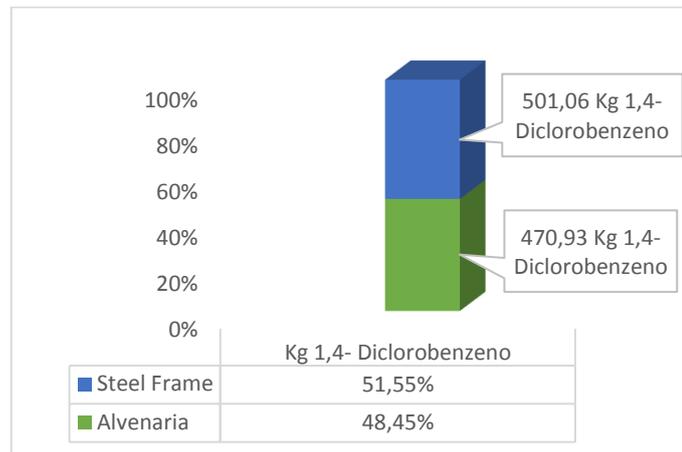
Figura 65 - Toxicidade Humana LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparação dos dois sistemas, obteve-se o sistema em *Light Steel Frame* como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 501,06 Kg de 1,4- Diclorobenzeno, onde para o sistema em Alvenaria obteve-se 470,93 Kg de 1,4- Diclorobenzeno totais, conforme Figura 66.

Figura 66 - Toxicidade Humana Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

Entre os itens mais impactantes negativamente do LSF, encontra-se a chapa de EPS que totalizou a emissão de 250,74 Kg de 1,4- Diclorobenzeno e o Perfil de Aço que totalizou a emissão de 101,30 Kg de 1,4- Diclorobenzeno.

Em estudo sobre a cadeia produtiva do EPS, neste avaliando a Toxicidade Humana, Dantas, More e Alvarenga concluíram que cerca de 80% do impacto correspondente a esta categoria provém da produção primária de EPS.

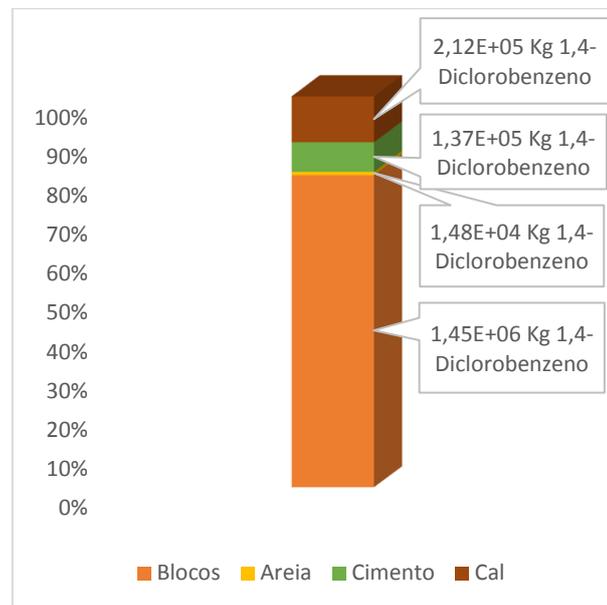
Cabe aqui destacar que Bueno (2016), usaram o percentual de reciclagem do aço de 24% a partir de informações de agências brasileiras e também identificou o processo de produção do aço como o maior contribuinte para a categoria de toxicidade humana. O percentual de reciclagem do aço adotado neste estudo é o constante da base ELCD, já que o processo de produção do aço não foi modelado.

O Argamassa (Cimento, Areia e Cal) utilizada para sistema em Alvenaria totalizou 188,6 Kg de 1,4- Diclorobenzeno. Em seu estudo, Evangelista (2018), mostrou que o revestimento de argamassa também é impactante para a toxicidade humana.

4.8 ECOTOXICIDADE AQUÁTICA EM ÁGUA SALGADA

Referente a Ecotoxicidade aquática em água salgada perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 67, que os Blocos são o item mais impactante negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 1.450.000 kg de 1,4- Diclorobenzeno.

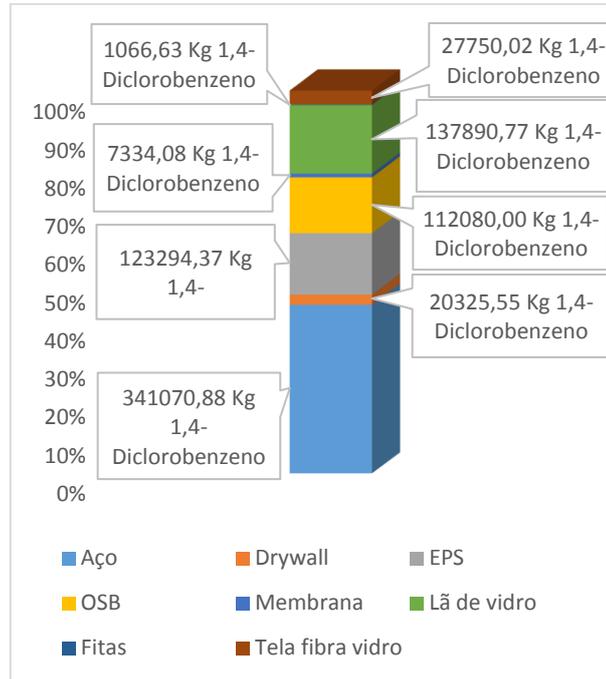
Figura 67 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se o perfil de Aço, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 68. O mesmo foi responsável pelo consumo de 341.070,88 Kg de 1,4- Diclorobenzeno.

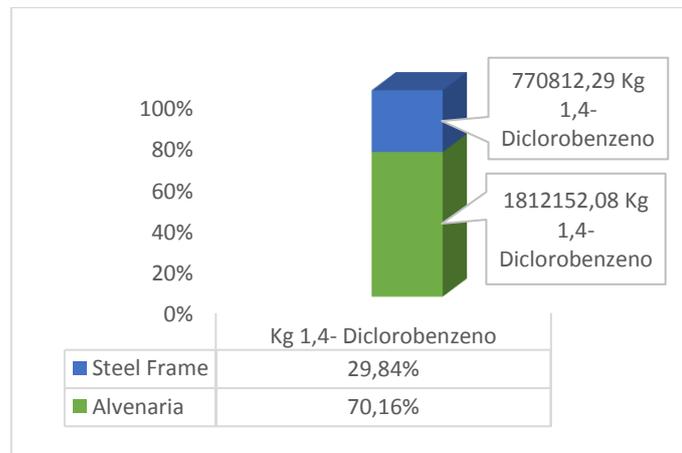
Figura 68 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 1.812.152,08 Kg de 1,4- Diclorobenzeno, onde para o sistema em *Light Steel Frame* obteve-se 770.812,29 Kg de 1,4- Diclorobenzeno totais, conforme Figura 69.

Figura 69 - Ecotoxicidade Aquática em Água Salgada Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

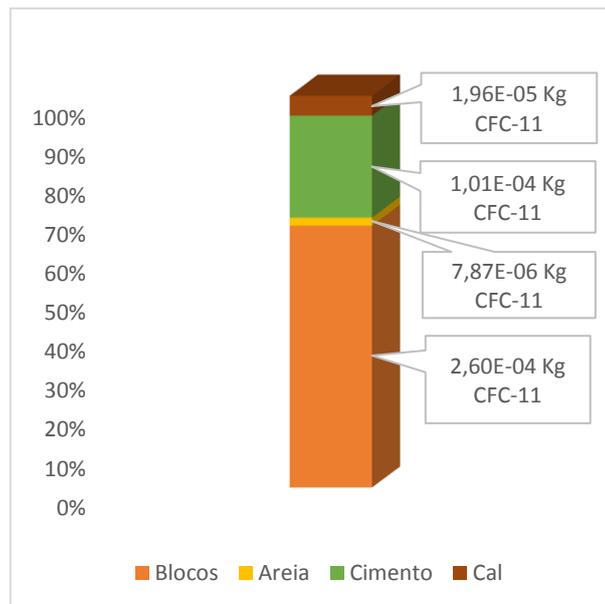
O item mais impactante foram os Blocos, o mesmo tendo tal resultado devido

a necessidade de extração da argila de jazidas. Para Sousa (2013), a retirada de argila, acarreta impactos ao meio ambiente, citando os esgotos a céu aberto, a construção de moradias em locais inadequados, o aumento da superfície lacustre, o descumprimento da legislação e a possibilidade de esgotamento da jazida.

4.9 DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

Referente a Destruição da Camada de Ozônio perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 70, que os Blocos são o item mais impactante negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 0,00026 kg de CFC-11.

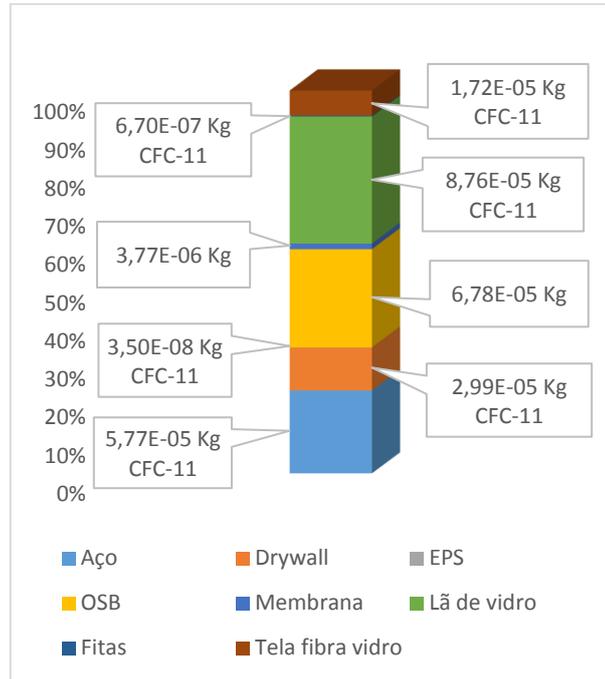
Figura 70 - Destruição da Camada de Ozônio Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se o perfil de Aço, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 71. O mesmo foi responsável pelo consumo de 0,0000876Kg de CFC-11.

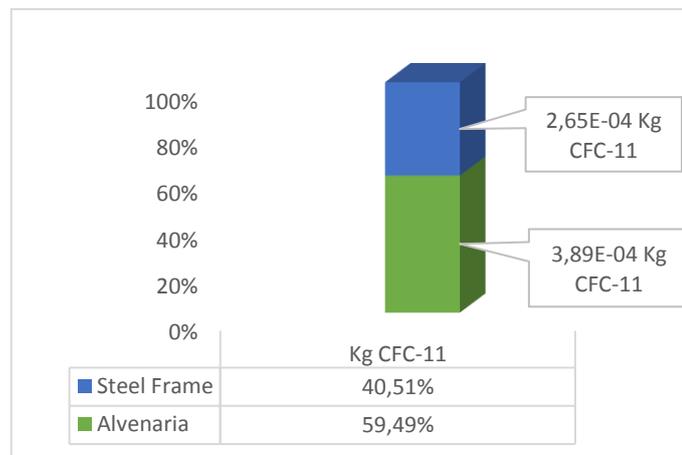
Figura 71 - Destruição da Camada de Ozônio LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 0,000389 Kg de CFC-11, onde para o sistema em *Light Steel Frame* obteve-se 0,000265 Kg de CFC-11 totais, conforme Figura 72.

Figura 72 - Destruição da Camada de Ozônio Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

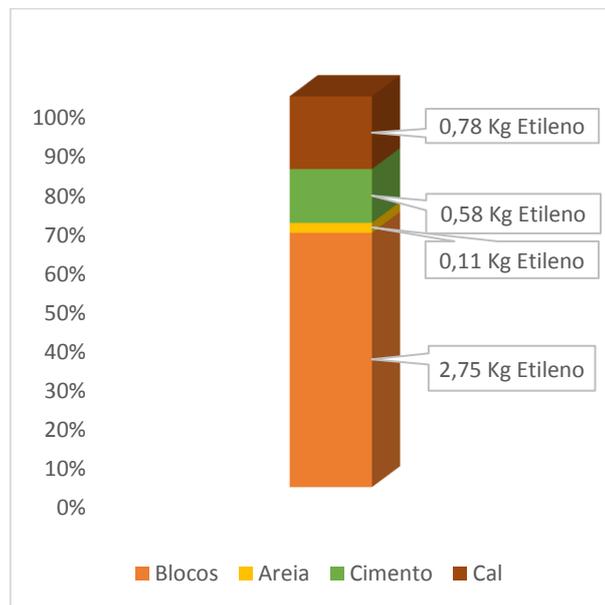
Em estudo ACV comparativo entre a Alvenaria convencional, *Light Steel Frame* e *Light Wood Framing*, Ramos (2019) concluiu que para a depleção da camada de ozônio destacou-se a produção de blocos cerâmicos devido ao consumo de combustíveis fósseis para a queima dos tijolos.

Para o impacto analisado, um dos materiais que chama a atenção é a chapa de EPS que obteve valores insignificantes para destruição da camada de ozônio, o que foi encontrado também por Lopes (2011), conclui-se ainda que a contribuição para a depleção da camada de ozono é insignificante no ciclo de vida referido.

4.10 OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA

Referente a Oxidação Fotoquímica perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 73, que os Blocos são o item mais impactante negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 2,75 kg de Etileno.

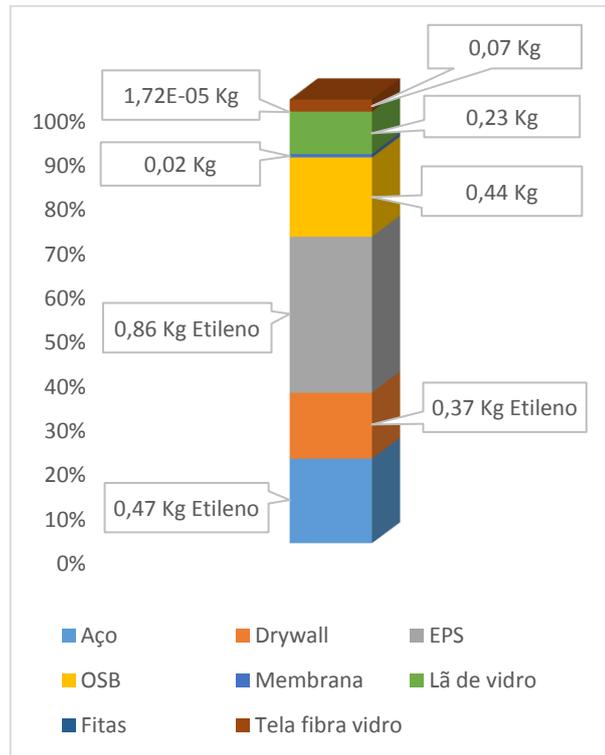
Figura 73 - Oxidação Fotoquímica Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 74. O mesmo foi responsável pelo consumo de 0,86 Kg de Etileno.

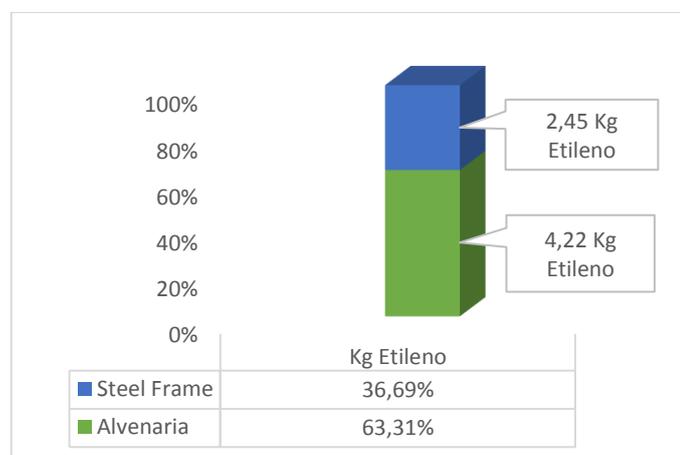
Figura 74 - Oxidação Fotoquímica LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparativo dos dois sistemas, obteve-se o sistema em Alvenaria como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 4,22 Kg de Etileno, onde para o sistema em *Light Steel Frame* obteve-se 2,45 Kg de Etileno totais, conforme Figura 75.

Figura 75 - Oxidação Fotoquímica Alvenaria x LSF



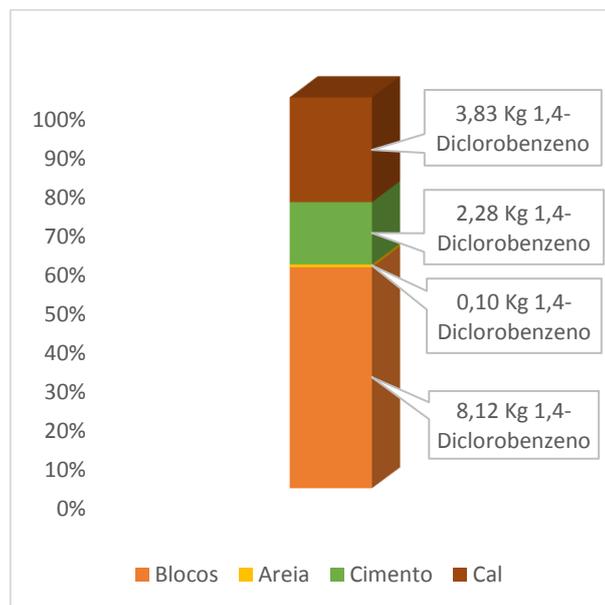
Fonte: O autor, (2021).

Segundo Bueno (2014), as maiores contribuições de impacto da alvenaria de blocos cerâmicos foram nas categorias Depleção de Recursos Fósseis, Eutrofização Marinha e Formação de Oxidantes Fotoquímicos. Tais contribuições significativas estão relacionadas majoritariamente ao processo de produção dos blocos, especificamente ao processo de queima desses.

4.11 ECOTOXICIDADE TERRESTRE

Referente a Oxidação Fotoquímica perante ao sistema construtivo em Alvenaria, nota-se conforme a Figura 76, que os Blocos são o item mais impactante negativamente. O mesmo é responsável pelo consumo de 8,12 kg de 1,4-Diclorobenzeno.

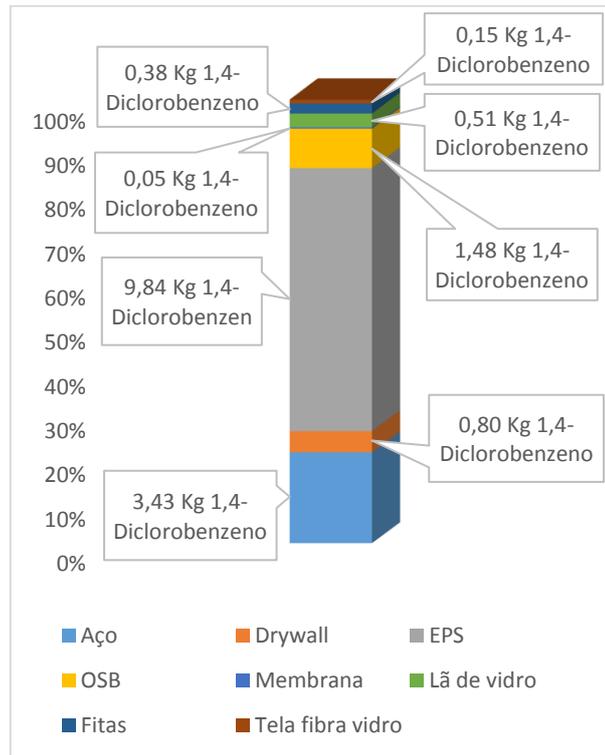
Figura 76 - Ecotoxicidade Terrestre Alvenaria



Fonte: O autor, (2021).

Perante ao sistema construtivo em LSF, obteve-se a chapa de EPS, como material mais impactante negativamente, conforme Figura 77. O mesmo foi responsável pelo consumo de 9,84 kg de 1,4-Diclorobenzeno.

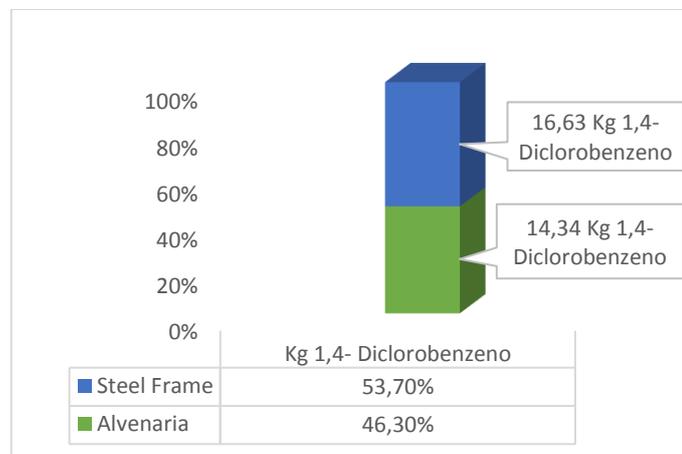
Figura 77 - Ecotoxicidade Terrestre LSF



Fonte: O autor, (2021).

Em comparação aos dois sistemas, obteve-se o sistema em *Light Steel Frame* como o mais impactante negativamente, sendo responsável pela emissão de 16,63 Kg de 1,4- Diclorobenzene, onde para o sistema em Alvenaria obteve-se 14,3 Kg de 1,4- Diclorobenzene totais, conforme Figura 78.

Figura 78 - Ecotoxicidade Terrestre Alvenaria x LSF



Fonte: O autor, (2021).

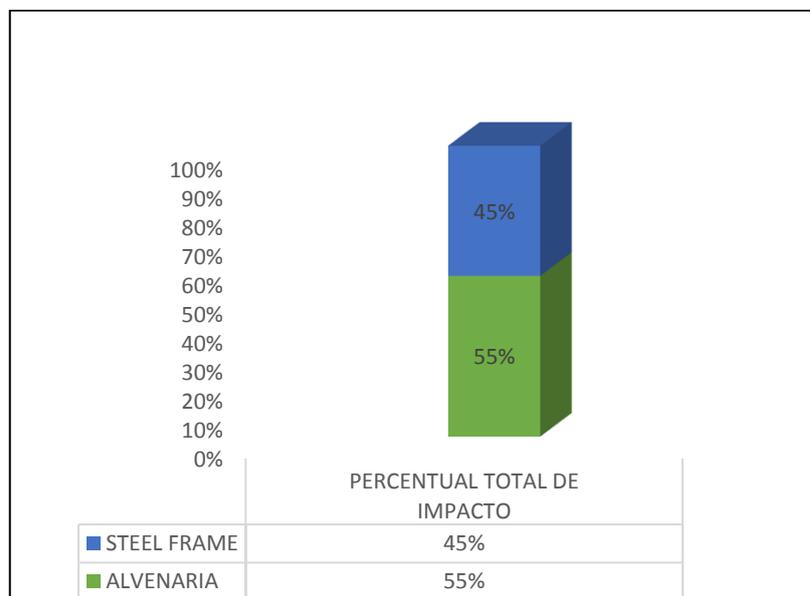
Dos valores obtidos para o LSF, a chapa EPS representou 59% de todo impacto gerado, onde dos 9,84 kg de 1,4- Diclorobenzeno gerados, 9,11 kg de 1,4- Diclorobenzeno são responsáveis pelo elemento Cromo (Cr) que é um elemento químico metálico, que produz uma variedade de efeitos tóxicos e é um agente cancerígeno.

Alguns autores (WONG e CHANG, 1991; CERVANTES et al, 2001; RAI et al, 1992; ALI et al, 2006; MALLICK e MOHN 2003; RODRIGUEZ et al, 2007), em estudos da toxicidade com cromo, tem relacionado alterações na síntese da clorofila com a presença de estresse oxidativo.

4.12 RESUMO RESULTADOS

Em análise dos 11 tipos de impactos ambientais, a Figura 79 traz o somatório dos percentuais obtidos em cada etapa, resultando num total de 55% dos impactos obtidos responsáveis pela vedação em Alvenaria.

Figura 79 - Resumo Percentual Total de Impactos



Fonte: O autor, (2021).

Em análise as categorias que cada sistema foi mais impactante negativamente, a Alvenaria foi superior em 7 dos 11 tipos de impactos ambientais analisados,

enquanto o LSF foi superior em 4. A Figura 80 mostra os devidos impactos que cada sistema se sobressaiu negativamente.

Figura 80 - Resumo impactos por sistemas construtivos

Alvenaria	Light Steel Frame
Potencial de acidificação	Toxicidade Humana
Mudança Climática	Ecotoxicidade terrestre
Ecotoxicidade em água doce	Esgotamento dos recursos abióticos – Reservas finais
Oxidação fotoquímica	Esgotamento dos recursos abióticos – Combustíveis fósseis
Eutrofização	
Ecotoxicidade em água salgada	
Destruição da camada de ozônio	

Fonte: O autor, (2021).

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho apresentou a Avaliação do Ciclo de Vida por meio do uso do *software* OpenLCA, para uma habitação unifamiliar, localizada na cidade de Caxias do Sul-RS, buscando avaliar suas paredes externas com dois diferentes tipos de sistema construtivo. Foram comparados a composição em Alvenaria com parede dupla e o sistema inovador em *Light Steel Frame*.

Foram avaliados os materiais que contemplam ambas composições, perante a 11 tipos de impactos diferentes, os mesmos referenciados com o método avaliativo CML para obtenção dos resultados.

Os resultados obtido foram de predomínio do sistema em Alvenaria que é o mais impactante negativamente, em 7 das 11 categorias de impacto avaliadas, sendo estas, Potencial de Acidificação, Mudanças Climáticas, Eutrofização, Ecotoxicidade em água doce, Ecotoxicidade em Água Salgada, Destruição da Camada de Ozônio e Oxidação Fotoquímica, enquanto o sistema em LSF, foi mais impactante negativamente em 4 das 11 categorias, Esgotamento dos Recursos Abióticos – Elementos e reservas finais, Esgotamento dos Recursos Abióticos – Combustíveis Fósseis, Toxicidade Humana e Ecotoxicidade Terrestre.

Pode-se concluir que uma das principais contribuições do trabalho, foi identificar entre os sistemas construtivos os tipos de impacto que cada um é responsável e o motivo pelo qual o impacto é gerado. Entre as composições para fins de uma tomada de decisão, o sistema em LSF foi superior positivamente. Em resultado dos seus processos construtivos, materiais que contam com procedimentos de fabricação mais industrializados, a forma construtiva possibilita que os materiais sejam realocados na mesma obra, evitando os desperdícios.

Estudos anteriores de ACV concluíram que a alvenaria convencional apresentou maior participação nos impactos comparado a sistemas alternativos, a partir da avaliação das emissões de CO₂. No entanto a presente pesquisa mostrou que em somatório dos percentuais de cada impacto ambiental, a Alvenaria ficaria responsável por 55% do somatório valores de cada impacto, enquanto o LSF ficando responsável por 45%.

Alguns impactos como o Esgotamento dos Recursos Abióticos, seja tanto para

Elementos e Reservas finais, como para Combustíveis Fósseis, foram mais impactantes no LSF, que chama a atenção, caso o sistema fosse optado em maior escala tanto nacionalmente como internacionalmente, são números que tenderiam a preocupar mais, pois necessitam de recursos finitos. O que necessita de estudos de meios de reciclagem por reaproveitamento, meios de fabricação alternativos ou até mesmo alocação de outros tipos de materiais na composição.

O trabalho traz dados que possibilitam viabilizar a escolha de materiais na fase de projeto, onde pode ser feita a análise da localidade que serão aplicados, caso seja próxima dos pontos de extração do devido material, reduzindo assim o fator transporte na Avaliação do seu ciclo de vida.

Com perspectivas grandes de aumento nos estudos de ACV, o trabalho se demonstra de grande validade para as possibilidades de novas escolhas no setor, além da utilização de *softwares* desse segmento para facilitar a obtenção dos resultados. Concluindo assim a importância da ênfase a novos métodos construtivos que visem a consciência ambiental.

5.1 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir das lacunas e limitações observadas na presente dissertação apresentam-se aqui algumas sugestões para ser objeto de estudo de pesquisas futuras:

- Avaliação do Ciclo de Vida da mesma composição apresentada utilizando outro método avaliativo;
- Avaliação do Ciclo de Vida da mesma composição apresentada utilizando outros *Softwares*;
- Estudo para diferentes especificações de Light Steel Frame, Light Wood Framing, Blocos de Concreto;
- Avaliação do Ciclo de Vida envolvendo outras etapas dos sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. **Emissões de CO₂ 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, 2018.

ALI, N.A.; DEWEZ, D.; DIDUR, O.; POPOVIC, R. **Inhibition of photosystem II photochemistry by Cr is caused by alteration of both D1 protein and oxygen evolving complex.** Photosynthesis Research, 89: 81-87, 2006.

ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de; LUZ, Adão Benvindo da (ed.). **Manual de agregados para construção civil.** 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2012.

ARAÚJO, Viviane Miranda. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiro de obras.** 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Área de concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Mãos à obra pro: o guia do profissional da construção.** São Paulo: Alaúde Editorial, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** Rio de Janeiro, 46p. 2009.

_____. **NBR 15575-1. Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

BUENO, Cristiane. **Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil: Análise de sensibilidade.** Tese de doutorado. São Paulo, 2014.

BUENO, C. *et al* **Sensitivity Analysis of the Use of Life Cycle Impact Assessment Methods: a case study on building materials**. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 2208-2220, 2016.

CALDAS, Lucas Rosse. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de fachadas para habitações sociais**. Dissertação de mestrado. Brasília, 2016.

CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. M. M.; SPOSTO, R.M. **Avaliação do Ciclo de Vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas**. Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, Brasília, v.1, n.1, p. 138-167, 2017.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. D. **Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto**. Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, Brasília, v. 2, n. 2, p. 34-61, 2018.

CAMILLO, Luciana Dimmas. **Proposição de melhorias do desempenho ambiental do processo de produção do aço líquido**. São Paulo, 2016.

CAMPOS, P. F. de. **Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. Patrícia Farrielo de Campos. – São Paulo, 2014.

CERVANTES, C. *et al*. **Interactions of chromium with microorganisms and plants**. FEMS Microbiology Reviews, 25: 335-347, 2001.

CHOI, Ahelstan K. Y., **A Screening Method for Life-Cycle Inventory Analysis for Industrial Material**. Dissertação de Mestrado. University of Windsor, 1994.

CIRILO, F.; MELO, A. T. S. **Comparativo de desempenho ambiental entre argamassa industrializada e argamassa virada em obra.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., Brasília, 2018.

DANTAS, T. E. T.; MORE, F. B.; ALVARENGA, J. F.; **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE UM SISTEMA PRODUTIVO CIRCULAR: um estudo de caso da cadeia produtiva do EPS.** XXI ENGEMA – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Santa Catarina, 2019.

CURRAN, M. A. **Report on Activity of Task Force 1 in the Life Cycle Inventory Programme: Data Registry – Global Life Cycle Inventory Data Resources.** International Journal Life Cycle Assessment, v. 11, n° 4, p. 284 – 289, 2006.

EVANGELISTA, P. P. A. *et al* **Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA).** Construction and Building Materials, v. 169, p. 748-761, 2018.

FELLER, M. R. **Promoting sustainable design through life-cycle assessment applications.** 2014.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos.** 2004. 80p. Tese (Doutorado em gestão ambiental). Instituto Politécnico de Viseu. Viseu, Portugal, 2004.

FIGUEIRÓ, W. O. **Racionalização do processo produtivo de edifícios em alvenaria estrutural.** Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing: Arquitetura.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro da Construção em Aço. 2006.

GOMES, J. O.; LACERDA, J. F. S. B. **Uma Visão Mais Sustentavel dos Sistemas Construtivos no Brasil**: análise do estado da arte. E-tech: Tecnologias para Competividade Industrial, Florianópolis, 2014.

GUINÉE, J. B. et al. **Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards**. 2001. Relatório final.

GUINÉE, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. **Handbook on life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards**. Netherland: Dordrecht: Kluver Academic Publishers. 2001. 692p

INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU). **Environmental Product Declaration: DuPont™ Tyvek® Monolayer 60 (1060B, 1560B, 2460B)**. DuPont de Nemours (Luxembourg), 2016.

JOHN, Vanderley. M; PUNHAGUI, Katia. R. Garcia; CINCOTTO, Maria Alba. **Economia de baixo Carbono: Avaliação dos Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas**. Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono. São Paulo, 2014.

JOHN, Vanderley Moacir; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Levantamento do Estado da Arte: seleção de materiais**. Projeto FINEP. São Paulo, 2007.

LOBO, Fernando Henrique Rodrigues. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços e obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná**. 2010. 212 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MALLICK, N.; MOHN, F.H. **Use of chlorophyll fluorescence in metal-stress research: a case study with the green microalga *Scenedesmus***. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55: 64-69. 2003.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de Produto Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos Industriais**. São Paulo: Edusp, 2002.

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365-385, 2018.

MENOUFI, Karim Ali Ibrahim. **Life cycle analysis and life cycle impact assessment methodologies: a state of the art**. Tese de Mestrado. Universitat de Lleida, Espanha, 2011.

MILAN, G. S.; NOVELLO, R. V.; REIS, Z. C. dos. **A VIABILIDADE DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAME PARA CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS**. Revista Gestão Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral**. 2009. Disponível em:mme.gov.br/ Acesso em: 10 out. 2020.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986-2008**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

NOI, Claudia di; CIROTH, Andreas; SROCKA, Michael. **OpenLCA 1.7: Comprehensive User Manual**. Berlim: GREENDELTA, 2017. 104 p.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G., **Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA**. Construction and Building Materials, vol. 23, pp. 28-39, 2009.

RAI, U.N.; TRIPATHI, R.D.; KUMAR, N. **Bioaccumulation on chromium and toxicity on growth, photosynthetic, in vivo nitrate reductase activity and protein content in a Chlorococcalean green alga *Glaucozystis Nostochinearum* Itzigsohn.** Chemosphere, 25(1): 1771-1732, 1992.

RAMOS, Valéria Mayumi Kushima. **Avaliação do Ciclo de Vida dos Materiais de uma Habitação de interesse social em Alvenaria Convencional, Light Steel Frame e Light Wood Framing.** Tese de mestrado. Curitiba, 2019.

RODRIGUES, C. R. B., **Sistemas Computacionais de Apoio a Ferramenta Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV).** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, Rio de Janeiro, 2008. Anais, Rio de Janeiro, 2008.

RODRIGUEZ, M.C et al. **Effects of chromium on photosynthetic and photoreceptive apparatus of the alga *Chlamydomonas reinhardtii*.** Environmental Research, 105: 243-239, 2007.

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

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Morais. **STEEL FRAMING: Manual de Construção em aço.** 2012. 2 v. Instituto Aço Brasil Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2012.

SEBRAE – **SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS.** Gestão ambiental. Disponível em: <http://www.df.sebrae.com.br/> Acesso em 28 maio 2021.

STEIN, RONEI T. **Avaliação dos Impactos Ambientais.** Sagah Educação S.A. Porto Alegre, 2018.

STRANDDORF, H. F.; HOFFMANN, L.; SCHMIDT, A. **IMPACT categories, normalisation and weighting in LCA**. Danish Ministry of the Environment – Environmental Protection Agency, Environmental News, n. 78, 2005.

SOARES, S.; SOUZA, D.; PEREIRA, S. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. In: M. A. SATTler; F. O. R. PEREIRA. Coletânea Habitare. Porto Alegre, ANTAC, v. 7, 2006. p.96–127.

SOUSA, R.G.U. **Quantificação das emissões de CO₂ dos materiais de construção: Aço, Areia, Brita, Cerâmica vermelha e Cimento- Estudo de Caso de um empreendimento habitacional de interesse social**. (Monografia) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas- BA, p. 70, 2013.

SOUZA, Roberto de; ABIKO, Alex. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

SOUZA, V. P.; TOLEDO, R.; HOLANDA, J. N. F., VARGAS, H.; FARIA JR, R. T. **Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água**. 2008.

SOZIN, JOÃO PAULO FALCETTI; MELO, PEDRO CORRÊA DE. **Avaliação do Ciclo de Vida de Emissão de CO₂ equivalente de vedação de Light Wood Frame**. Brasília, 2017.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares**. Cognitio, São Paulo, 2014.

WONG, P. K.; CHANG, L. **Effects Of Copper, chromium and nickel on growth, photosyntgesis and chlorophyll a synthesis of Chlorella pyrenoidosa 251.** Environmental Pollution, 72: 127-139, 1991.

ZANONE, Vanda Alice Garcia; SANCHEZ, José Manoel Morales; **Sistemas construtivos inovadores: uma abordagem analítica a partir das diretrizes e dos documentos de avaliação técnica do SINAT.** XIV ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juíz de Fora, outubro de 2012.

APÊNDICE A – CONSUMO ENERGÉTICO MATERIAIS

Tabela A1 - Consumo Energético Blocos

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Un...
▷ F crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	2.89214E4	MJ
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	7.24469E-5	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	5.91288	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	5120.84351	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	950.36985	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	562.59604	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	0.00340	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A2 - Consumo Energético Cimento

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Unid...
▷ F crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	3959.99185	MJ
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	1.03432E-5	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	13.64345	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	30.91599	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	261.64130	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	39.01452	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	1.08945E-5	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A3 - Consumo Energético Areia

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Unid...
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	1.21174E-6	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	1.25650	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	5.25900	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	31.46005	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	6.08706	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	1.50852E-6	kg
▷ F Gold	Resource	in ground	1.24397E-10	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A4 - Consumo Energético Cal

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Unid...
▷ Diatomite, in ground	Resource	in ground	2.29389E-9	kg
▷ Dolomite, in ground	Resource	in ground	0.01693	kg
▷ Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	38.67995	MJ
▷ Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	675.53312	MJ
▷ Energy, primary, from water power	Resource	in water	1071.75061	MJ
▷ Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00151	MJ
▷ Energy, primary, from wind power	Resource	in air	556.27427	MJ
▷ Feldspar, in ground	Resource	in ground	6.94273E-9	kg
▷ Fluorine	Resource	in ground	0.03407	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A5 - Consumo Energético Aço

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Unid...
▷ crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	1257.68758	MJ
▷ Dolomite, in ground	Resource	in ground	8.80056	kg
▷ Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	4.54723	MJ
▷ Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	114.99184	MJ
▷ Energy, primary, from water power	Resource	in water	964.20164	MJ
▷ Energy, primary, from waves	Resource	in water	-5.08461E-5	MJ
▷ Energy, primary, from wind power	Resource	in air	78.53891	MJ
▷ Feldspar, in ground	Resource	in ground	-3.79191E-22	kg
▷ Fluorspar	Resource	in ground	0.00548	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A6 - Consumo Energético Drywall

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Unid...
▷ crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	568.46109	MJ
▷ Dolomite, in ground	Resource	in ground	1.77660E-6	kg
▷ Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	0.08708	MJ
▷ Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	282.38340	MJ
▷ Energy, primary, from water power	Resource	in water	34.38633	MJ
▷ Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ Energy, primary, from wind power	Resource	in air	14.14098	MJ
▷ Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ Fluorspar	Resource	in ground	0.00095	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A7 - Consumo Energético Fitas

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...	R	C	T	G	F	^
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	5.77186E-7	kg						
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	0.00000	MJ						
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg						
▷ F Fluorine	Resource	in ground	5.85743E-8	kg						

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A8 - Consumo Energético Chapa OSB

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...	R	C	T	G	F	^
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	1.42320E-5	kg						
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	9.35649	MJ						
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	4.39289E4	MJ						
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	252.76990	MJ						
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	74.75537	MJ						
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg						
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	1.95051E-5	kg						

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A9 - Consumo Energético Lã de Vidro

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...	R	C	T	G	F	^
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	23.16247	kg						
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	13.89535	MJ						
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	387.63704	MJ						
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	361.11102	MJ						
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ						
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	81.59241	MJ						
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg						
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	0.12766	kg						
▷ F Gold	Resource	in ground	3.69613E-8	kg						

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A10 - Consumo Energético Membrana Hidrofuga

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	7.26405E-7	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	0.61719	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	2.63740	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	16.42630	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	3.22018	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	8.53306E-7	kg
▷ F Gold	Resource	in ground	5.98378E-11	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A11 - Consumo Energético Chapa EPS

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...
▷ F crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	4.63559E4	MJ
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	0.00455	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	15.44051	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	0.07285	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	271.57775	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.53894	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	9.86201	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	2.95402E-13	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	0.01556	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela A12 - Consumo Energético Tela Fibra de Vidro

▼ Entradas

Don't show < 1 %

Nome	Categoria	Subcategoria	Quantidade	Uni...
▷ F crude oil; 42.3 MJ/kg	Resource	in ground	2620.98639	MJ
▷ F Dolomite, in ground	Resource	in ground	3.20900E-6	kg
▷ F Energy, primary, from geothermal	Resource	in ground	2.95117	MJ
▷ F Energy, primary, from solar energy	Resource	in air	12.13709	MJ
▷ F Energy, primary, from water power	Resource	in water	74.59008	MJ
▷ F Energy, primary, from waves	Resource	in water	0.00000	MJ
▷ F Energy, primary, from wind power	Resource	in air	14.84084	MJ
▷ F Feldspar, in ground	Resource	in ground	0.00000	kg
▷ F Fluorspar	Resource	in ground	3.73086E-6	kg

Fonte: OpenLCA, (2021).

APÊNDICE B – ENTRADA FLUXO MATERIAIS

Tabela B1 – Entrada Fluxo Blocos

P Entradas/Saídas: Fluxo Blocos

▼ Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
F ₂ electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	6639.00000	MJ
F ₂ lightweight concrete block	Systems/Construction	3.09680E4	kg
F ₂ transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	30.968*37	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B2 – Entrada Fluxo Cimento

P Entradas/Saídas: Cimento

▼ Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
F ₂ electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	345.25000	MJ
F ₂ portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	2269.00000	kg
F ₂ transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	2.269*1929	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B3 – Entrada Fluxo Areia

P Entradas/Saídas: Areia

▼ Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
F ₂ electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	44.06000	MJ
F ₂ sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	1.92140E4	kg
F ₂ transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	19.214*198	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B4 – Entrada Fluxo Cal

P Entradas/Saídas: Fluxo Cal Novo

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	2342.00000	MJ
PCC dry	Materials production/Other mineral materials	3284.23000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	3.284*600	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B5 – Entrada Fluxo Aço

P Entradas/Saídas: Fluxo Aço

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	1162.27000	MJ
Steel hot-dip galvanised coil	Materials production/Metals and semimetals	867.50000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	0.628*110	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B6 – Entrada Fluxo Drywall

P Entradas/Saídas: Fluxo Drywall

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	331.00000	MJ
Gypsum plasterboard	Systems/Construction	1728.00000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	1.728*3850	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B7 – Entrada Fluxo Fitas

Entradas/Saídas: Fluxo Fitas

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	0.00000	MJ
Graphic paper (typical European)	Materials production/Paper and cardboards	3.40000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	0.0034*110	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B8 – Entrada Fluxo OSB

Entradas/Saídas: Fluxo OSB

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	4.37030E4	MJ
particle board - BR	Systems/Construction	2101.20000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	2.1012*686	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B9 – Entrada Fluxo Lã de Vidro

Entradas/Saídas: Fluxo Lã de vidro

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	844.00000	MJ
glass wool	Systems/Construction	276.50000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	0.276*110	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B10 – Entrada Fluxo Membrana Hidrófuga

Entradas/Saídas: Fluxo Membrana

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	22.90000	MJ
polypropylene fibres (PP)	Materials production/Plastics	22.50000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	0.0225*2880	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B11 – Entrada Fluxo EPS

Entradas/Saídas: Fluxo EPS

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	297.50000	MJ
polystyrene expandable granulate (EPS)	Materials production/Plastics	1050.00000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	102*1.050	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela B11 – Entrada Fluxo Tela Fibra de Vidro

Entradas/Saídas: Fluxo Tela Fibra de Vidro

Entradas

Fluxo	Categoria	Quantidade	Unidade
electricity from hydroelectric power plant - BR	Energy carriers and technologies/Electricity	104.50000	MJ
polyamide 6.6 fibres (PA 6.6)	Materials production/Plastics	27.60000	kg
transport in t*km - BR	Transport services/Other transport	.0276*110	t*km

Fonte: OpenLCA, (2021).

APÊNDICE C – ANÁLISE IMPACTOS MATERIAIS

Tabela C1 – Análise Impacto Blocos

Fluxo Blocos

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade					
▶ Human toxicity - HTP inf	282.32281	kg 1,4-dichlorobenzene eq.					
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	4.66031	kg 1,4-dichlorobenzene eq.					
▶ Photochemical oxidation - high Nox	2.74888	kg ethylene eq.					
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	0.00027	kg CFC-11 eq.					
▶ Climate change - GWP100	7679.11597	kg CO2 eq.					
▶ Eutrophication - generic	3.16273	kg PO4--- eq.					
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	8.12333	kg 1,4-dichlorobenzene eq.					
▶ Acidification potential - average Europe	41.41323	kg SO2 eq.					
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.44795E6	kg 1,4-dichlorobenzene eq.					
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00397	kg antimony eq.					
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	7.04885E4	MJ					

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C2 – Análise Impacto Cimento

Cimento

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade						
▶ Human toxicity - HTP inf	77.35178	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.81738	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.58076	kg ethylene eq.						
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	0.00010	kg CFC-11 eq.						
▶ Climate change - GWP100	2650.50810	kg CO2 eq.						
▶ Eutrophication - generic	1.21945	kg PO4--- eq.						
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	2.28235	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Acidification potential - average Europe	7.75652	kg SO2 eq.						
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.36927E5	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	7.00065E-5	kg antimony eq.						
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1.62220E4	MJ						

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C3 – Análise Impacto Areia

Areia

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do imp...	Unidade						
▶ Human toxicity - HTP inf	11.02029	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.15788	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.10719	kg ethylene eq.						
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	7.87221E-6	kg CFC-11 eq.						
▶ Climate change - GWP100	297.79247	kg CO2 eq.						
▶ Eutrophication - generic	0.31378	kg PO4--- eq.						
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.10191	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Acidification potential - average Europe	1.54816	kg SO2 eq.						
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.47922E4	kg 1,4-dichlorobenzene eq.						
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	1.81958E-5	kg antimony eq.						
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	4067.41223	MJ						

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C4 – Análise Impacto Cal

Fluxo Cal Novo

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade
▶ Human toxicity - HTP inf	100.23171	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	6.53976	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.78323	kg ethylene eq.
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	1.98072E-5	kg CFC-11 eq.
▶ Climate change - GWP100	2657.75547	kg CO2 eq.
▶ Eutrophication - generic	1690.76965	kg PO4--- eq.
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	3.83298	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
▶ Acidification potential - average Europe	7.81105	kg SO2 eq.
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	2.12200E5	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00034	kg antimony eq.
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	3.62743E4	MJ

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C5 – Análise Impacto Perfil de Aço

Fluxo Aço

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do impacto	Unidade
▶ Human toxicity - HTP inf	101.33975	kg 1,4-dichlorobenzene ...
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	1.14806	kg 1,4-dichlorobenzene ...
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.46969	kg ethylene eq.
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	5.77447E-5	kg CFC-11 eq.
▶ Climate change - GWP100	1200.30305	kg CO2 eq.
▶ Eutrophication - generic	0.37654	kg PO4--- eq.
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	3.43431	kg 1,4-dichlorobenzene ...
▶ Acidification potential - average Europe	4.17691	kg SO2 eq.
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	3.41051E5	kg 1,4-dichlorobenzene ...
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.03784	kg antimony eq.
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1.21844E4	MJ

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C6 – Análise Impacto Drywall

Fluxo Drywall

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do impacto	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	43.06118	kg 1,4-dichlorobenzene ...			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.90378	kg 1,4-dichlorobenzene ...			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.36622	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	2.99367E-5	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	1254.19214	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	1.13184	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.79996	kg 1,4-dichlorobenzene ...			
▶ Acidification potential - average Europe	5.01814	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	2.03292E4	kg 1,4-dichlorobenzene ...			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00016	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1.78649E4	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C7 – Análise Impacto Fitas

Fluxo Fitas

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do imp...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	3.40819	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.39471	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	-0.00313	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	6.71004E-8	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	-0.37190	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.04533	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.37464	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	0.01095	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1066.71527	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	6.11267E-8	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	34.62346	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C8 – Análise Impacto OSB

Fluxo OSB

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	56.12117	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	2.63296	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.43550	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	6.78889E-5	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	-2224.26882	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.79201	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	1.47610	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	5.13091	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.12046E5	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00063	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1.88569E4	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C9 – Análise Impacto Lã de Vidro

Fluxo Lã de vidro

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	34.95735	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	1.05284	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.23371	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	8.77067E-5	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	743.81284	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.73422	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.51371	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	3.85711	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.37934E5	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00186	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1.00887E4	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C10 – Análise Impacto Membrana Hidrofuga

Fluxo Membrana

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do i...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	2.55283	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.16118	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.01831	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	3.77128E-6	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	61.29703	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.47619	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.05124	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	0.24455	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	7333.97354	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	1.80989E-5	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	1919.25171	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C11 – Análise Impacto EPS

Fluxo EPS

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do impa...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	178.75213	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	3.00148	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.58552	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	3.63016E-8	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	2681.02154	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.89955	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	6.63512	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	7.52672	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	5.24539E4	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	0.00036	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	6.73184E4	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).

Tabela C12– Análise Impacto Fita de Fibra de Vidro

Fluxo Tela Fibra de Vidro

Análise de impactos: CML (baseline) [v4.4, January 2015]

Subgrupo por processos Don't show < 1 %

Nome	Resultado do impa...	Unidade			
▶ Human toxicity - HTP inf	8.92786	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	0.34968	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Photochemical oxidation - high Nox	0.06580	kg ethylene eq.			
▶ Ozone layer depletion - ODP steady state	1.72784E-5	kg CFC-11 eq.			
▶ Climate change - GWP100	307.11726	kg CO2 eq.			
▶ Eutrophication - generic	0.21237	kg PO4--- eq.			
▶ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	0.14735	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Acidification potential - average Europe	1.03825	kg SO2 eq.			
▶ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	2.77458E4	kg 1,4-dichlorobenzene eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves	7.09849E-5	kg antimony eq.			
▶ Depletion of abiotic resources - fossil fuels	4813.11464	MJ			

Fonte: OpenLCA, (2021).