

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS – PPGCEM
DOUTORADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

ANGELA WATERKEMPER VIEIRA

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

CRICIÚMA

2022

ANGELA WATERKEMPER VIEIRA

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elidio Angioletto

Co-orientador: Prof. Dr. Manuel Ribeiro

CRICIÚMA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

V658a Vieira, Angela Waterkemper.

Análise do ciclo de vida de revestimento cerâmico
/ Angela Waterkemper Vieira. - 2022.
308 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo Sul
Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência
e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2022.

Orientação: Elidio Angioletto.

Coorientação: Manuel Ribeiro.

1. Impacto ambiental - Avaliação. 2.
Revestimento cerâmico - Aspectos ambientais. 3.
Avaliação do ciclo de vida. 4. Sustentabilidade.
I. Título.

CDD 23. ed. 333.714

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

Angela Waterkemper Vieira

Análise do ciclo de vida de revestimento cerâmico

Esta Tese de Doutorado – TD foi julgada adequada à obtenção do grau de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 06 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ADRIANO MICHAEL BERNARDIN
Data: 11/07/2023 10:57:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

Documento assinado digitalmente
 SABRINA ARCARO
Data: 13/07/2023 15:11:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Sabrina Arcaro
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Anselmo Ortega Boschi
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR

 Documento assinado digitalmente
Joao Batista Rodrigues Neto
Data: 13/07/2023 14:29:16-0300
CPF: ***.810.989-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. João Batista Rodrigues Neto
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Às pessoas especiais em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Inicio meus agradecimentos a DEUS, já que Ele colocou pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta!

Ao meu pai, Lúcio, que hoje não se encontra mais neste plano, mas está sempre comigo, em todos os momentos da vida, e à minha mãe Clara, por sempre se orgulharem de mim e confiarem em meu trabalho.

Ao meu marido, Cesar, pelo apoio, companheirismo e amor.

Ao pequeno Vinícius, meu maior presente, que me inspira a querer ser mais que fui até hoje!

À empresa Eliane S/A Revestimentos Cerâmicos, pela parceria no desenvolvimento deste projeto.

Aos funcionários do departamento de tecnologia da Eliane, em especial à Laura Savi Rosso, Aline Demarch e Djeisa Pasini, que sempre me ajudaram e confiaram em meu trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro para realização desse trabalho.

Aos gestores do setor onde trabalho, Paulo Ricardo Marques Mendonça e Sérgio Pereira Ruzza, e ao ex-gestor Otmar Josef Müller, pelo incentivo e concessões necessárias para a realização do trabalho.

Ao meu orientador Elidio Angioletto e ao coorientador Manuel Ribeiro, por todos os esclarecimentos e paciência.

Aos professores do PPGCEM pelo conhecimento transmitido.

Aos membros da banca avaliadora.

Muito obrigada a todos.

“Os defeitos não são gratuitos. Alguém os produz e são pagos por eles. Sem dados você é apenas uma pessoa qualquer com uma opinião.”

William Edwards Deming

RESUMO

O aumento da procura de construções sustentáveis, ambientalmente responsáveis e legislações mais restritivas, tornou imprescindível a utilização de métodos que permitam a avaliação de práticas sustentáveis de uma empresa. Uma metodologia mundialmente reconhecida é a avaliação do ciclo de vida (ACV), a qual permite abordar os aspectos ambientais de um produto e seu impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida, porém no Brasil, a mesma ainda é pouco utilizada. O principal objetivo deste trabalho foi determinar o desempenho ambiental, por meio da metodologia de ACV, das placas cerâmicas produzidas pelo processo via úmida, desde a extração da matéria-prima até o descarte final do produto. A aplicação desta deu-se pela definição do objetivo e escopo do estudo, coleta de dados e análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados. A análise dos resultados foi realizada por meio dos indicadores de impacto fornecidos pelo software SimaPro. Os resultados mostraram que o maior impacto ocorre durante a fabricação do produto, ou seja, do berço ao portão, no qual a etapa de preparação de massa, que compreende desde a coleta das matérias-primas até a produção do pó atomizado, contribuiu com a maior parte do impacto em 7 das 11 categorias de impactos avaliadas. Esta alta contribuição teve como principal influência o consumo e transporte de algumas matérias-primas e combustíveis para geração de energia térmica. Em relação à etapa do portão ao túmulo, que compreende do portão da fábrica até o descarte final do produto, o maior impacto foi causado pelo transporte dos revestimentos cerâmicos até o cliente, variando de 49% a 83% de contribuição no impacto ambiental, a depender da categoria de impacto avaliada, e em segundo lugar pela instalação do produto, variando de 8% a 44% de contribuição, devido ao consumo de argamassa para assentamento. Além disso, ao avaliar os principais benefícios e impactos evitados, percebeu-se que em cerca de 80% das categorias de impacto avaliadas, estes foram provenientes da reciclagem e reutilização dos resíduos de revestimentos cerâmicos gerados do portão ao túmulo. Desta forma, esse estudo de ACV foi capaz de indicar áreas prioritárias que requerem a implantação de ações que levem ao objetivo desejado, para que futuramente seja possível agir na redução dos impactos.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida, revestimento cerâmico, impactos ambientais, sustentabilidade, indicadores.

ABSTRACT

The increase in demand for sustainable, environmentally responsible buildings and more restrictive legislation has made it essential to use tools that allow the assessment of sustainable practices in a company. A globally recognized methodology is the life cycle assessment (LCA), which allows addressing the environmental aspects of a product and its environmental impact throughout its life cycle, but in Brazil, it is still little used. The main objective of this work was to determine the environmental performance, through the LCA methodology, of the ceramic tiles produced by the wet process, from the extraction of the raw material to the final disposal of the product. Its application was based on the definition of the objective and scope of the study, data collection and inventory analysis, impact assessment and interpretation of results. The analysis of the results was carried out using the impact indicators provided by the SimaPro software. The results showed that the greatest impact occurs during the manufacture of the product, that is, from the cradle to the gate, in which the mass preparation stage, which ranges from the collection of raw materials to the production of atomized powder, contributed with most of the impact in 7 of the 11 categories of impacts evaluated. This high contribution was mainly influenced by the consumption and transport of some raw materials and fuels for the generation of thermal energy. Regarding the gate to the grave, which comprises the factory gate to the final disposal of the product, the greatest impact was caused by the transport of ceramic tiles to the customer, ranging from 49% to 83% contribution to the environmental impact, depending on the assessed impact category, and secondly by product installation, ranging from 8% to 44% contribution, due to the consumption of mortar for laying. In addition, when evaluating the main benefits and impacts avoided, it was noticed that in about 80% of the evaluated impact categories, these came from the recycling and reuse of ceramic tile residues generated from the gate to the tomb. In this way, this LCA study was able to indicate priority areas that require the implementation of actions that lead to the desired objective, so that in the future it is possible to act to reduce impacts.

Keywords: Life cycle assessment, ceramic tile, environmental impacts, sustainability, indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Histórico das publicações na base de dados do ScienceDirect	26
Figura 2 - Regionalização dos estudos de sustentabilidade analisados.	27
Figura 3 - Mapa da cobertura geográfica das redes ACV	28
Figura 4 - Fases de uma ACV	30
Figura 5 - Fronteiras do Sistema	33
Figura 6 - Softwares utilizados nos trabalhos publicados em artigos	43
Figura 7 - Metodologia de avaliação de impacto	45
Figura 8 - Fatores de Impacto	48
Figura 9 - Esquema do processo aquecimento global por "efeito estufa"	50
Figura 10 - Esquema do potencial de acidificação	52
Figura 11 - Figura exemplificativa de extração de recursos fósseis	53
Figura 12 - Esquema do processo de destruição da camada de ozônio	54
Figura 13 - Esquema de formação de ozônio fotoquímico	55
Figura 14 - Esquema do processo de eutrofização	58
Figura 15 – Etapas do procedimento	69
Figura 16 – Limites do sistema.....	75
Figura 17 - Fontes de água referente ao ano de 2019	98
Figura 18 - Esquema das ETes	103
Figura 19 – Captura de tela da modelagem da etapa de preparação e armazenamento de massa (pó atomizado) no software SimaPro	135
Figura 20 – Gráfico de impactos ambientais do berço ao portão obtido por meio do software SimaPro	139
Figura 21 – Gráfico de impactos ambientais do portão ao túmulo obtido por meio do software SimaPro	141
Figura 22 – Esquema referente ao potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro	145
Figura 23 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados de potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) - do berço ao portão	146

Figura 24 – Esquema referente ao potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro	148
Figura 25 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados do potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do berço ao portão	149
Figura 26 – Esquema referente ao potencial de aquecimento global (GWP) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro.....	150
Figura 27 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados do potencial de aquecimento global (GWP) – do berço ao portão (GWP)	151
Figura 28 – Esquema referente à destruição da camada de ozônio (ODP) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro.....	152
Figura 29 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados da destruição da camada de ozônio (ODP) – do berço ao portão	153
Figura 30 – Esquema referente à toxicidade humana (TH) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro.....	155
Figura 31 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática da água doce (FWAE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	156
Figura 32 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática marinha (MAE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	157
Figura 33 – Esquema referente à ecotoxicidade terrestre (TE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	159
Figura 34 – Esquema referente à oxidação fotoquímica (OF) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	160
Figura 35 – Esquema referente à acidificação (AP) – do berço ao portão, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	161
Figura 36 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados referentes à acidificação (AP) – do berço ao portão	162
Figura 37 – Esquema referente à eutrofização (EP) – do berço ao portão, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	163
Figura 38 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados referentes à eutrofização (EP) – do berço ao portão.....	164

Figura 39 – Esquema referente ao potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) (ADPE) – do portão ao túmulo obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro.....	165
Figura 40 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) – do portão ao túmulo	167
Figura 41 – Esquema referente ao potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	168
Figura 42 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do portão ao túmulo	169
Figura 43 – Esquema referente ao potencial de aquecimento global (GWP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	170
Figura 44 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de aquecimento global (GWP) – do portão ao túmulo	171
Figura 45 – Esquema referente à destruição da camada de ozônio (ODP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	172
Figura 46 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de destruição da camada de ozônio (ODP) – do portão ao túmulo.....	173
Figura 47 – Esquema referente à toxicidade humana (TH) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	174
Figura 48 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática de água doce (FWAE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	175
Figura 49 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática marinha (MAE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro.....	176
Figura 50 – Esquema referente à ecotoxicidade terrestre (TE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	177
Figura 51 – Esquema referente à oxidação fotoquímica (OF) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	178

Figura 52 – Esquema referente à acidificação (AP) – do portão ao tmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	179
Figura 53 – Grfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de acidifica (AP) – do porto ao tmulo	180
Figura 54 – Esquema referente  eutrofiza (EP) – do porto ao tmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro	181
Figura 55 – Grfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de eutrofiza (EP) – do porto ao tmulo.....	182
Figura 56 – Grfico comparativo da influncia das etapas do bero ao porto (A1-A3) e do porto ao tmulo (A4-C4) no ciclo de vida completo do revestimento cermico.....	183
Figura 57 – Resultados do mdulo D	186
Figura 58 – Grfico comparativo entre estudos de ACV – mdulo D	187
Figura 59 - Mapeamento da unidade produtiva I.....	221
Figura 60 - Mapeamento da unidade produtiva II.....	222
Figura 61 - Mapeamento da unidade produtiva III.....	223
Figura 62 - Mapeamento da unidade produtiva IV	224
Figura 63 - Mapeamento da unidade produtiva V	225
Figura 64 – Resultados referentes a central de compostagem de esmalte e engobe (CCE)	288
Figura 65 – Resultados referentes a preparao de esmalte e engobe	289
Figura 66 – Resultados referentes a preparao de massa.....	290
Figura 67 – Resultados referentes a prensagem	291
Figura 68 – Resultados referentes a secagem.....	291
Figura 69 – Resultados referentes a esmaltao	292
Figura 70 – Resultados referentes a queima.....	292
Figura 71 – Resultados referentes a retfica.....	293
Figura 72 – Resultados referentes a polimento.....	293
Figura 73 – Resultados referentes a ponto de cola.....	294
Figura 74 – Resultados referentes a classificao e embalagem	294
Figura 75 – Resultados referentes a Preparao de peas especiais	295
Figura 76 – Resultados referentes a gesto de resduos.....	295
Figura 77 – Resultados referentes a estao de tratamento de efluentes	296
Figura 78 – Resultados referentes ao mdulo A4	296

Figura 79 – Resultados referentes ao módulo A5	297
Figura 80 – Resultados referentes ao módulo B2	297
Figura 81 – Resultados referentes ao módulo C2	298
Figura 82 – Resultados referentes ao módulo C3	298
Figura 83 – Resultados referentes ao módulo C4	299

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de pedigree de qualidade de dados.....	37
Tabela 2 – Nível geral de qualificação de dados de acordo com a classificação de qualidade de dados alcançada.....	38
Tabela 3 - Fatores de impacto e suas metodologias utilizando a base de dados do Software SimaPro	46
Tabela 4 - Resumo das categorias de impacto	49
Tabela 5 - Classificação dos revestimentos cerâmicos	70
Tabela 6 - Normas e especificações usadas para o controle dos revestimentos cerâmicos produzidos na empresa	72
Tabela 7 - Utilização de combustíveis por setor	82
Tabela 8 - Resíduos gerados e suas destinações.....	87
Tabela 9 - Agrupamento das matérias-primas utilizadas na massa	89
Tabela 10 - Agrupamento de matérias-primas bases para esmaltes e engobes (cobertura) produzidos na própria empresa	93
Tabela 11 - Representatividade das matérias-primas bases para esmaltes e engobes (cobertura) produzidos na própria empresa.	94
Tabela 12 - Formulação “fictícia”	96
Tabela 13 – Distribuição do percentual de consumo de água em diferentes setores das unidade por meio de estimativa.....	99
Tabela 14 – Informações solicitadas sobre as características de diferentes tipos de embalagem	102
Tabela 15 - Cenários padrão para o módulo A5.....	113
Tabela 16 - Cenário nacional de resíduos de embalagem	114
Tabela 17 - Utilização de materiais de manutenção.....	115
Tabela 18 – Bancos de dados que foram utilizados diretamente no software SimaPro, (do berço ao portão – A1-A3)	123
Tabela 19 – Bancos de dados utilizados diretamente (Portão ao túmulo – A4-C4)	128
Tabela 20 – Bancos de dados utilizados diretamente (Módulo D)	130
Tabela 21 – Bancos de dados complementares	131
Tabela 22 – Documentos (EPDs e ACVs) utilizados para comparação	143
Tabela 23 – Resultados do módulo D (declaração das cargas ambientais resultantes de materiais recicláveis).....	185

Tabela 24 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva I	226
Tabela 25 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva II	233
Tabela 26 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva III	243
Tabela 27 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva IV	252
Tabela 28 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva V	260
Tabela 29 - Resultados referentes a central de compostagem de esmalte e engobe (CCE)	274
Tabela 30 - Resultados referentes a preparação de esmalte e engobe	275
Tabela 31 - Resultados referentes a preparação de massa.....	275
Tabela 32 - Resultados referentes a prensagem	276
Tabela 33 – Resultados referentes a secagem	276
Tabela 34 - Resultados referentes a esmaltação	277
Tabela 35 – Resultados referentes a queima.....	277
Tabela 36 – Resultados referentes a retífica.....	278
Tabela 37 – Resultados referentes a polimento	278
Tabela 38 - Resultados referentes a ponto de cola.....	279
Tabela 39 - Resultados referentes a classificação e embalagem	280
Tabela 40 - Resultados referentes a Preparação de peças especiais	281
Tabela 41 - Resultados referentes a gestão de resíduos.....	282
Tabela 42 - Resultados referentes a estação de tratamento de efluentes	283
Tabela 43 - Resultados referentes ao módulo A4 (Transporte do portão da fábrica ao cliente).....	284
Tabela 44 - Resultados referentes ao módulo A5 (Instalação e processamento de resíduos de embalagem).....	285
Tabela 45 - Resultados referentes ao módulo B2 (Manutenção dos revestimentos instalados).....	286
Tabela 46 - Resultados referentes ao módulo C2 (Transporte dos revestimentos descartados)	286
Tabela 47 - Resultados referentes ao módulo C3 (Processo de reciclagem dos revestimentos pós uso)	287
Tabela 48 - Resultados referentes ao módulo C4 (Disposição ao aterro - fim de vida)	287
Tabela 49 (S1) - Resultado das pesquisas realizada com 85 artigos.....	301

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACV: Avaliação do Ciclo de Vida;
ADPE: Potencial de Esgotamento de Recursos Abióticos (Recursos Não Fósseis);
ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (Recursos Fósseis);
AICV: Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida;
AP: Acidificação;
CCE: Central de Compostagem de Esmaltes;
CMC: Carboxi Metil Celulose;
COV: Composto Orgânico Volátil;
EP: Eutrofização.
EPD: Declaração Ambiental de Produto (do Inglês Environmental Product Declarations);
ETA: Estação de Tratamento de Água;
ETE: Estação de Tratamento de Efluentes;
EUA: Estados Unidos da América;
FWAE: Ecotoxicidade Aquática de Água Doce;
GN: Gás Natural;
GWP: Potencial de Aquecimento Global;
ICV: Inventário do Ciclo de Vida;
IBU: Institut Bauen und Umwelt;
IRP: *Ionizing Radiation Potential*;
ISO: Organização Internacional de Normatização (do Inglês International Organization For Standardization);
LCA: *Life Cycle Analysis*;
MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha;
MP: Material Particulado;
NBR: Norma Técnica Brasileira;
ODP: Destruição da Camada de Ozônio;
OF: Oxidação Fotoquímica;
P&D: Pesquisa e Desenvolvimento;
PCR: Regra de Categoria de Produto (Do Inglês Product Category Rules);
PM: *Particulate Matter*;

SQP: *Soil Quality Potential*;

TH: Toxicidade Humana;

TPF: Tripolifosfato de Sódio.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1.	OBJETIVOS.....	23
1.1.1.	Objetivo geral	23
1.1.2.	Objetivos específicos	23
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1.	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	24
2.1.1	Histórico.....	25
2.1.2.	Padronização / Normatização	28
2.1.3.	Estrutura e etapas de uma ACV	29
2.2.	INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	60
2.2.1.	Produtos	61
2.2.2.	Processo Produtivo – via úmida.....	61
2.2.3.	Panorama do Setor	68
3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	69
3.1.	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	70
3.1.1.	Objetivos.....	70
3.1.2.	Escopo	71
3.2.	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – BERÇO AO PORTÃO (A1-A3).....	78
3.2.1.	Mapeamento de todas as unidades.....	78
3.2.2.	Relatório de entradas e saídas	78
3.2.3.	Coleta de dados comuns entre as unidades	78
3.2.4.	Coleta de dados específicos por setor.....	88
3.3.	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – DO PORTÃO AO TÚMULO (A4-C4).....	111

3.3.1.	Módulo A4.....	111
3.3.2.	Módulo A5.....	113
3.3.3.	Módulo B2.....	114
3.3.4.	Módulo C2.....	115
3.3.5.	Módulo C3.....	116
3.3.6.	Módulo C4.....	117
3.4.	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – MÓDULO D	118
3.5.	ALIMENTAÇÃO DO SOFTWARE SIMAPRO COM DADOS DO INVENTÁRIO	120
3.5.1.	Informações gerais	120
3.5.2.	Informações específicas.....	121
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	136
4.1.	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	136
4.1.1.	Qualidade dos dados fornecida pela matriz <i>pedigree</i>	136
4.1.2.	Impactos analisados no estudo do berço ao túmulo.....	137
4.1.3.	Benefícios e cargas além do limite do sistema de produtos (Módulo D)	184
5.	CONCLUSÃO.....	189
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	192
	REFERÊNCIAS.....	193
	ANEXO A – MATERIAIS EXTRAS.....	221
	A.1 MAPEAMENTO DAS UNIDADES PRODUTIVAS	221
	A.2 RELATÓRIOS DE ENTRADAS E SAÍDAS.....	226
	ANEXO B – TABELAS E GRÁFICOS DE RESULTADOS	274
	MATERIAIS SUPLEMENTARES	301

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção tem contribuído consideravelmente para a escassez de recursos naturais, bem como impactos consideráveis no meio ambiente. Este setor é o que consome o maior volume de matérias-primas naturais (KORONEOS E DOMPROS, 2007; VAN STIJN *et al.*, 2021). Em 2019, o setor da construção foi responsável por 39% das emissões globais de CO₂, das quais 11% são provenientes da fabricação de materiais de construção (IVANICA *et al.*, 2022).

À medida que a demanda por edifícios ambientalmente responsáveis continua a crescer, as leis e regulamentos têm exigências mais rigorosas para questões ambientais, pesquisadores têm apresentado um crescente interesse em inovação ecológica (BOVEA *et al.*, 2007; IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2011; MORALES *et al.*, 2019; ORTIZ *et al.*, 2009; GARCÍA-MUIÑA *et al.* 2021). O crescimento econômico é diretamente dependente da inovação, mas, ao mesmo tempo, costuma estar associado a danos ambientais. O uso adequado de matérias-primas, energia eficiente, implementação de fontes renováveis de materiais e energia e o controle da poluição atmosférica são alguns desafios enfrentados pelas indústrias (BOSSLE *et al.*, 2016; LOZANO, 2012; HAMMES *et al.*, 2020).

Dentro da construção civil, o setor cerâmico se destaca (MORFINO *et al.*, 2022), com o Brasil ocupando a 3ª posição entre os maiores produtores de revestimentos cerâmicos do mundo. A título de exemplo, no ano de 2018 foram produzidos 795 milhões de metros quadrados de revestimentos, entre pisos e azulejos, para uma capacidade instalada de 1.064 milhões de metros quadrados. As vendas internas totais atingiram 694,5 milhões de metros quadrados. Em 2021 as vendas no mercado interno atingiram 901 milhões de m² (ANFACER, 2022).

Portanto, é necessária uma metodologia para avaliar o comportamento ambiental desses fatores (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2011). Como resultado, muitos estudos e pesquisas têm destacado a ACV como prática de ecoinovação de produto (KLEWITZ e HANSEN, 2014; TRIGUERO *et al.*, 2013). Essa é uma metodologia mundialmente reconhecida para abordar os aspectos ambientais de um produto e seu impacto ambiental global ao longo de seu ciclo de vida (DE BENEDETTO e KLEMEŠ, 2009). Uma das principais vantagens da utilização desta metodologia é a possibilidade de obter resultados quantitativos de cargas ambientais relacionadas a um produto ou

serviço durante todas as etapas do ciclo de vida, identificando áreas de melhoria (GRUBERT, 2021).

Neste novo cenário complexo, é necessário concentrar esforços nos ramos de P&D (pesquisa e desenvolvimento) para encontrar estratégias que reduzam a necessidade de recursos naturais e, conseqüentemente, os impactos ambientais, a fim de manter a aceitação e a competitividade industrial (GABALDÓN- ESTEVAN *et al.*, 2014; MONFORT *et al.*, 2014), principalmente no Brasil, onde ainda existem poucos estudos relacionados com este tema.

Portanto, o presente trabalho foi pioneiro em obter uma ACV de uma indústria de revestimentos cerâmicos brasileira com dados primários, isto é, dados coletados dentro da própria empresa, englobando todas as suas 5 unidades produtivas e todos os seus produtos, considerando desde a extração da matéria-prima até o descarte final do produto.

Para este fim, foi realizada uma revisão da metodologia ACV no setor cerâmico para melhor compreender este novo cenário. Após essa revisão, a ferramenta foi aplicada seguindo algumas etapas, dentre elas, destaca-se uma ampla coleta de dados, modelagem destes no software SimaPro, criação de alguns bancos de dados que representassem a realidade da empresa em estudo e obtenção de indicadores, podendo ser utilizados como fonte de dados nacionais para outros estudos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Traçar o desempenho ambiental por meio da metodologia de avaliação do ciclo de vida das placas cerâmicas produzidas pelo processo via úmida, com base no inventário de dados do processo produtivo de uma empresa brasileira fabricante de revestimentos cerâmicos, desde a etapa de extração de matéria-prima até o descarte final do produto.

1.1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral da proposta, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Delimitar a fronteira de avaliação do ciclo de vida dos revestimentos cerâmicos;
- Estabelecer procedimentos metodológicos para a realização do inventário das etapas produtivas;
- Realizar o inventário de entradas e saídas, por meio de um levantamento de dados associados à produção de revestimentos cerâmicos de uma indústria brasileira e verificar a qualidade dos mesmos;
- Avaliar quais os principais impactos ambientais no processo de produção inventariado;
- Avaliar se há benefícios ou impactos evitados durante o ciclo de vida em estudo;
- Avaliar a necessidade de criação de bancos de dados que retratem a realidade da empresa cerâmica brasileira e disponibilizá-los futuramente no software para acesso mundial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste trabalho, inicialmente, foi realizada a avaliação da literatura para melhor compreender este cenário no setor cerâmico. Aproximadamente 95% da busca realizada e consequentemente das referências são de artigos científicos, os outros 5% foram livros, normas e teses. A plataforma *ScienceDirect* foi a principal plataforma de busca. Para isso, os principais termos de busca utilizados foram:

- Análise do ciclo de vida (ACV) - *Life cycle analysis (LCA)*;
- Avaliação do ciclo de vida (ACV) - *Life cycle assessment (LCA)*;
- Inventário do ciclo de vida (ICV) - *Life cycle inventory (ICV)*;
- Cerâmica - *Ceramic*;
- Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) - *Life cycle impact assessment (LCIA)*;
- ACV software - *LCA software*;
- Sustentabilidade - *Sustainability*;
- Qualidade de dados - *Data quality*;
- Métodos de avaliação de impacto - *Impact assessment methods*;

Foram selecionados 85 artigos para avaliação. Os artigos analisados são apresentados na Tabela S1 (materiais suplementares). Foi possível organizar os dados obtidos em forma de gráficos demonstrando o cenário atual dos estudos de ACV. Uma análise crítica foi realizada nos seguintes temas: regionalidade dos estudos, tipos de produtos estudados, fronteiras de sistema, softwares utilizados, metodologias de avaliação de impacto seguidas e os fatores de impacto avaliados.

2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma das mais conhecidas para a avaliação quantitativa de cargas ambientais, relacionadas a um produto ou serviço durante todas as etapas do ciclo de vida, identificando áreas de melhoria (CURRAN *et al.*, 2011; MORINI *et al.*, 2019; TULADHAR e YIN, 2019; CRAWFORD *et al.*, 2018; MAY e BRENNAN, 2003; GRUBERT, 2021).

Os resultados dessas avaliações também são frequentemente utilizados na tomada de decisões ambientais (MUTHU, 2014; OVIIR, 2016; MUAZU, ROTHMAN e MALTBY, 2021), como a escolha de um produto ou projeto específico em detrimento de outro, ou na informação e implementação de políticas de sustentabilidade (HELLWEG e CANALS, 2014; ZHANG e BISWAS, 2021). Portanto, para obter informações detalhadas e selecionar soluções adequadas para melhorar o desempenho ambiental, essa avaliação deve ser utilizada com qualidade e confiabilidade (CRAWFORD *et al.*, 2018).

2.1.1 Histórico

Atualmente, a literatura aborda a história da ACV e a divide em diferentes períodos.

Entre 1970 e 1990, denominadas décadas de concepção, surgiram discrepâncias devido à falta de comunicação internacional quanto às abordagens da ferramenta. Por outro lado, no período de 1990-2000, problemas na metodologia foram identificados e corrigidos, melhorando o desenvolvimento teórico da ferramenta (JACQUEMIN *et al.*, 2012; CHEN; MATTHEWS; GRIFFIN, 2021). Foi nessa época que o interesse aumentou dramaticamente, resultando no desenvolvimento e na maior harmonização de metodologias (BJØRN *et al.*, 2013; FINNVEDEN, 2000).

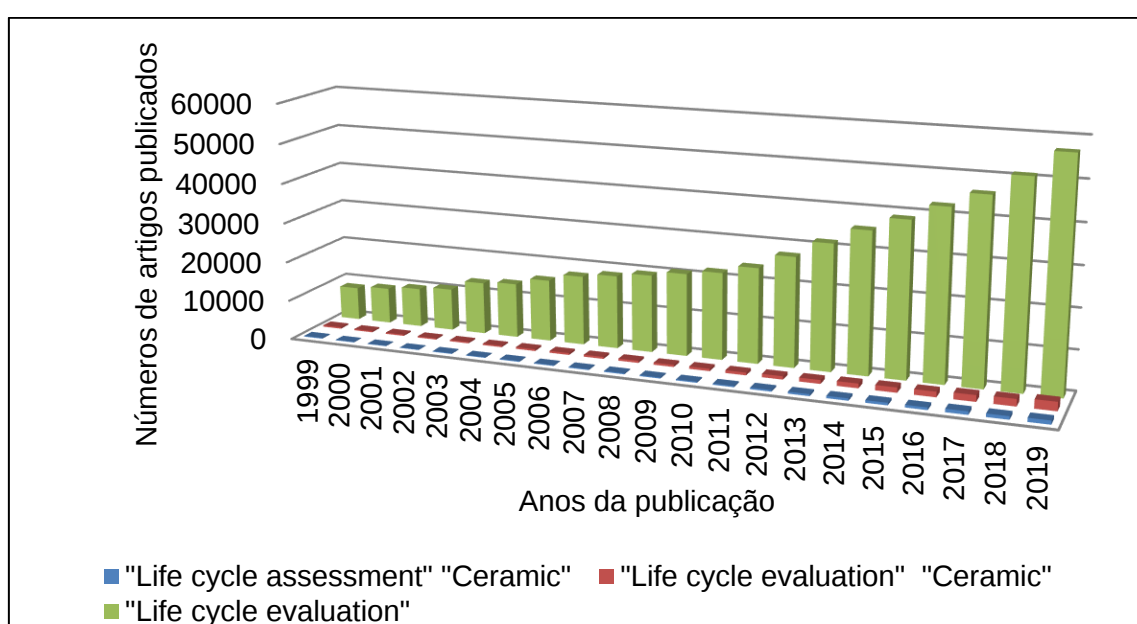
Durante o período 2000-2010, a ACV foi se tornando uma ferramenta difundida, apesar disso, novas divergências nas metodologias apareceram devido à falta de detalhamento da ISO. Para solucionar esse problema, nesta década foram atualizados os inventários de ciclo de vida (ICV) e desenvolvida a base de dados *Ecoinvent*, além da publicação em um guia para ACV (GUINÉ, 2001).

Apesar disso, algumas literaturas trazem evidências de ACV antes dos períodos mencionados, como nos estudos de Cao (2017) e Muthu (2014), que citam um estudo realizado na década de 1960 nos EUA com foco em eficiência energética, consumo de matérias-primas em menor grau e descarte de resíduos, além disso, em 1969 surge a ACV da Coca-Cola, o qual foi considerado o primeiro estudo ambiental conhecido.

A metodologia ainda apresenta algumas obscuridades como aponta a literatura, as ACVs são realizadas em muitos países e por muitas empresas, que têm

se mostrado um objeto de estudo com rápido e crescente desenvolvimento (HEIJUNGS, 1994). Pode ser observada na Figura 1 uma pesquisa realizada sobre o histórico de publicações referentes ao tema deste estudo na plataforma *online ScienceDirect*, que é especificamente dedicada a revistas científicas, com os seguintes grupos de palavras: "*Life cycle evaluation*" + "*Ceramic*", "*Life cycle assessment*" + "*Ceramic*" e apenas "*Life cycle evaluation*" refinando a busca no período de 1999 a 2019.

Figura 1 - Histórico das publicações na base de dados do ScienceDirect



Fonte: Autora (2022).

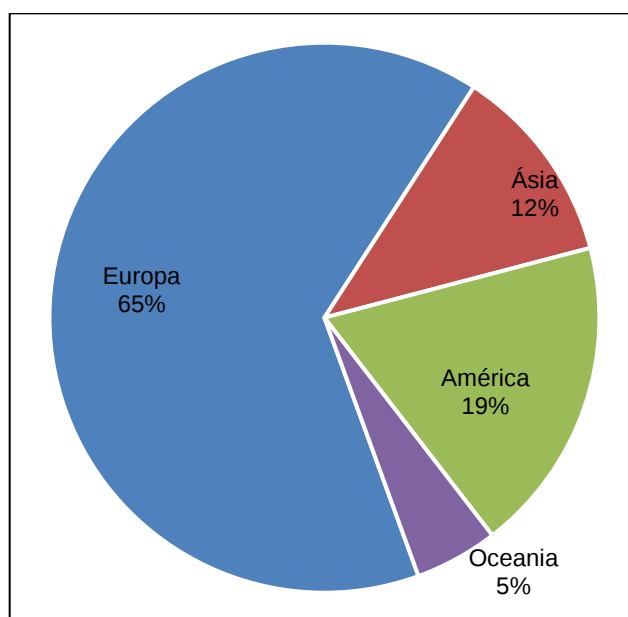
A Figura 1 demonstra que independentemente da palavra-chave pesquisada, os estudos mostram um desenvolvimento crescente de publicações referente ao tema de sustentabilidade. Apesar disso, ao comparar a busca por "*Life cycle evaluation*" com as buscas por "*Life cycle evaluation e Ceramic*" e "*Life cycle assessment e Ceramic*" percebeu-se que o setor cerâmico utiliza e estuda pouco a ferramenta de ACV.

A fim de mapear onde esses estudos eram feitos, realizou-se uma análise que possibilitou a elaboração do gráfico da Figura 2, o qual apresenta uma análise geográfica de onde se concentram os estudos sobre sustentabilidade (tendo em vista os 85 artigos utilizados os quais estão descritos na Tabela S1 em materiais suplementares). Para cada artigo analisado, foi especificado o continente no qual ele

foi desenvolvido. Percebe-se que 65% dos estudos de análise de ciclo de vida em materiais cerâmicos foram realizados na Europa. Esse continente está mais a frente em assuntos relacionados à sustentabilidade. Sabe-se que por trás desses estudos publicados há sempre uma demanda da sociedade, em um estudo feito por Bjørn *et al.* (2012), ele identificou um envolvimento maior vindo de universidades e indústrias, incluindo pequenas e médias empresas, e um pequeno envolvimento de autoridades e organizações não governamentais. Neste caso, a razão da Europa despontar no número de estudos indica que essa região também possui maior número de empresas e/ou produtos com estudos sobre o ciclo de vida. Os países Espanha e Itália, por exemplo, são os países europeus maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos (CONTARTESI; MELCHIADES; BOSCHI, 2019).

Em seguida vem a América com 19%, subdividindo-se em 13% na América Latina e 6% na América do Norte, Ásia com 12% e Oceania com 5%.

Figura 2 - Regionalização dos estudos de sustentabilidade analisados.



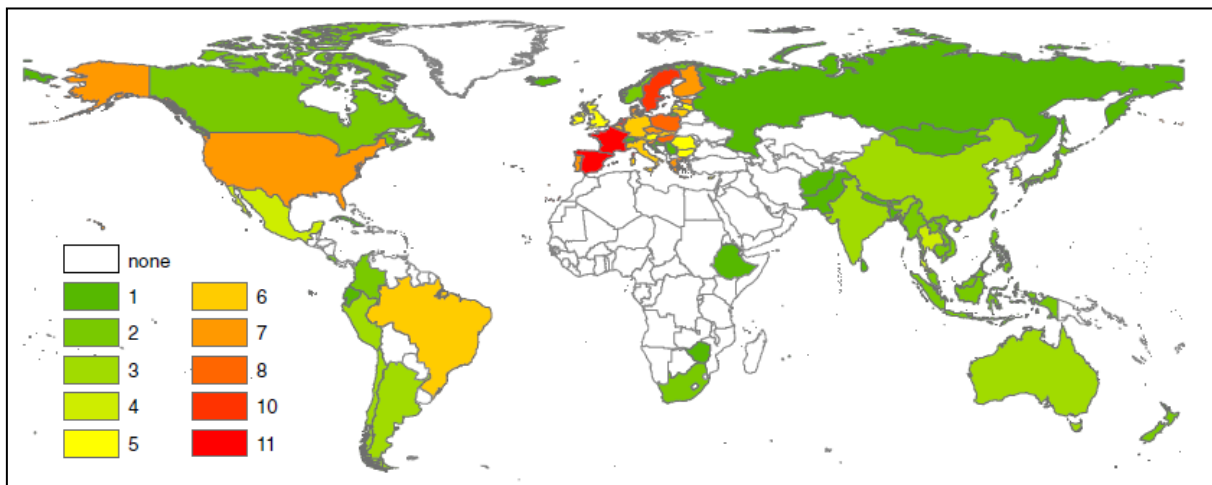
Fonte: Autora (2022).

Esse resultado pode estar relacionado com a presença de redes de ACV em cada um desses continentes, essas redes tem missão de mobilizar as empresas, articular governos e educar o consumidor, visando incorporar a Avaliação de Ciclo de Vida como uma ferramenta para determinar a sustentabilidade de produtos e

processos em cada um dos países, no Brasil por exemplo, existe a REBACV (Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida) (REBACV, 2021).

Um estudo realizado por Bjørn *et al.* (2012) fez um mapeamento geográfico das redes de ACV e obteve os dados expostos na Figura 3.

Figura 3 - Mapa da cobertura geográfica das redes ACV



Fonte: Bjorn *et al.* (2012)

Os países europeus geralmente pontuam mais alto, com a Holanda, Suécia, França e Espanha excedendo uma pontuação de 9. Além disso, partes das Américas estão bem representadas e, em menor medida, o sudeste da Ásia e a Oceania (BJØRN *et al.*, 2012).

2.1.2. Padronização / Normatização

As normas, leis e regras relacionadas ao meio ambiente, demandam a adoção de práticas de produção industrial mais limpa ao longo do ciclo de vida (PENTEADO *et al.*, 2016). Assim, de acordo com Cao (2017) ao longo dos anos, alguns padrões surgiram, entre os quais os mais utilizados para avaliação do ciclo de vida foram os seguintes:

- ISO 14001: norma ambiental internacional que especifica os requisitos para permitir que a organização planeje sua política e objetivos, considerando os requisitos legais e as informações relativas a impactos ambientais

significativos. Uma primeira versão foi lançada em 1996, e uma segunda foi lançada em 2004 após algumas mudanças (CAMPOS *et al.*, 2015).

- ISO 14040-14044: normas impulsionadas devido ao fato de que a ACV vem se tornando uma ferramenta bem integrada na gestão ambiental (JACQUEMIN; PONTALIER; SABLAYROLLES, 2012). Enquanto a ISO 14040 aborda os princípios e estrutura da avaliação do ciclo de vida, (ABNT NBR ISO 14040, 2009) a 14044 aborda os requisitos e orientações (ABNT NBR ISO 14044, 2009).
- ISO 14049: criada para facilitar o entendimento da norma ISO 14044, focada na gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário (ABNT NBR ISO 14049, 2014).
- EN 15804:2012+A2 (2019): norma europeia que aborda a sustentabilidade das obras de construção, declaração ambiental de produtos e as regras fundamentais para as categorias de produtos de construção (EN 15804:2012+A2, 2019).

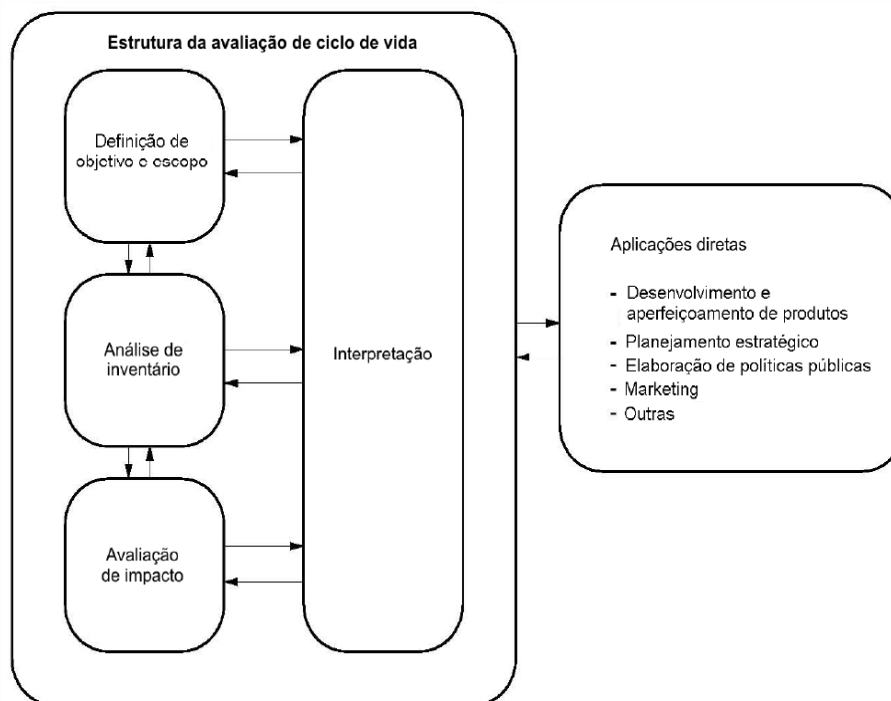
2.1.3. Estrutura e etapas de uma ACV

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2014), um estudo de ACV é dividido em 4 etapas, conforme mostrado na Figura 4.

- a) Fase de definição de objetivo e escopo;
- b) Fase de análise de inventário;
- c) Fase de avaliação de impactos;
- d) Fase de interpretação.

A fase de análise de inventário do ciclo de vida (AICV) inclui uma definição detalhada de todas as entradas e saídas em cada fase do ciclo de vida do produto (IVANICA *et al.*, 2022). A fase de avaliação do ciclo de vida identifica cada impacto causado pelos dados coletados no inventário, e o registro dos indicadores ambientais determina a relevância desses impactos (OBRECHT *et al.*, 2021). Por fim, resultados das fases inventário do ciclo de vida (ICV) e avaliação de impacto devem ser interpretados, mostrando os aspectos críticos para a otimização (ASDRUBALI *et al.*, 2013).

Figura 4 - Fases de uma ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009)

2.1.3.1. Definição do objetivo e escopo

A etapa inicial de qualquer ACV é a descrição do objetivo e do escopo, independentemente de ser um estudo de inventário de dados de processo unitário ou de ser um estudo completo de ACV de uma afirmação comparativa a ser publicada (CE / JRC / IES, 2010).

O objetivo e o escopo do estudo devem ser esclarecidos. Monahan e Powell (2011) afirmam que é essencial para o objetivo e escopo do estudo definir as unidades funcionais, limites do sistema, alocação de encargos ambientais, se houver, entre outros pontos importantes.

2.1.3.1.1. Razões para a realização do estudo

Inicialmente, na definição do objetivo e escopo, devem ser definidas com precisão as aplicações pretendidas para o estudo. Deve-se notar que os estudos

geralmente propõem várias aplicações separadas. Os tópicos a seguir mostram as aplicações mais comuns para uma LCA (CE / JRC / IES, 2010):

- Análise das fragilidades de um produto específico;
- Estudo de indicadores como consumo de energia, pegada de carbono, entre outros, para um produto específico;
- Controlar os impactos ambientais gerados em um setor industrial, um grupo ou mesmo apenas um produto.

Em estudos de revestimentos cerâmicos, a ACV é geralmente utilizada como ferramenta comparativa, avaliando os impactos gerados por diferentes produtos (POTTING e BLOK, 1995). Exemplos disso são os estudos de Souza *et al.* (2015) e Nicoletti *et al.* (2002), que compararam revestimentos cerâmicos com concreto e mármore, respectivamente.

2.1.3.1.2. Público-alvo

No objetivo da ACV deve ser definido o público-alvo, ou seja, para quem se deseja expor os resultados. Isso ajuda a definir o nível de relatórios e formulários necessários e as necessidades de revisão crítica. Os requisitos e características de cada estudo variam de acordo com o tipo de público-alvo, podendo ser técnicos ou não, internos ou externos, etc. Por esse motivo, o público-alvo já deve estar identificado na etapa de definição de do objetivo (CE / JRC / IES, 2010). Um exemplo, pode ser identificado em estudo realizado pela ACV Brasil em conjunto com a Braskem, em que o público-alvo foi representado por consumidores intermediários e fornecedores (ACV BRASIL; BRASKEM, 2015).

2.1.3.1.3. Sistema de produto

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2014) um sistema de produto engloba processos unitários, que atuam de diferentes formas e com diferentes funções, formando o ciclo de vida de um produto. É por meio desse sistema que se determina quais os processos que devem ou não ser incluídos no estudo. Esta divisão facilita a identificação das entradas e saídas do produto. Em uma ACV, um sistema deve ser dividido em unidades de processo, identificando todos os componentes,

elementos e materiais que fazem parte dele e que são influenciados pelos fluxos de material e energia durante o ciclo de vida (ASDRUBALI *et al.*, 2013).

2.1.3.1.4. Unidade Funcional e declarada

A unidade funcional é uma forma de conectar todas as entradas e saídas no inventário (ASDRUBALI *et al.*, 2013). Todas as análises posteriores devem estar relacionadas a uma mesma unidade funcional, garantindo assim a comparabilidade dos resultados (ABNT NBR ISO 14040, 2014). Em alguns casos, um sistema pode fornecer várias funções, tornando difícil ou desnecessário aplicar procedimentos de alocação para separá-los, possibilitando a utilização de mais uma unidade funcional no mesmo estudo de ACV (FINNVEDCN e LINDFORS, 1996).

Para revestimentos cerâmicos, uma função lógica pode ser a área de aplicação adequada do revestimento, quantificando a superfície e o período de cobertura (BREEDVELD *et al.*, 2007). Na maioria dos estudos de ACV publicados pelo setor de revestimentos cerâmico, a unidade funcional é um metro quadrado de área / vida útil (ASDRUBALI *et al.*, 2013).

2.1.3.1.5. Fronteira do sistema

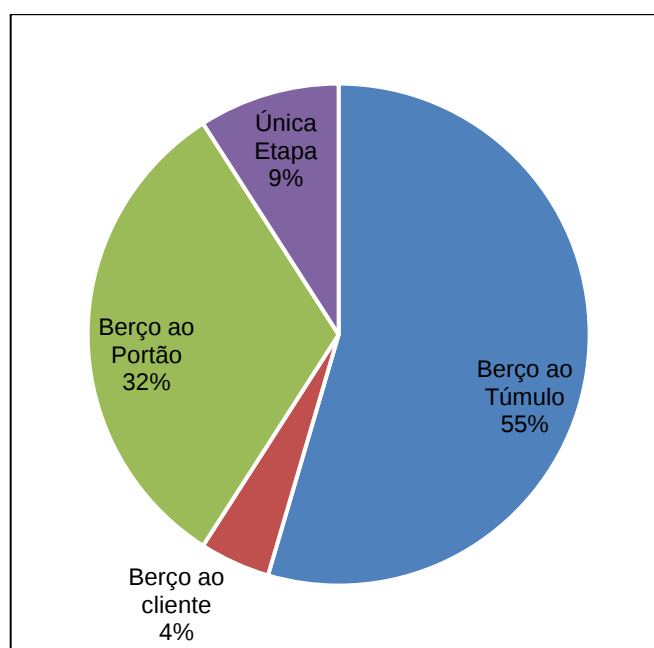
De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2014), a fronteira do sistema define os processos elementares a serem incluídos. Uma ACV identificada do "berço ao túmulo" é conhecida como a ACV completa, esta abordagem inclui etapas desde o desenvolvimento do produto até a disposição final (CULABA e PURVIS, 1999; JACQUEMIN *et al.*, 2012).

Apesar disso, de acordo com Ros-Dosdá *et al.* (2018b) muitos estudos de revestimentos cerâmicos optam por realizar avaliações apenas até que o produto seja transferido para o cliente, pois os revestimentos cerâmicos são inertes, têm uma longa vida útil, fácil de limpar e manter e pode ser reciclado, gerando impactos ambientais muito baixos. Se o estudo visa comparar produtos ou processos, logo se perceberá que todo o ciclo de vida deve ser considerado para se obter uma comparação adequada. Isso ocorre porque diferentes produtos podem ter contribuições distintas em diferentes partes do ciclo de vida (FINNVEDEN, 2000).

Outra informação que foi possível avaliar por meio da análise da literatura está relacionada à qual fronteira esses estudos utilizavam. A Figura 5 mostra a avaliação das fronteiras do sistema analisadas em cada artigo que trata do ciclo de vida de produtos. De acordo com a Figura 5, pouco mais de metade deles realiza a análise completa do ciclo de vida do produto, ou seja, do berço ao túmulo, avaliando desde a extração das matérias-primas e insumos até o final da vida útil do produto em questão. Entretanto, grande parte das análises ainda são realizadas estabelecendo os limites de controle do berço ao portão da fábrica, ou do berço até a entrega do produto ao cliente, ou ainda analisando apenas uma única etapa do processo.

Além disso, existe também imprecisão em determinar qual o consumidor final do produto, estimar ou identificar para onde o produto deve ser destinado após o fim da vida útil.

Figura 5 - Fronteiras do Sistema



Fonte: Autora (2022).

2.1.3.1.6. Procedimentos de alocação

Quando um processo gera mais de um produto final, a análise torna-se mais complexa: duas entradas e saídas devem ser distribuídas entre vários produtos (WEIDEMA, 2000). Nestes casos, são utilizados procedimentos de alocação,

atribuindo cargas ambientais a cada produto final (FRISCHKNECHT, 2000; HABERT, 2013).

Segundo Chen *et al.* (2010); Weidema (2000); Pryshlakivsky e Searcy (2021), a alocação é uma das questões mais problemáticas no estudo de ACV, pois dependendo da forma como é feita, pode alterar significativamente os resultados das avaliações.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14044 (2009), sempre que possível a alocação deve ser substituída por divisão ou ampliação do sistema. Quando isso não for possível, os fluxos de materiais devem ser divididos levando-se em consideração aspectos físicos, como diferentes produtos ou funções. Por fim, quando as duas condições não forem possíveis, é aconselhável que os insumos sejam alocados entre os produtos por outros aspectos, por exemplo, a alocação é proporcional ao preço ou ao custo de cada coproduto (REBITZER *et al.*, 2004).

Muitos autores na literatura têm usado métodos de alocação para avaliar o impacto dos subprodutos e respeitar as recomendações (HABERT, 2013). Primeiramente, para evitar o procedimento de alocação, o sistema de produção deve ser dividido em dois processos (um específico para os subprodutos e outro para o produto primário). Em segundo lugar, se após essa divisão o produto primário ainda fizer parte de um processo de múltiplas saídas, o procedimento de alocação deve ser aplicado. Este procedimento de alocação também é semelhante ao procedimento padrão ISO.

Para a indústria de revestimento cerâmico, na maioria das vezes coprodutos não são gerados e, então, não é necessário aplicar nenhum processo de alocação, como é o caso dos estudos de Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002) e Han *et al.* (2015). Por outro lado, nos estudos de Ros-dosdá *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2015), a indústria avaliada possuía cogeração de energia, no qual o excedente era vendido, possuindo valor econômico. Então, na análise de ciclo de vida descrita, os autores optaram por utilizar a expansão do sistema e, como a outra indústria avaliada incinerava os resíduos para geração de energia, então os autores optaram no procedimento de alocação por preço.

2.1.3.1.7. Limitações (critério para exclusão de dados)

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14044 (2009), os critérios de corte são utilizados para decidir quais entradas serão excluídas da avaliação. No entanto, as práticas atuais do ciclo de vida impõem dificuldades em traçar um limite em torno do problema, de forma que permita ao estudo produzir resultados confiáveis, que possam ser comparados sem gerar conclusões e ações incorretas. As decisões sobre a inclusão ou exclusão de processos geralmente não são feitas em bases científicas, pois muitos processos nunca foram estudados para garantir que possam ou não ser excluídos, tornando esta etapa difícil (ASDRUBALI *et al.*, 2013). Muitos estudos de ACV relacionados a revestimentos cerâmicos utilizam uma regra de corte e exclusão de dados de 0,5%, na qual as entradas e saídas que totalizem menos do que isso, em relação ao peso final do revestimento, são desconsideradas (ALMEIDA *et al.*, 2016). Um exemplo disso foi observado em pesquisa realizada por Han *et al.* (2015) que desconsiderou no inventário todas as matérias-primas com peso inferior a 0,5% em relação ao revestimento analisado.

Outro caso de exclusão foi encontrado no estudo de Gabaldón-Estevan *et al.* (2014), que desconsiderou os custos de transporte de materiais adquiridos de fornecedores locais (com distância inferior a 1 km), ou seja, próximo à fábrica onde o foi produzido o revestimento cerâmico analisado.

2.1.3.1.8. Requisitos de qualidade de dados

A qualidade dos dados é uma característica específica dos dados coletados na fase de inventário, como confiabilidade, incerteza, idade dos dados, área geográfica em relação à representatividade dos dados, tecnologia de processo, etc (WEIDEMA e WESNÆS, 1996).

Na descrição do objetivo e do escopo, metas de qualidade de dados e estratégias de coleta devem ser estabelecidas e, conforme os dados estão sendo coletados, a qualidade deve ser documentada (WEIDEMA e WESNÆS, 1996).

A incerteza dos dados pode afetar todo o estudo de ACV, levando a interpretações e decisões enganosas (BECCALI *et al.*, 2010; GEISLER *et al.*, 2005); por esse motivo, os indicadores de qualidade dos dados são necessários para

expressar a representatividade, importância e confiabilidade dos resultados (BJÖRKLUND, 2002).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14044 (2009), convém que os requisitos de qualidade dos dados abranjam:

- Cobertura temporal: idade dos dados e período de coleta;
- Cobertura geográfica: área geográfica onde ocorreu a coleta de dados;
- Cobertura tecnológica: conjunto de tecnologias utilizadas;
- Exatidão: medida de variabilidade nos dados expressos;
- Completude: porcentagem de dados de entrada e saída coletados ou estimados;
- Representatividade: Avaliação de quanto os dados se refletem na realidade;
- Consistência: avaliação qualitativa quanto à correta aplicação da metodologia;
- Reprodutibilidade: avaliação qualitativa da reprodução dos resultados independente de quem os coletou;
- Fonte de dados;
- Incerteza da informação.

De acordo com May e Brennan (2003), outras informações sobre qualidade de dados podem ser incluídas além dos padrões ISO, por meio de outras fontes, incluindo as seguintes:

Centro de Ciências Ambientais, sugere que sejam utilizados os procedimentos presentes na ISO, mas utilizando opcionalmente uma “Matriz de Pedigree” mostrada na Tabela 1 (GUINÉE, 2001; SUGIYAMA *et al.*, 2005). O grupo de trabalho SETAC fornece um modelo para calcular a incerteza dos dados (HUIJBREGTS *et al.*, 2001).

Tabela 1 – Matriz de pedigree de qualidade de dados

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
Confiabilidade da fonte	Dados verificados com base em medições	Dados verificados parcialmente com base em suposições ou dados não verificados com base na medição	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativa qualificada (por exemplo, por especialista industrial); dados derivados de informações teóricas	Estimativa não qualificada
Compleitude	Dados representativos de todos os locais relevantes para o mercado considerado, durante um período adequado para nivelar as flutuações normais	Dados representativos de > 50% dos casos relevantes para o mercado considerados durante um período adequado para determinar flutuações normais	Dados representativos de apenas alguns sites (< 50%) relevantes para o mercado considerado ou > 50% dos sites, mas de períodos mais curtos.	Dados representativos de apenas um site relevante para o mercado considerado ou de alguns sites, mas de períodos mais curtos	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de sites e de períodos mais curtos
Tamanho da amostra	> 100, medição contínua, balança de compra do produto	> 20	> 10	≥ 3	Desconhecido
Correlação temporal	Menos de três anos de diferença em relação ao nosso ano de referência	Menos de 6 anos de diferença	Menos de 10 anos de diferença	Menos de 15 anos de diferença	Idade dos dados desconhecida ou mais de 15 anos de diferença
Correlação geográfica	Dados da área alvo de estudo	Dados médios de uma área maior na qual a área em estudo está incluída	Dados de área menor que a estudada ou de área semelhante	Dados da área com condições de produção ligeiramente semelhantes	Dados de áreas desconhecida ou distintas
Correlação tecnológica suplementar	Dados de empresas, processos e materiais alvo do estudo	Dados de processo e materiais em estudo (ou seja, tecnologia idêntica), mas de empresas diferentes	Dados sobre tecnologia de processos reconfigurados ou dados de processos e materiais em estudo, mas de diferentes tecnologias	Dados sobre processos ou materiais relacionados, mas com tecnologia diferente, ou dados sobre processos em escala de laboratório e a mesma tecnologia	Dados sobre processos relacionados a materiais, mas em escala de laboratório de diferentes tecnologias

Fonte: Adaptado de Barba Junior, Gomes e Bork (2014).

Nesta matriz os indicadores de qualidade dos dados recebem uma pontuação de 1 a 5, sendo 1 o melhor nível de qualidade e 5 o pior. Quando se deseja obter a incerteza das atividades analisadas do conjunto de dados utiliza-se o nível geral de qualidade dos dados (Tabela 2). Para isso são utilizados seis *scores* dos indicadores de qualidade dos dados da Tabela 1 agregados na razão de um para um (1:1), ou seja, somando seis pontos e dividindo por seis (BARBA JUNIOR, GOMES e BORK, 2014).

Tabela 2 – Nível geral de qualificação de dados de acordo com a classificação de qualidade de dados alcançada

Classificação geral de qualidade de dados	Nível geral de qualidade de dados
<1,6	Excelente
1,6 a 2,0	Muito bom
2,1 a 3,0	Bom
3,1 a 4,0	Razoável
>4,1	Pobre

Fonte: Barba Junior, Gomes, e Bork(2014).

Portanto, a etapa de coleta de dados requer um esforço cuidadoso das empresas locais, que devem estar dispostas a fornecer corretamente os dados primários de seus processos produtivos (CELLURA *et al.*, 2011). Porém, apesar de fornecer todos os dados corretamente, é muito importante para a indústria que os dados industriais não sejam publicados diretamente no banco de dados, mas mascarados, pois especialistas em empresas concorrentes podem detectar qual tecnologia está envolvida em outras empresas com dados anônimos (SUGIYAMA *et al.*, 2005).

Apesar disso, nem todos os dados são sempre coletados em empresas locais; normalmente, grandes quantidades de dados publicados são usadas em estudos de caso de ACV para configurar o ICV e executar o AICV. Atualmente, não há requisitos específicos para incerteza em parâmetros individuais, com exceção do Ecoinvent, que publicou recentemente estimativas de incerteza para parâmetros de ICV (GEISLER *et al.*, 2005).

2.1.3.1.9. Análise de incerteza

Existem várias incertezas durante o procedimento de aplicação da ACV (LIU *et al.*, 2008; SONNEMANN *et al.*, 2003), e estas afetam a precisão do resultado de um estudo. Por esse motivo, as análises de incerteza têm sido muito importantes para garantir a confiabilidade dos resultados (BLENGINI e DI CARLO, 2010; LO *et al.*, 2005).

Vários métodos analíticos foram propostos para propagar incertezas (MAY e BRENNAN, 2003). No entanto, de acordo com KENNEDY *et al.* (1996), modelos estocásticos como o de Monte Carlo permitem incluir qualquer número de

distribuições de probabilidade, o que torna este modelo um dos mais utilizados. Segundo *SUH et al. (2004)*, as simulações de Monte Carlo podem ser utilizadas para avaliar as características dos resultados de dispersão do sistema de entrada-saída, definindo o limite de dados aceitáveis.

Alguns estudos de ACV realizados para cerâmicas usam apenas simulações de incerteza de Monte Carlo por meio de software e têm mostrado resultados positivos, como mostra o estudo de *Ye et al. (2018)*. Outros estudos utilizaram, além dessa simulação, a matriz de pedigree, apresentada pelos estudos de *Souza et al. (2015 e 2016)*.

2.1.3.1.10. Vida útil de referência

Muitos trabalhos que estudam esta temática utilizam diferentes períodos de vida dos revestimentos cerâmicos. Segundo *Ros-Dosdá et al. (2019)* com base na ISO 13006 (2012), a vida útil das placas cerâmicas pode ser superior a 50 anos. Apesar disso, embora a vida útil técnica possa ser mais longa, em média, os revestimentos para pisos são utilizados por aproximadamente 8 anos (*POTTING e BLOK, 1995*).

2.1.3.2. Operadores

As declarações ambientais de produtos (EPDs) são amplamente utilizadas para meios de comunicação, tornando as empresas capazes de mostrar seus aspectos e impactos ambientais no ciclo de vida de seus produtos (*ALMEIDA et al., 2015; DEMERTZI et al., 2013*). Além disso, o EPD também incentiva a melhoria do desempenho ambiental e fornece informações para a avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. O uso de EPDs pode gerar aspectos competitivos entre as empresas, fazendo com que elas optem cada vez mais por produtos e produções mais sustentáveis (*INGWERSEN e STEVENSON, 2012*).

Para a criação de uma EPD, as regras de categoria de produto (PCRs) devem ser utilizadas corretamente, pois fornecem uma série de diretrizes a serem seguidas, tais como (*ALMEIDA et al., 2015*):

- A categoria do produto em estudo;

- A unidade funcional;
- Limites do sistema;
- Critérios de corte;
- Métodos de alocação
- informações sobre as fases de uso;
- Etc.

Essas regras garantem que as EPDs sejam desenvolvidas, verificadas e apresentadas de forma harmonizada (ALMEIDA *et al.*, 2011).

De acordo com as PCRs, quando os impactos entre diferentes produtos não são tão expressivos, eles podem ser combinados na mesma EPD, sendo obrigatória à descrição da variabilidade, apesar disso, não há limites para tal. Portanto, os programas EPD estabelecem as diretrizes para esta união de produtos, permitindo uma variação nos resultados percentuais do AICV ou declarando o perfil dos produtos ambientais que exibiram os valores mínimo e máximo na AICV (ROS-DOSDÁ *et al.*, 2018a).

Além disso, as PCRs fornecem orientações essenciais para que os produtores publiquem seus resultados de atributos ambientais, permitindo aos clientes acessar e comparar os dados desses produtos com produtos semelhantes (INGWERSEN e STEVENSON, 2012).

2.1.3.3. Inventário do ciclo de vida

De acordo com Ingrao *et al.* (2015^a), todas as etapas do ciclo de vida são indispensáveis para uma avaliação, mas a análise de inventário é reconhecida pelos pesquisadores como a mais importante. Nesta fase, a qualidade dos dados é essencial para que os resultados de ACV tenham credibilidade (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2011).

No inventário, as entradas e saídas presentes ao longo do ciclo de vida de um produto são quantificadas. O ciclo de vida de um produto consiste basicamente em quatro etapas: (1) a extração da matéria-prima e seu processamento, (2) a fabricação do produto, (3) o uso do produto (4) o processamento do produto usado. Cada estágio pode ser considerado um processo agregado que inclui um ou mais subprocessos (POTTING e BLOK, 1995).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009), as medidas utilizadas no inventário devem incluir fluxogramas, descrições detalhadas de cada processo que influencia as entradas e saídas, lista de fluxos, dados relevantes e unidades utilizadas, descrição dos cálculos e documentação de quaisquer casos especiais.

Sabe-se que nem sempre é possível coletar todos os dados necessários para realizar os inventários do processo produtivo (ARENA *et al.*, 2013), para facilitar essa tarefa existem vários bancos de dados que contêm muitas informações sobre processos em diferentes setores industriais, incluindo Ecoinvent2008, Idemat2001, Franklin1998, ELCD2011 e IVAM LCA2005 (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2011). Esses bancos de dados são usados para coletar dados secundários, ou seja, dados que não foram possíveis de coletar durante o processo (MAY e BRENNAN, 2003; STEELE, 2010).

Uma base de dados amplamente reconhecida em todo o mundo, especialmente na Europa, é o Ecoinvent (INGRAO *et al.*, 2015b); entretanto, segundo Souza *et al.* (2015), um banco de dados de qualidade ainda não está disponível para o Brasil. Apesar disso, a maioria dos estudos brasileiros de ACV, inclusive relacionados ao setor cerâmico, utiliza o Ecoinvent e o adapta o mais próximo possível à realidade do país, como mostra o estudo de Souza *et al.* (2015), que comparou revestimentos de cerâmica com revestimentos de concreto utilizando o Ecoinvent como base de dados principal e o estudo de Pamu *et al.* (2021), o qual avaliou o ciclo de vida de um edifício.

2.1.3.4. Programas – Softwares

Devido à complexidade do trabalho de ACV, vários pacotes de software especializados estão disponíveis no mercado: Open LCA, SimaPro, Umberto NxT, GaBi, QuantisSuite, Model Bousted e outros (MORINI; RIBEIRO; HOTZA, 2019; SURGELAS, 2010). Esses softwares contam com a implementação de diversas metodologias de ACV (CELLURA *et al.*, 2011).

Dentre todos, GaBi e SimaPro são as principais ferramentas utilizadas para avaliações do ciclo de vida (GOMES *et al.*, 2012; HERRMANN e MOLTESSEN, 2015).

O GaBi é um software de modelagem e avaliação de sistemas de produtos desenvolvido e distribuído mundialmente pela PE INTERNATIONAL, empresa alemã (GABI, 2019). Da mesma forma, SimaPro é um sistema de software de modelagem e avaliação de produto lançado em 1994 que é vendido em todo o mundo. O SimaPro foi desenvolvido pela PRéConsultants, e atualmente é comercializado pela mesma empresa, com sede na Holanda (SIMAPRO, 2019).

Ambas as ferramentas incluem:

- a) um banco de dados para consultar dados secundários;
- b) uma guia para o usuário descrever ou sistema para seu produto;
- c) uma calculadora que combina números de banco de dados de acordo com o produto;
- d) banco de dados de avaliação de impacto com dados a partir de várias metodologias de avaliação (HERRMANN e MOLTESEN, 2015).

Em algumas situações, SimaPro e Gabi produzem os mesmos resultados, mas às vezes isso não acontece e pode até influenciar as conclusões do estudo (HERRMANN e MOLTESEN, 2015).

De acordo com pesquisa realizada por Herrmann e Moltesen (2015), as diferenças observadas parecem originar-se principalmente de erros nas bases de dados de softwares para inventários e avaliações de impacto. Nesse contexto, Reap *et al.* (2008) relataram que, na maioria dos casos, um profissional de ACV pode simplesmente selecionar a avaliação de impacto por meio de um software.

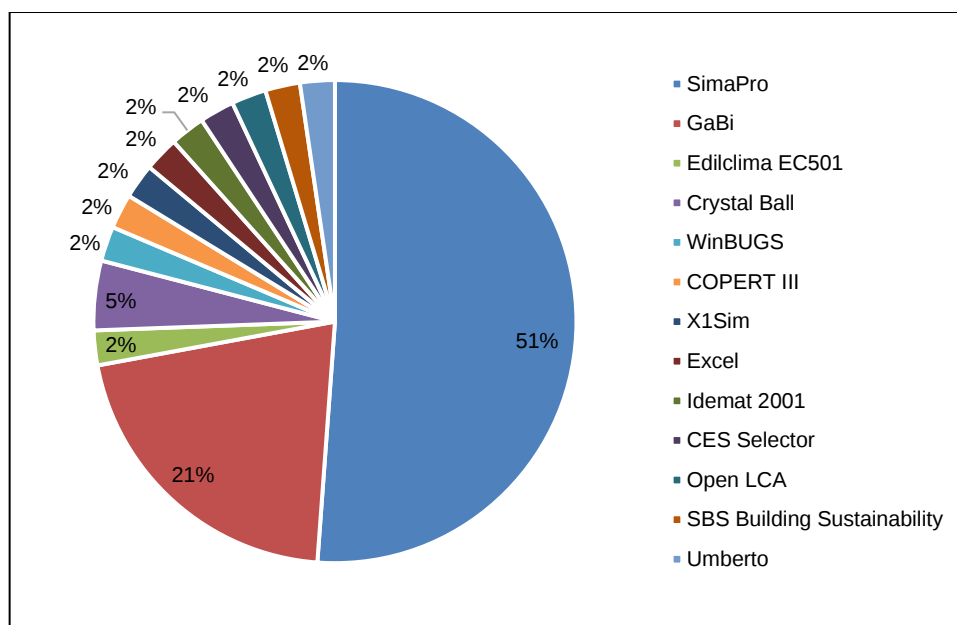
Nestes casos, o usuário pode selecionar a PCR, alguns indicadores e uma forma de classificação, o que é um grande atrativo, pois agiliza a compilação das informações. Apesar disso, essas escolhas devem ser feitas com cautela, pois podem gerar resultados diversos (KARUNARATNE; DHARMARATHNA, 2022). Atualmente, a maioria dos estudos brasileiros utiliza o SimaPro, como os estudos de Pereira (2004); Chen; Matthewa; Griffin (2021), que estavam relacionados à análise ambiental do processo de produção de revestimentos cerâmicos. Isso porque as universidades brasileiras estão adquirindo a licença de software para estudos no país.

Em outros países, principalmente europeus, o software mais utilizado em estudos é o GaBi (JIA WEN *et al.*, 2015).

As ferramentas de softwares utilizadas para realização dos estudos de Análise de Ciclo de Vida dos artigos analisados são mostradas na Figura 6. Ao todo,

foram identificados 11 softwares utilizados, e o percentual de utilização nos artigos é mostrado.

Figura 6 - Softwares utilizados nos trabalhos publicados em artigos



Fonte: Autora (2022).

Fica claro que o SimaPro é o software utilizado por mais de 50% das análises, o GaBi é o segundo software mais utilizado, com 21%. Os outros 9 softwares restantes somados correspondem a 28% das utilizações nos trabalhos de análise de ciclo de vida, o que confirma os dados das bibliografias apresentadas anteriormente neste trabalho.

2.1.3.5. Métodos de avaliação de impacto

A etapa de avaliação de impactos representa uma forma de “traduzir” os resultados e transformar as informações sobre os impactos ambientais, facilitando a tomada de decisões (DURAIRAJ, 2002; KYLILI *et al.*, 2018). Essa etapa também permite separar as partes mais relevantes das menos relevantes (FINNVEDCN e LINDFORS, 1996).

Segundo Ibáñez-Forés *et al.* (2011) a etapa mais crítica em relação aos impactos é a queima das placas cerâmicas. Isso se deve ao alto consumo de combustível, em relação aos recursos, os maiores impactos decorrem do uso de

combustíveis fósseis não renováveis (exemplo Gás natural), enquanto nas demais categorias de impacto deve-se às emissões.

As categorias de impacto e suas metodologias de avaliação são escolhas particulares do realizador da ACV, por isso, é possível identificar, entre os estudos analisados, variações entre as categorias e metodologias escolhidas (KHASREEN *et al.*, 2009), portanto, fica claro que sua definição pode afetar os resultados da ACV (CONTARTESI *et al.*, 2019; CHEN; MATTHEWS; GRIFFIN, 2021). Dreyer *et al.* (2003) e Hauschild (2003) em suas pesquisas compararam 3 metodologias de avaliação de impacto e demonstraram os diferentes resultados obtidos por cada uma. Almeida *et al.* (2016) e Ros-Dosdá *et al.* (2018) classificaram as etapas mais críticas para cada impacto, o que permitiu um detalhamento muito mais completo de todo o sistema. Porém, os dois estudos consideraram a produção em uma única etapa, o que impede a identificação das contribuições de cada uma das etapas do processo produtivo, o que é uma informação importante para nortear a tomada de decisão para minimizar os impactos ambientais do processo fabril (PRYSHLAKIVSKY; SEARCY, 2021).

Muitos impactos ambientais podem ser gerados no ciclo de vida das placas cerâmicas, desde a coleta da matéria-prima até a aplicação ou destinação do produto final (CPRH, 2010). Apesar disso, os impactos ambientais estão principalmente relacionados ao alto consumo de energia elétrica, às emissões geradas durante o processo de produção (material particulado, gases, líquidos poluentes...) e à geração e destinação de resíduos (CETESB, 2008) (CPRH, 2010).

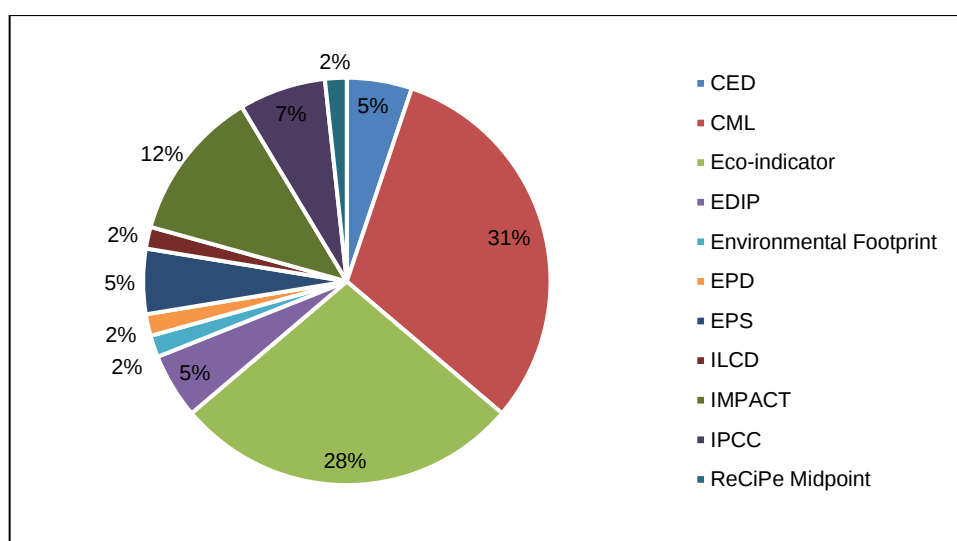
No entanto, outras conclusões interessantes e menos esperadas também aparecem. Um estudo sobre o centro cerâmico de Sassuolo, na Itália, um dos mais importantes do mundo, concluiu que o transporte de matérias-primas para as fábricas é a etapa que causa o maior impacto ambiental (SETTEMBRE BLUNDO *et al.*, 2019). A conclusão de Ye *et al.* (2018) também diferiu das conclusões da maioria dos estudos e apontou as matérias-primas do esmalte como o principal responsável pelo impacto ambiental das indústrias estudadas. Isso porque, embora essas matérias-primas não afetem diretamente o aquecimento global, causam grandes danos a outras categorias, como por meio da ecotoxicidade marinha e terrestre.

Devido às elevadas emissões atmosféricas, além de todos os impactos relacionados ao meio ambiente, existem também impactos relacionados à saúde humana (OTHMAN *et al.*, 2018). Diante disso, o poluente que mais interfere na saúde e que consequentemente é o mais estudado é o material particulado (MP), devido ao

seu tamanho, pode causar diversos danos à saúde ao entrar no sistema respiratório, atacando uma superfície pulmonar (BETHA *et al.*, 2014).

Outro tema evidenciado na análise da literatura diz respeito às Metodologias de avaliação de impacto utilizadas nos estudos. O percentual de uso de cada metodologia de avaliação de impacto utilizada pelos artigos na análise do ciclo de vida é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Metodologia de avaliação de impacto



Fonte: Autora (2022).

A metodologia CML é a mais empregada, sendo utilizada em 31% dos artigos estudados, seguida pela metodologia Eco-Indicador, com 28%.

Quando há a intenção de se obter uma declaração ambiental de produto, a metodologia de avaliação de impacto é proposta pela regra de categoria do programa de EPD. Nos artigos estudados, 76% avaliavam produtos que possuíam EPD, portanto a metodologia utilizada estava atrelada ao programa, como por exemplo, a regra de categoria do programa IBU, o qual trabalha com método CML (IBU, 2019).

Entretanto atribui-se a maior utilização da metodologia CML ao fato de essa possuir maior número de fatores de impacto, se mostrando, portanto, mais completa como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de impacto e suas metodologias utilizando a base de dados do Software SimaPro

Fatores	Bees	Ecoindicador 99 (E)	ReCiPe endpoint (E)	Ecological scarci 2006	CML1992	Ecoindicador 99 (H)	ReCiPe midpoint (E)	EDIP/UMIP 97	TRACI 2	Ecoindicador 99 (I)	CML 2001	EPS 2000	Ecoindicador 95	Ecological Footprint	TRACI	ILCD 2011
Acidificação	x				x			x	x		x		x		x	x
Acidificação / Eutrofização		x				x				x						
Acidificação do solo												x				
Acidificação terrestre			x				x									
Água de ecotoxidade aguda								x								
Alteração de habitat	x															
Alterações Climáticas	x	x				x	x		x	x	x				x	x
Aquecimento global								x								
Ar malodor											x					
Ar Toxicidade humana								x								
Material particulado																x
Camada de ozônio		x			x	x				x			x			
Câncer de mama	x															
Capacidade de crescimento das culturas												x				
Capacidade de crescimento de madeira												x				
Carcinogênico		x				x			x	x			x			
Combustíveis fósseis		x				x										
Competição terrestre											x					
Critérios de saúde humana para poluentes do ar	x															
Depleção abiótica											x					
Depleção de água							x									
Depleção de fósseis			x				x									
Depleção de metal			x													
Depleção de ozônio	x		x				x	x	x		x				x	x
Depleção de recursos hídricos																x
Depleção de recursos minerais e fósseis																x
Dióxido de carbono														x		
Ecossistemas de mudança climática			x													
Ecotoxidade aquática de água doce											x					
Ecotoxidade aquática marinha											x					
Ecotoxidade	x	x			x	x			x	x					x	
Ecotoxidade aquática marinha infinita											x					
Ecotoxidade da água crônica								x								
Ecotoxidade de água doce			x				x									x
Ecotoxidade do solo crônico								x								
Ecotoxidade marinha			x				x									
Ecotoxidade terrestre			x				x				x					
Efeitos respiratórios									x							
Emissão em águas superficiais				x												
Emissão no ar				x												
Emissão no lençol freático				x												
Emissão no solo superior				x												
Escórias / cinzas								x								
Esgotamento das reservas												x				
Esgotamento de recursos naturais	x															
Estufa					x								x			
Eutrofização	x				x			x	x		x		x		x	
Eutrofização de água doce			x				x									x
Eutrofização marinha							x									x
Eutrofização terrestre																
Expectativa de vida												x				
Extinção de espécies												x				
Formação de material particulado			x				x									
Formação de oxidantes fotoquímicos			x				x									
Formação de ozono fotoquímico																x
Fumaça fotoquímica								x								
Saúde Humana - Cancer															x	
Critérios de saúde humana Air-Mobile															x	

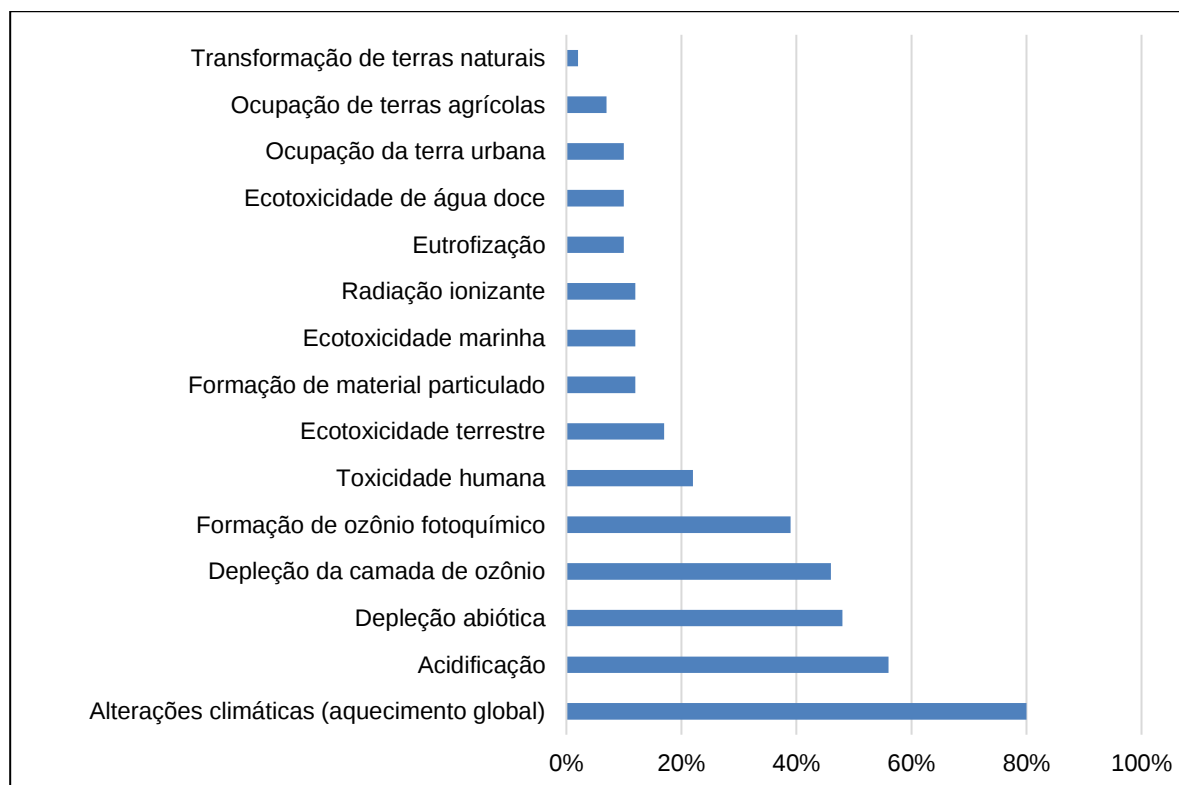
Continuação da Tabela 3.

Fatores	Bees	Ecoindicador 99 (E)	ReCiPe endpoint (E)	Ecological scarci 2006	CML1992	Ecoindicador 99 (H)	ReCiPe midpoint (E)	EDIP/UMIP 97	TRACI 2	Ecoindicador 99 (I)	CML 2001	EPS 2000	Ecoindicador 95	Ecological Footprint	TRACI	ILCD 2011
Crítérios de saúde humana Air-Point Source															x	
Saúde humana não-câncer	x														x	
Incômodo												x				
Incômodo grave												x				
Ingestão de água	x															
Inorgânicos Respiratórios		x														
Limite inferior do aquecimento global líquido											x					
Limite superior do aquecimento global líquido											x					
Lixo sólido					x								x			
Max. reatividade incremental											x					
Max. reatividade incremental do ozônio											x					
Metais pesados													x			
Minerais		x				x				x						
Morbidade severa												x				
Morbilidade												x				
Mudanças Climáticas Saúde Humana			x													
Não carcinogênico									x							
Nuclear															x	
Ocupação de terra urbana			x				x									
Ocupação de terras agrícolas			x				x									
Ocupação do solo															x	
Orgânicos Respiratórios		x														
Oxidação fotoquímica											x					
Pesticidas													x			
Polição do inverno													x			
Polição do verão					x								x			
Prod. água de irrigação												x				
Prod. água potável												x				
Produção de peixe e carne												x				
Qualidade do ar interno	x															
Radiação		x				x				x						
Radiação ionizante			x				x				x					
Radiação ionizante (provisória)																x
Radiação ionizante - saúde humana																x
Reatividade incremental benefício igual											x					
Recursos (todos)								x								
Recursos energéticos				x	x								x			
Recursos naturais				x												
Resíduos a granel								x								
Resíduos depositados				x												
Resíduos perigosos								x								
Resíduos radioativos								x								
Resp. inorgânicos						x				x						
Resp. orgânico						x				x						
Sedimento marinho - ecotoxicidade											x					
Smog	x								x						x	
Superfície do solo - saúde humana câncer															x	
Superfície do solo - saúde humana sem câncer															x	
Toxicidade humana			x		x		x				x					
Toxicidade humana água								x								
Toxicidade humana infinita											x					
Toxicidade humana no solo								x								
Toxicidade humana, efeitos cancerígenos																x
Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos																x
Transformação de terras naturais			x				x									
Uso da terra		x				x				x						x
Zona de Câncer - saúde humana															x	
Zona-raiz não cancerígena - saúde humana															x	

Fonte: SIMAPRO (2019).

Mesmo o CML apontando muitos fatores de impacto, nos artigos avaliados nem todos são discriminados e discutidos. A Figura 8 apresenta a frequência com que cada um dos fatores de impacto são avaliados nesses artigos.

Figura 8 - Fatores de Impacto



Fonte: Autora (2022).

Analisando a Figura 8, o fator alteração climática é o fator discutido com maior frequência, 80% dos artigos falam sobre este tópico. O maior foco sobre alterações climáticas está relacionado à maior demanda por processos mais sustentáveis e que não contribuam para o aquecimento global. Existem diversas iniciativas em especial a da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 2020), que com o acordo do Paris estabelece um pacto global para fortalecer a resposta à ameaça da mudança do clima.

Outro fator que coloca as alterações climáticas em local de destaque é que um dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), estabelecido pelo pacto global, se trata de ações contra a mudança global do clima (ODS, 2020).

Além disso, como visto na Tabela 2, a maior parte das metodologias de avaliação trazem esse impacto, isso pode justificar sua maior frequência de utilização.

O fator de acidificação terrestre aparece em segundo lugar, pois foi avaliada em 56% dos artigos estudados. A acidificação do solo pode afetar a fertilidade do mesmo, dificultando o crescimento de plantas e consequentemente prejudicar a agricultura (TIBBETT *et al.*, 2019), que vai de encontro a outro objetivo do pacto global de fome zero e agricultura sustentável. A depleção da camada de ozônio que está na terceira colocação dentre os fatores mais citados também está relacionada a alterações climáticas, já que os gases que destroem a camada de ozônio também são responsáveis pelo efeito estufa, além do aumento da emissão de raios ultravioleta para o planeta (KHASREEN; BANFILL; MENZIES, 2009).

Além destes 3 fatores mais relevantes, outros 15 fatores também são citados nos artigos, porém com menor frequência.

2.1.3.6. Definição dos impactos ambientais

A Figura 8 demonstrou a frequência com que cada um dos fatores de impacto são avaliados nos trabalhos analisados, desta forma, a descrição destes impactos estão expostos na Tabela 4 e descritos na sequência.

Tabela 4 - Resumo das categorias de impacto

Categoria de impacto	Sigla (<i>Derivada do inglês</i>)	Unidade
Potencial de aquecimento global (Alterações climáticas)	GWP (<i>Global Warming Potential</i>)	kg CO ₂ eq.
Potencial de acidificação	AP (<i>Acidification potential</i>)	kg SO ₂ eq.
Potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis	ADP-fossils (<i>Abiotic Depletion Potential</i>)	MJ
Potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos fósseis	ADP-non fossils (<i>Abiotic Depletion Potential</i>)	kg Sb eq.
Potencial de depleção da camada de ozônio	ODP (<i>Ozone layer depletion potential</i>)	kg CFC-11 eq
Potencial de formação de ozônio fotoquímico (oxidação fotoquímica)	POCP (<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>)	kg NMVOC eq ou kg C ₂ H ₄ eq
Toxicidade Humana	HT (<i>Human Toxicity</i>)	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade	ET (<i>Ecotoxicity</i>)	kg 1,4-DB eq
Formação de material particulado	PM (<i>Particulate Matter</i>)	Incidência de doenças
Potencial de radiação ionizante	IRP (<i>Ionizing Radiation Potential</i>)	kBq U235 eq.
Potencial de qualidade do solo	SQP (<i>Soil Quality Potential</i>)	Adimensional

Fonte: Autora (2022).

Nesta nova atualização da norma EN 15804 + A2, o potencial de aquecimento global é dividido em quatro tipos diferentes de parâmetros de impacto:

Total: Soma das alterações no uso fóssil, biogênico e uso da terra (ITC, 2020).

Fóssil: Agrupa o potencial de aquecimento global das emissões de GEE e remoções de carbono, por qualquer meio proveniente da oxidação ou redução de combustíveis fósseis ou de materiais que contenham carbono fóssil, por meio de sua transformação ou degradação (combustão, incineração, aterro etc.) (ITC, 2020).

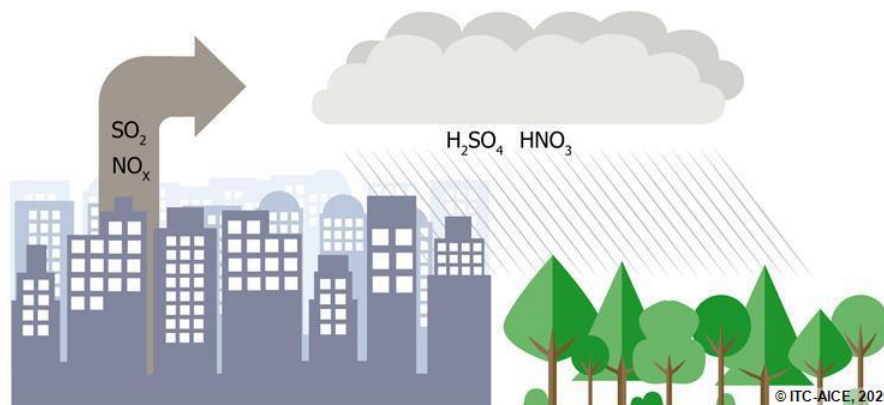
Biogênico: Abrange todas as emissões atmosféricas da biomassa de todas as suas fontes, como consequência da oxidação ou degradação (combustão ou eliminação de resíduos sólidos). As remoções e entradas de CO₂ na biomassa devem ser caracterizadas como respectivamente menos e mais 1 kg CO₂ equivalentes/kg (ITC, 2020).

Uso da terra e mudança de uso da terra: inclui emissões e remoções de GEE devido as mudanças no armazenamento de sequestro de carbono causado pelo uso da terra e mudanças no uso da terra. Inclui trocas de carbono biogênico do desmatamento ou outras atividades no solo (ITC, 2020).

2.1.3.6.2. Potencial de acidificação

O potencial de acidificação está ligado à deposição ácida de contaminantes acidificantes no solo, águas subterrâneas, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e substâncias. SO₂, NO_x e NH_x são os principais contaminantes acidificantes. As zonas de proteção são o ambiente natural, o ambiente criado pelo homem, a saúde humana e os recursos naturais. Materiais acidificantes causam uma ampla influência no solo, águas subterrâneas, águas superficiais, organismos, ecossistemas e materiais (DINCER; BICER, 2018). A Figura 10 mostra como ocorre o processo de acidificação.

Figura 10 - Esquema do potencial de acidificação



Fonte: ITC (2020).

O modelo RAINS 10 é usado para calcular o potencial de acidificação, descrevendo o destino e deposição de materiais acidificantes, utilizando kg SO_2 equivalentes para expressar os resultados, esse modelo é incluso na estrutura de avaliação de impacto dos softwares (DINCER; BICER, 2018).

2.1.3.6.3. Potencial de esgotamento de recursos abióticos (depleção abiótica)

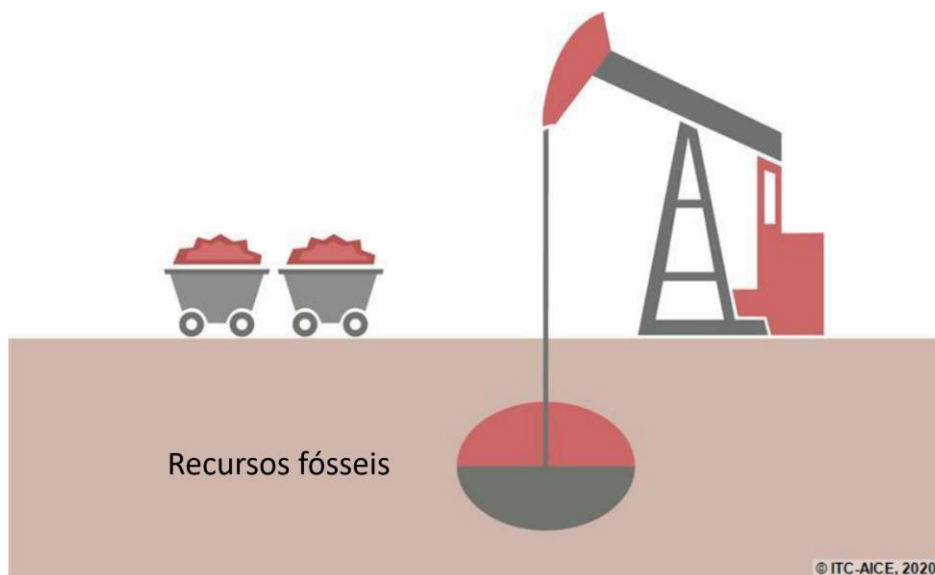
Recursos abióticos são aqueles recursos naturais considerados não vivos, como metais, petróleo, energia eólica. Essas categorias de impacto (para recursos fósseis e não fósseis) são as mais discutidas e, portanto, aquelas com mais métodos para calcular contribuições para essa categoria (ITC, 2020; BIRON, 2016).

Esse impacto pode ser dividido em duas categorias:

- Potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis: No caso do potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis, todos os recursos materiais abióticos não renováveis são contados, excluindo os recursos fósseis. Na norma EN 15804:2012+A2 (2019) indica-se que os resultados deste indicador devem ser usados com cautela, uma vez que as incertezas dos resultados são altas e a experiência com esse parâmetro é limitada (ITC, 2020). A unidade pela qual esse parâmetro é expresso é kg Sb equivalente (ITC, 2020; BIRON, 2016).
- Potencial de esgotamento de recursos abióticos para combustíveis fósseis: Além disso, o potencial esgotamento de recursos abióticos para recursos

fósseis inclui todos os recursos fósseis além do urânio, um esquema pode ser visto na Figura 11 (ITC, 2020).

Figura 11 - Figura exemplificativa de extração de recursos fósseis



Fonte: Adaptado de ITC (2020)

Assim como no potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis, os resultados desse indicador devem ser usados com cautela, pois as incertezas dos resultados são altas e a experiência com esse parâmetro é limitada (ITC, 2020).

A unidade pela qual esse parâmetro é expresso é MJ (ITC, 2020).

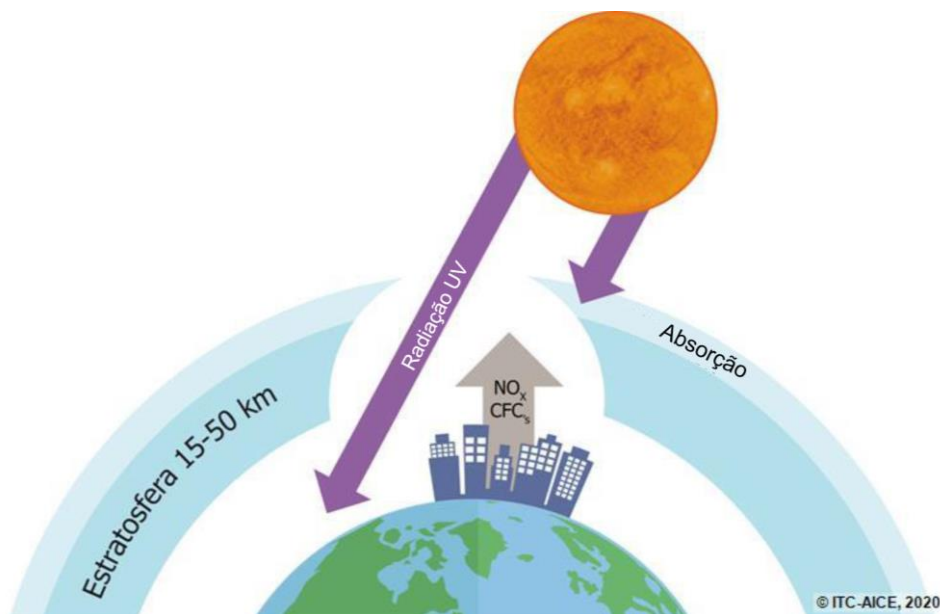
2.1.3.6.4. Potencial de depleção da camada de ozônio

O ozônio é criado na estratosfera pela dissociação de átomos de O_3 expostos à radiação UV. Isso abre caminho para a formação da camada de ozônio na estratosfera, como pode ser visto na Figura 12. (ITC, 2020; MORALES-MÉNDEZ; SILVA-RODRÍGUEZ, 2018)

O ozônio absorve a radiação UV de ondas curtas e a libera em comprimentos mais longos. Graças a isso, apenas uma pequena parte da radiação UV chega à terra (ITC, 2020; MORALES-MÉNDEZ; SILVA-RODRÍGUEZ, 2018).

Emissões de origem antropogênica empobrecem o O_3 presente nessa camada. As substâncias que têm um efeito desgastante no O_3 podem ser divididas em duas: NO_x e CFC (ITC, 2020; MORALES-MÉNDEZ; SILVA-RODRÍGUEZ, 2018).

Figura 12 - Esquema do processo de destruição da camada de ozônio



Fonte: Adaptado de ITC (2020).

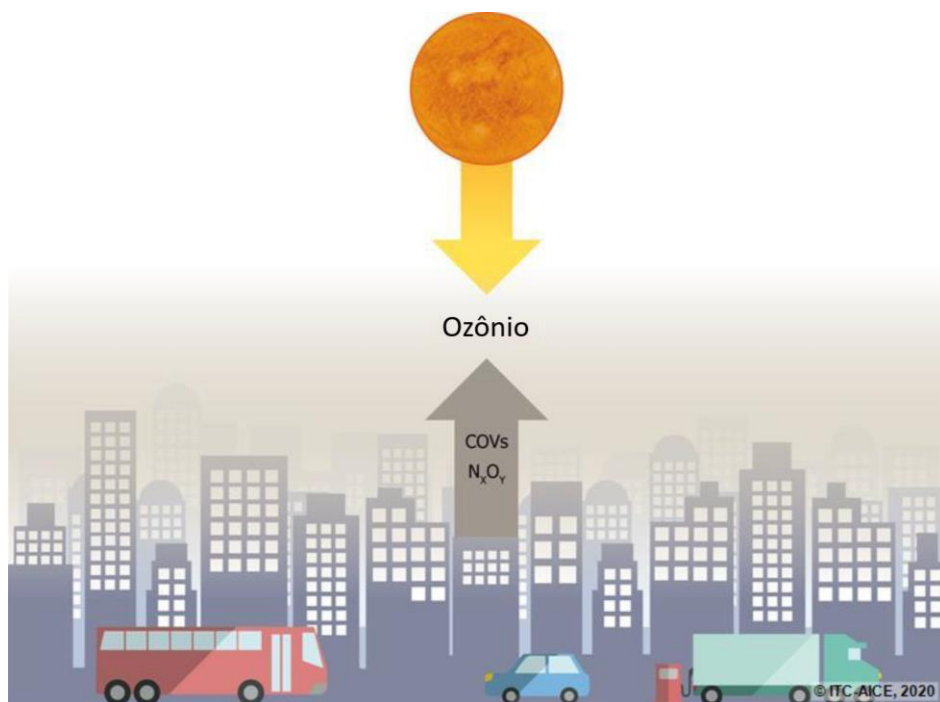
O ODP pode ser expresso em kg CFC-11 equivalente (ITC, 2020; MORALES-MÉNDEZ; SILVA-RODRÍGUEZ, 2018).

2.1.3.6.5. Potencial de formação de ozônio fotoquímico (oxidação fotoquímica)

A radiação solar, bem como a presença de NO_x e hidrocarbonetos na atmosfera, dão origem a reações químicas complexas que produzem produtos agressivos, como o ozônio. O potencial de formação de ozônio fotoquímico pode ser produzido artificialmente, nomeadamente devido à oxidação fotoquímica de gases emitidos por alguns veículos. Este tipo de transporte produz monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis (COV). Quando a luz solar atinge os COV, eles formam partículas transportadas pelo ar e ozônio troposférico comumente chamado de smog, como pode ser visto na Figura 13. As concentrações de ozônio são maiores no verão. Sua natureza tóxica pode afetar diretamente a saúde humana, causando irritação nos

olhos, trato respiratório e irritação pulmonar e perturbação dos ecossistemas (ITC, 2020; FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021).

Figura 13 - Esquema de formação de ozônio fotoquímico



Fonte: ITC (2020).

Para o cálculo desse parâmetro de impacto é utilizado o modelo LOTOS-EUROS. As unidades nas quais é expresso são kg NMVOC equivalentes, no entanto, existem autores que apresentam os resultados em kg de C₂H₄ equivalentes (ITC, 2020; BIRON, 2018).

2.1.3.6.6. Toxicidade Humana

Esse parâmetro ambiental mede o aumento estimado da taxa de mortalidade sobre a população humana total, por unidade de massa de produtos químicos, sendo eles carcinogênicos ou não (ITC, 2020).

A toxicidade humana (HT) inclui o Potencial de Toxicidade Humana por Ingestão (HTPI) e o Potencial de Toxicidade Humana por Inalação ou Exposição Dérmica (HTPE) (ITC, 2020; DURANTE; COMOGLIO; RIDGWAY, 2015).

De acordo com Li, Yang e Qian (2012), SO_x , NO_x , CO e PM_{10} são classificados como substâncias de toxicidade humana. Para cada substância tóxica, os HTPs são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno("DB")/kg de emissão (DURANTE; COMOGLIO; RIDGWAY, 2015).

2.1.3.6.7. Ecotoxicidade

Nos métodos de avaliação comuns três tipos de ecotoxicidade são considerados, incluindo ecotoxicidade terrestre, de água doce e marinha (ITC, 2020; BORRION; KHRAISHEH; BENYAHIA, 2012).

A ecotoxicidade terrestre é dominada pelas emissões de pesticidas para o solo agrícola, bem como pelo uso de ácido sulfúrico e vapor durante o processo de conversão (BORRION; KHRAISHEH; BENYAHIA, 2012).

A ecotoxicidade marinha é totalmente dominada pelas emissões de metais pesados e ácido sulfúrico, principalmente para o ar (BORRION; KHRAISHEH; BENYAHIA, 2012).

Ecotoxicidade de água doce considera o impacto das emissões de substâncias tóxicas para o ar, água e solo sobre a água doce e os ecossistemas (DINCER; BICER, 2018).

USES-LCA é usado para calcular o potencial de ecotoxicidade descrevendo o destino, exposição e efeitos de substâncias tóxicas, utilizando kg 1,4-diclorobenzeno("DB") equivalente para expressar os resultados (DINCER; BICER, 2018).

2.1.3.6.8. Formação de material particulado

A formação de material particulado começa com a emissão de NO_x , NH_3 , SO_2 ou $\text{PM}_{2.5}$ primário para a atmosfera, seguida pelo destino atmosférico e química no ar; NO_x , NH_3 e SO_2 são transformados no ar em aerossóis secundários. Posteriormente, o $\text{PM}_{2.5}$ pode ser inalado pela população humana, levando a um aumento do número de casos de mortalidade e danos finais à saúde humana (VAN ZELM *et al.*, 2016).

Este parâmetro leva em consideração a incidência de doenças como consequência das emissões de material particulado (PM2.5 em geral). O modelo utilizado na caracterização é o SETAC-UNEP (ITC, 2020).

2.1.3.6.9. Radiação ionizante

O ciclo do combustível nuclear, a extração de rocha fosfática, usinas de carvão e até mesmo a extração de petróleo e gás são fontes artificiais de liberações de radionuclédeos no ar e na água para o meio ambiente, podendo causar a radiação ionizante (FRISCHKNECHT *et al.*, 2000).

A radiação ionizante (IR) é muito prejudicial para os processos vitais, induzindo danos ao DNA que estão subjacentes a uma variedade de doenças humanas, incluindo o câncer (PEARSON *et al.*, 2021).

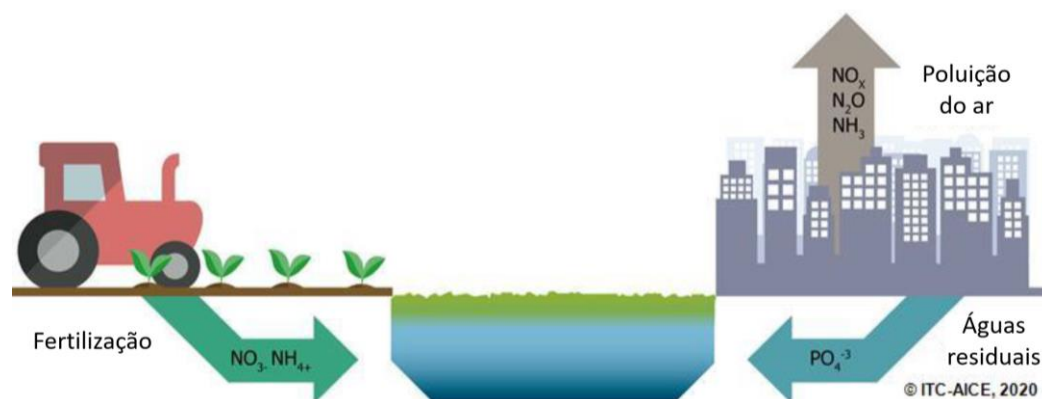
Esse impacto leva em consideração o impacto da radiação ionizante na população, em comparação com o urânio 235. A unidade de medida é o kBq U235 equivalente, e o modelo utilizado é o de efeitos na saúde humana (ITC, 2020).

2.1.3.6.10. Potencial de eutrofização

O potencial de eutrofização é responsável pelo enriquecimento de nutrientes no solo ou na água. Esse enriquecimento pode ser devido ao nitrogênio e fósforo provenientes de emissões poluentes, águas residuais e fertilizantes, originando o desenvolvimento excessivo de algas e plantas, como pode ser visto no esquema da Figura 14. Na água, esse desenvolvimento excessivo de microrganismos diminui as taxas de oxigênio e energia solar, levando à contaminação de plantas e águas subterrâneas na eutrofização terrestre (ITC, 2020; FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021).

Nos meios de água doce isso causa um crescimento acelerado de algas na superfície, impedindo a chegada da luz do sol nas águas mais profundas, o que, por sua vez, causa uma diminuição na fotossíntese e menor produção de oxigênio. O oxigênio também é usado para a decomposição de algas mortas (Figura 14) (ITC, 2020).

Figura 14 - Esquema do processo de eutrofização



Fonte: ITC (2020).

Nos solos eutrofizados observa-se uma maior suscetibilidade das plantas a doenças e pragas. Se o nível de nutrição exceder as quantidades de nitrogênio necessárias, pode levar a um enriquecimento de nitratos no solo, o que, por meio da lixiviação, pode levar a um alto teor de nitratos nas águas subterrâneas (ITC, 2020).

O modelo com os fatores de caracterização a serem usados no cálculo dessa categoria é o Modelo EUTREND, que é medido em kg PO_4^{3-} equivalente (ITC, 2020).

2.1.3.6.11. Potencial de qualidade do solo (Uso e transformação da terra)

O uso da terra é um dos principais fatores de perda de biodiversidade. As atividades de uso da terra podem contribuir para a extinção de espécies (BAAN *et al.*, 2013).

O índice de potencial de qualidade do solo utiliza a metodologia LANCA, com base em dados específicos de cada país e seus respectivos usos da terra. O método LANCA é composto por cinco indicadores: resistência à erosão, filtragem mecânica, filtragem físico-química, reabastecimento de águas subterrâneas e produção de bióticos. Este parâmetro de impacto ambiental possui unidades adimensionais (ITC, 2020).

2.1.3.7. Interpretação do ciclo de vida

Na interpretação da ACV a análise de inventário e a avaliação de impacto são realizadas em conjunto. Esta fase deve fornecer resultados de acordo com o objetivo e escopo definidos inicialmente, o que levará a conclusões e tomadas de decisão consistentes (ABNT NBR ISO 14040, 2014; PRYSHLAKIVSKY e SEARCY, 2021). Um exemplo disso foi identificado no estudo de Gabaldón-Estevan *et al.* (2014), no qual após analisar o inventário e os impactos gerados, decidiu-se reduzir a demanda por recursos hídricos e sedimentos e buscar um caminho para reduzir o peso dos revestimentos cerâmicos à redução de energia necessária para fabricação e transporte.

O estudo de Ros-dosdá *et al.* (2018), após analisar o inventário e os impactos gerados, percebeu que a frita do esmalte é um componente que gera uma alta pegada de carbono devido à sua elevada temperatura de fusão. Desta forma, a redução na quantidade de esmalte ou conteúdo de frita implicaria na quase redução proporcional de CO₂eq nas emissões. O estudo de Han *et al.* (2015), após analisar o inventário e os impactos gerados, percebeu que o gás natural é o maior contribuinte para o potencial de destruição da camada de ozônio, potencial de depleção abiótica e potencial de aquecimento global, ou seja, é necessário buscar o aumento da eficiência do gás natural, apesar disso, não havia medição de isolamento térmico para a tubulação de utilização de calor residual na indústria estudada, que também pode causar desperdício de calor desnecessário, esse seria outro ponto de atuação.

2.2. INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO

A produção mundial de revestimentos cerâmicos quase dobrou nos últimos anos e países como Espanha e Brasil se destacam por sua contribuição para esse crescimento, atuando principalmente no desenvolvimento de novos produtos e na melhoria dos processos de produção (MONFORT *et al.*, 2012).

Com este crescente desenvolvimento, duas tecnologias diferentes de fabricação se destacam: via seca e via úmida. Elas diferem entre si na etapa de preparação das matérias-primas para a fase de conformação. Ambas resultam em um granulado sólido pronto para utilização na fase de prensagem, mas com características diferentes. Desde 1990 o processo por via úmida tem sido o mais usado ao redor do mundo para a produção de revestimento cerâmico (MEZQUITA *et al.*, 2014).

Geralmente, a indústria de revestimentos cerâmicos traz grandes benefícios econômicos, porém, o alto consumo de energia e a emissão de poluentes causam impactos negativos (TIKUL e SRICHANDR, 2010).

Os problemas ambientais associados não só ameaçaram a segurança ecológica e a saúde humana, mas também reduziram a competitividade dos produtos no mercado internacional (VIEIRA DE SOUZA *et al.*, 2018; HUANG *et al.*, 2013).

Como resultado, há um amplo esforço de pesquisa dedicado à ACV de revestimentos cerâmicos em todo o mundo (YE *et al.*, 2018), assim, atualmente, muitos estudos têm abordado a emissão de poluentes e o consumo de energia durante a produção de revestimentos cerâmicos (HUANG *et al.*, 2013). Além disso, há uma grande quantidade de estudos de ACV relacionados à construção civil, porém a maioria dos estudos de caso de ACV foram realizados em países desenvolvidos da Europa e dos EUA, não existindo estudos comparáveis na literatura de países em desenvolvimento. Portanto, os indicadores de sustentabilidade em projeto, construção e operações precisam ser desenvolvidos e usados para atingir as considerações ambientais e energéticas em todo o mundo (ORTIZ *et al.*, 2009). Deste modo, segundo Gabaldón-Estevan *et al.* (2014), o grande desafio da indústria cerâmica é continuar a reduzir o consumo de energia, por meio da implementação de tecnologias que têm se mostrado eficazes nessa redução, sem perder de vista o processo de implementação de outras tecnologias mais recentes (chamadas "tecnologias inovadoras"), como as fontes de energia renováveis ou a maior eletrificação do processo produtivo.

2.2.1. Produtos

A norma NBR ISO 13006 (2020) introduziu a definição de revestimentos cerâmicos como: placa fina composta de argilas e/ou outras matérias-primas inorgânicas, geralmente usada como revestimento de pisos e paredes, conformada e subsequentemente secada e queimada a temperaturas suficientes para desenvolver as propriedades requeridas. A fim de classificar esses revestimentos, essa mesma norma utiliza diversos critérios para classificação das placas cerâmicas para revestimento: esmaltadas e não esmaltadas, métodos de fabricação, grupos de absorção de água, classes de resistência à abrasão superficial, classes de resistência ao manchamento e aspecto superficial ou análise visual.

Segundo Almeida *et al.* (2016), o produto de maior impacto é o porcelanato, isso indica que nas ACVs do porcelanato se encontram as condições mais críticas possíveis.

As principais características dessa tipologia são: absorção de água, que deve ser menor ou igual a 0,5%, estrutura homogênea e de baixíssima porosidade (NBR ISO 13006, 2020)

2.2.2. Processo Produtivo – via úmida

O processo produtivo do revestimento cerâmico é constituído por duas fases diferentes: a primeira em relação à fabricação da base, o “biscoito” (aquisição de materiais, preparação de massa, conformação, secagem), e a segunda em relação à fabricação do esmalte (aquisição de matérias-primas, preparação de frita e moagem), após isso, o esmalte é depositado no corpo cerâmico e, posteriormente, este conjunto é sinterizado (NICOLETTI *et al.*, 2002).

Em relação ao tipo de processo, desde 1990 a via úmida tem sido a mais usada ao redor do mundo, pois oferece ao produto uma maior qualidade. Apesar disso, esse processo consome mais energia e água e, conseqüentemente, é mais caro em termos econômicos e ambientais (MEZQUITA *et al.*, 2017).

Na sequência, são apresentadas todas as etapas de produção de um revestimento cerâmico, correlacionando cada uma delas com a sustentabilidade

(Avaliação do Ciclo de Vida), visto que esses são os principais temas a serem abordados no trabalho.

2.2.2.1. Extração da matéria-prima e transporte

A primeira etapa do processo de revestimento cerâmico é a escolha das matérias-primas, principalmente argilas, feldspatos e carbonatos.

As matérias-primas selecionadas seguem para o processo de mineração, que consiste na extração dessas. Alguns materiais são considerados adequados para utilização logo após a extração, ou seja, são encaminhados diretamente para o transporte até as indústrias (BOVEA *et al.*, 2006). Apesar disso, na maioria dos casos, a origem natural das matérias-primas faz com que se torne necessário um processo de beneficiamento (MEZQUITA *et al.*, 2017).

Esse processo de beneficiamento inicia com o carregamento das matérias-primas até o processo de trituração ou outros processos que se façam necessários, como por exemplo separação magnética a fim de retirar minerais com características metálicas ou uma pré-moagem a fim de reduzir a granulometria do material. Posteriormente as matérias-primas são estocadas em silos, em alguns casos transportadas por meio de correias transportadoras. Para serem levadas até os clientes (fábricas de revestimentos cerâmicos), são carregadas diretamente nos caminhões. Além destes processos, existem outros processos auxiliares, como aspersão do local de trabalho, utilização de água para evitar a formação de poeira etc. Desta forma, vários impactos na cadeia produtiva de revestimentos cerâmicos estão ligados a esta etapa. Além disso, problemas ambientais, alto consumo de energia, combustíveis fósseis são exemplos de impactos que ocorrem nessa etapa (BOVEA *et al.*, 2006).

Para iniciar uma análise do ciclo de vida na indústria de revestimentos cerâmicos é importante coletar a maior quantidade de dados possíveis, para que não se faça tão necessária a utilização de banco de dados, pois os veículos utilizados no Brasil para transporte de materiais e resíduos são distintos daqueles apresentados no banco de dados internacional, o que pode causar alguns erros na análise (CONDEIXA *et al.*, 2014).

2.2.2.2. Preparação da massa

Como o processo é úmido, as matérias-primas e aditivos são moídos com água em moinho de bolas, que podem ser contínuos ou não. Este processo resulta em uma suspensão, que é armazenada com agitação. A próxima etapa é a atomização, na qual essa suspensão é atomizada, ou seja, gotículas são borrifadas, entram em uma zona de maior temperatura e se transformam em partículas granulares, também conhecidas como "pó atomizado". Este pó possui baixo teor de umidade, possibilitando sua conformação na etapa posterior. Este método é utilizado na grande maioria das indústrias de cerâmica, devido às propriedades dos granulados obtidos: partículas devidamente arredondadas, com distribuição granulométrica, forma e fluidez específicas (MEZQUITA *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2000; TÜRKMEN, ÖZBILEN e DUHBACI, 2021).

Segundo Monfort *et al.* (2014), o custo energético para o processo de secagem por atomização é alto, mas é possível reduzir os impactos por meio do aproveitamento do calor a partir do gás de combustão e geração de eletricidade por meio da implementação de turbinas de cogeração.

2.2.2.3. Conformação / Prensagem

Segundo Bovea *et al.* (2007), nesta fase o revestimento cerâmico é conformado por meio da compressão mecânica do pó atomizado em prensas hidráulicas. Essa conformação ocorre por meio de altas pressões, dependendo da tipologia do material ou da característica que se deseja obter no revestimento cerâmico. Para porcelanatos, a pressão de compactação normalmente utilizada é entre 350 e 450 kgf/cm² (~35-45 MPa), podendo em alguns casos específicos chegar a 600 kgf/cm² (OLIVEIR; HOTZA, 2015).

O corpo cerâmico "verde" obtido, também denominado "biscoito", formado nesta etapa constitui o principal material de saída, que possui praticamente a mesma umidade que a massa de entrada (tipicamente entre 4-7%) (NICOLETTI *et al.*, 2002). Os principais resíduos da produção são constituídos, em grande parte, pelos restos de revestimento cru (rejeito cru), que normalmente são reaproveitados durante a preparação de massa.

Os principais resíduos dessa etapa, que normalmente são compostos de pó atomizado, podem ser reutilizados por meio da coleta dos mesmos e reincorporação no processo de moagem (PEREIRA, 2004; SOARES *et al.*, 2002).

2.2.2.4. Secagem

Após uma etapa de modelagem, o revestimento é seco para reduzir o teor de água necessário (restando <1% de água) para que as próximas etapas de esmaltação e sinterização sejam concluídas com sucesso (BOVEA *et al.*, 2007; NICOLETTI *et al.*, 2002).

A secagem ocorre por meio da exposição da peça cerâmica com a temperatura superior que se encontra dentro do secador, geralmente cerca de 170 °C. Embora os sistemas de secagem tenham sido desenvolvidos com novas tecnologias nos últimos anos, o consumo de energia ainda é alto devido à quantidade de calor necessária para a secagem (CAGLAYAN; CALISKAN, 2018). Esse calor, na maioria das vezes é obtido por meio da combustão do gás natural, gerando emissões atmosféricas (BOVEA *et al.*, 2010).

Essas emissões são reconduzidas por meio do sistema de exaustão, estas contêm quantidade limitada de produtos da combustão do gás natural e vapor d'água e ausência de material particulado. Tais emissões são consideradas praticamente irrelevantes em relação aos impactos ambientais, assim, a purificação das emissões gasosas normalmente não é necessária. Conforme referido, os principais resíduos resultantes do processo de produção consistem em restos de revestimento cru, normalmente reaproveitados durante a preparação de massa (PEREIRA, 2004).

2.2.2.5. Preparação de Esmalte

Os esmaltes são os revestimentos vítreos da superfície do piso ou azulejo. É geralmente uma substância vítrea que foi pré-fundida por queima (fritas de esmalte) (NICOLETTI *et al.*, 2002).

O processo de fabricação das fritas implica na fusão das matérias-primas, seguidas de resfriamento rápido em água. A fusão ocorre em temperaturas variando

entre 1300°C e 1500°C. É nesta etapa que ocorre a formação de um vidro (CETESB, 2008).

São aplicados na superfície para torná-la impermeável, mais dura, mais resistente, mais fácil de limpar e mais atraente (NICOLETTI *et al.*, 2002). Os principais materiais de entrada no processo correspondem às matérias-primas para fabricação do esmalte (fritas, caulim, areia, óxidos diversos, pigmentos, etc), os quais irão formar o esmalte para a aplicação com um determinado teor de água (suspensão de esmalte). O principal equipamento de produção é o moinho de bolas a úmido, que tem operação descontínua e é acionado por motor elétrico. O processo requer água para a moagem e para a lavagem do moinho, que por sua vez corresponde ao seu efluente líquido. O tratamento de efluentes (quando disponível) é realizado em locais que também tratam efluentes de diversos outros setores. Vários aditivos de natureza predominantemente orgânica também são usados na preparação do esmalte. Esses reagentes são adicionados ao esmalte para diversos fins: para fornecer fluidez, para criar uma suspensão estável, para evitar fermentação e espuma, etc. Incluídos nos reagentes estão os veículos serigráficos mencionados anteriormente (PEREIRA, 2004).

2.2.2.6. Esmaltação e decoração

Após a secagem, a cerâmica é transportada do secador para o setor de esmaltação por meio de correias transportadoras. O objetivo desta etapa é a aplicação do esmalte e a decoração da superfície da cerâmica. Os principais insumos nesta etapa são a cerâmica seca, o esmalte e a tinta serigráfica colorida, que estão prontas para aplicação (PEREIRA, 2004).

A aplicação dos esmaltes no corpo cerâmico pode ser realizada de diferentes maneiras. A escolha depende da forma, tamanho, quantidade e estrutura das peças, incluindo também o efeito que se deseja obter na superfície esmaltada. Entre estas técnicas podem ser citadas: imersão, pulverização, campana, cortina, disco, gotejamento e aplicação em campo eletrostático. Em muitas indústrias, e dependendo do segmento cerâmico, o setor da esmaltação é totalmente automatizado (CETESB, 2008).

Em alguns casos, além da aplicação de uma camada de esmalte, os revestimentos cerâmicos recebem uma camada de decoração por meio de uma impressão digital, neste processo as peças passam por impressoras, as quais atualmente utilizam a tecnologia de jato de tinta, alimentadas com tintas contendo pigmentos cerâmicos como agentes de coloração, possibilitando a elaboração de diversos tipos de decoração (GÜNGÖR *et al.*, 2016).

Os materiais de saída do processo são o revestimento com o esmalte “cru”. O processo utiliza água na lavagem dos equipamentos de aplicação da linha e do próprio setor, gerando efluentes líquidos em grandes quantidades. Os resíduos de produção incluem as sobras de revestimento de vários estágios do processo de esmaltação (PEREIRA, 2004).

2.2.2.7. Queima

Esta é a etapa do processo que confere as propriedades mecânicas, químicas e estéticas finais do material (MEZQUITA *et al.*, 2017). Após a redução da umidade e o recebimento da camada de esmalte, as peças são encaminhadas para fornos a um tratamento térmico entre 800 °C e 1.700 °C. A operação atua em três fases, que são: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; patamar durante certo tempo na temperatura especificada e resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C (CETESB, 2008). Em geral, para revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato, os ciclos de queima duram em média 30 min.

Este processo implica um consumo de energia significativo devido à maior demanda de temperaturas (ALMEIDA *et al.*, 2011) e envolve também o consumo de recursos naturais, incluindo água (ROS-DOSDÁ *et al.*, 2018b). Na maior parte da produção de revestimentos cerâmicos, a energia necessária para a etapa de queima é obtida pela combustão do gás natural, que é um combustível fóssil. A combustão do gás natural dá origem a emissões atmosféricas de dióxido de carbono, que é um gás com efeito de estufa, cujas emissões estão sujeitas a medidas internacionais de controle e redução (MEZQUITA *et al.*, 2014). Segundo Bovea *et al.* (2007), e Ibáñez-Forés *et al.* (2011), devido ao alto consumo de combustível, esta se torna a fase crítica relacionada ao meio ambiente.

2.2.2.8. Acabamento (retificação e polimento)

Normalmente, a maioria dos revestimentos cerâmicos são retirada dos fornos, inspecionada e remetida ao consumo. No entanto, alguns produtos requerem processamento adicional para atender a algumas características que não são possíveis de serem obtidas durante o processo de fabricação. O processamento pós-queima recebe o nome genérico de acabamento e pode incluir alguns processos como retificação e polimento (CETESB, 2008).

O processo de retificação do revestimento cerâmico, também chamado de esquadrejamento, consiste em usinar as arestas da peça para deixá-las retas, paralelas duas a duas e perpendiculares às outras duas, além de controlar e calibrar o tamanho da peça. As linhas industriais atuais são baseadas em cabeçotes múltiplos (rebolos abrasivos) (SERRANO; ABELLÁN; BRUSCAS, 2021).

Já a etapa de polimento, consiste basicamente em abrasionar a superfície do revestimento cerâmico. Geralmente esse processo é realizado por meio de uma máquina de polimento, a qual pode ser dividida em algumas etapas, cada uma usando peças de desbastes diferentes, a fim de nivelar irregularidades, refinar e eliminar pequenas cavidades da superfície, aumentando permanentemente o brilho da mesma (WANG; WEI; YUAN, 2002).

2.2.2.9. Seleção e Embalagem

Após completar o processo de queima, os revestimentos são encaminhados ao processo de classificação, no qual são separadas com base na qualidade (GABALDÓN-ESTEVAN; CRIADO; MONFORT, 2014). Essa é a etapa do processo em que as peças são classificadas primeiro por uma inspeção visual e, em seguida, automaticamente, são divididas em categorias (níveis de qualidades) (BOVEA *et al.*, 2007; ZANELLI *et al.*, 2021). Há peças que acabam não passando nesse processo de seleção, ou seja, não servem para nenhuma categoria por apresentarem defeitos e não devem ser embaladas e vendidas, desta forma esse material precisa ser descartado, gerando um dos principais resíduos da produção, o “rejeito cozido” (PEREIRA, 2004).

Após isso o revestimento está pronto para ser embalado por meio de maquinários, desta forma primeiramente são envolvidos com caixas de papelão e colocados em paletes diferentes, dependendo da classificação. Por fim, os paletes são embalados com plástico filme para proteção (BOVEA *et al.*, 2007).

2.2.3. Panorama do Setor

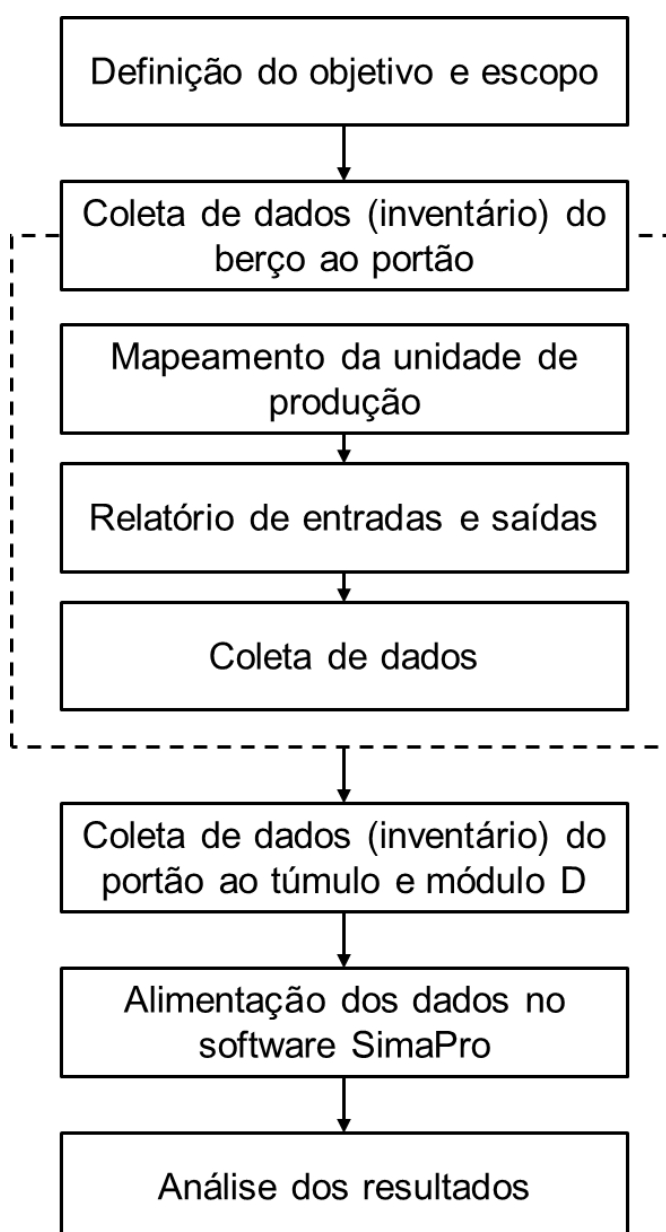
Atualmente, os materiais mais comuns na construção civil têm sido os revestimentos cerâmicos, apesar disso, seus impactos ambientais em toda a cadeia devem ser considerados (ALMEIDA *et al.*, 2011). Como consequência, a ACV tem se tornado uma metodologia cada vez mais reconhecida e utilizada no setor industrial da cerâmica, com o objetivo de alcançar maiores níveis de sustentabilidade no sistema de produção (FAVA, 2006; LO GIUDICE *et al.*, 2017). Com este desenvolvimento acelerado, esta ferramenta tem sido assumida como um recurso motivador nas políticas governamentais.

Além disso, as ACVs estão sendo amplamente aplicadas em toda a cadeia de valor, oferecendo oportunidade de abordar um produto ou processo de forma holística para interpretar os impactos e suas causas (XU *et al.*, 2019).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para atender ao objetivo do trabalho, o mesmo foi dividido em algumas etapas que estão descritas no fluxograma expresso na Figura 15, e que serão melhor explicados no decorrer deste capítulo.

Figura 15 – Etapas do procedimento



Fonte: Autora (2022).

3.1. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

A seguir, são expostos os objetivos e escopo seguidos para o presente estudo de ACV.

3.1.1. Objetivos

3.1.1.1. Aplicação pretendida

Obter uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) das placas cerâmicas, fabricadas por uma empresa de Revestimentos Cerâmicos, com polos de produções em Santa Catarina e Bahia, por meio das normas ISO 14040, 14044, 14025 e EN 15804:2012+A2 (2019).

Este tipo de cerâmica é classificada mundialmente pelo seu Grupo de Absorção e método de conformação (ISO 13006). Cada grupo de absorção tem uma tabela de especificação das propriedades das placas cerâmicas, conforme se indica na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos revestimentos cerâmicos

Absorção de água	Classe
<0,5%	Bla
>0,5% a ≤3%	B Ib
>3% a ≤6%	B IIa
>6% a ≤10%	B IIb
>10%	B III

Fonte: ABNT NBR ISO 13006 (2020).

Todos os produtos desses grupos de absorção de água estarão inclusos nesta ACV por fazerem parte das produções de alguma unidade em estudo.

3.1.1.2. Razões para realizar o estudo

Determinar os estágios ou processos do ciclo de vida dos revestimentos cerâmicos que mais contribuem para determinados impactos ambientais, a fim de estabelecer medidas de melhoria e, além disso, utilizar os resultados como uma ferramenta de comunicação B2B (*Business to Business*) ou B2C (*Business to Consumer*).

3.1.1.3. Destinatários pretendidos

Aos demais colaboradores da empresa, para que esses entendam e colaborem com a sustentabilidade empresarial e aos clientes, para que esses valorizem os produtos da empresa e identifiquem a ACV como um diferencial na hora da escolha entre fornecedores (competitividade).

3.1.2. Escopo

3.1.2.1. Funções do produto

Os revestimentos cerâmicos em estudo são destinados e aplicados tanto para revestimentos de piso como de parede, instalados em ambientes internos e externos, para uso residencial, em áreas comerciais e industriais, em edifícios públicos, piscinas internas e fachadas a depender das características técnicas de cada produto, devido às possibilidades oferecidas em termos de combinação de design e durabilidade.

3.1.2.2. Características técnicas

Os revestimentos cerâmicos, produzidos pela empresa e presentes nessa ACV, estão em conformidade com as normas e especificações presentes na Tabela 6.

Tabela 6 - Normas e especificações usadas para o controle dos revestimentos cerâmicos produzidos na empresa

Controle	Norma para metodologia de ensaio	Norma para especificação
Determinação das dimensões e qualidade superficial	ABNT NBR ISO 10545-2	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente	ABNT NBR ISO 10545-3	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão	ABNT NBR ISO 10545-4	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência ao impacto pela medição do coeficiente de restituição	ABNT NBR ISO 10545-5	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência à abrasão profunda para placas não esmaltadas	ABNT NBR ISO 10545-6	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência à abrasão superficial para placas esmaltadas	ABNT NBR ISO 10545-7	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da expansão térmica linear	ABNT NBR ISO 10545-8	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência ao choque térmico	ABNT NBR ISO 10545-9	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da expansão por umidade	ABNT NBR ISO 10545-10	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência ao gretamento de placas esmaltadas	ABNT NBR ISO 10545-11	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência ao congelamento	ABNT NBR ISO 10545-12	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência química	ABNT NBR ISO 10545-13	ABNT NBR ISO 13006
Determinação da resistência ao manchamento	ABNT NBR ISO 10545-14	ABNT NBR ISO 13006
Determinação de cádmio e chumbo presentes nas placas cerâmicas esmaltadas	ABNT NBR ISO 10545-15	ABNT NBR ISO 13006
Determinação de pequenas diferenças de cor	ABNT NBR ISO 10545-16	ABNT NBR ISO 13006
Determinação do coeficiente de atrito	ABNT NBR ISO 16919	ABNT NBR ISO 16919
Desempenho	ABNT NBR ISO 15575	ABNT NBR ISO 15575

Fonte: Autora (2022).

As dimensões dos produtos acabados variam entre 75 mm x 75 mm a 1200 mm x 1200 mm, a espessura varia entre 5,2 mm a 14 mm. Essas variações de tamanhos e espessuras fazem com que o peso médio do produto final (revestimento cerâmico queimado) varie entre 10,7 kg/m² e 22,5 kg/m².

3.1.2.3. Unidade Funcional

A unidade funcional do revestimento cerâmico é de 1 m² cobrindo a superfície (piso, paredes, fachadas, entre outras) com peso médio de 17,2 kg com vida útil de 55 anos.

Segundo ANFACER (2020), a vida útil dos revestimentos cerâmicos é geralmente superior a 50 anos. De acordo também com o US Green Building Council (2021), a vida útil dos revestimentos pode ser tão longa quanto a vida útil do próprio edifício, portanto, 60 anos pode ser uma vida alternativa para os revestimentos. Sendo assim, o presente estudo irá considerar uma vida útil média dos revestimentos cerâmicos de 55 anos.

3.1.2.4. Definição do sistema

A definição do sistema foi dividida em módulos, conforme indicado pela regra de categoria do IBU (2017). Desta forma, toda a análise do ciclo de vida do produto foi considerada, ou seja, do berço ao túmulo, com exceção de alguns módulos (B1, B3, B4, B5, B6, B7 e C1) como sugerido pela regra de categoria que o estudo seguiu IBU (2017), essa definição está descrita a seguir e ilustrada na Figura 16.

- Os módulos A1-A3 incluem aqueles processos que fornecem energia e entrada de materiais para o sistema A1, transporte até o portão A2, processos de fabricação, bem como processamento de resíduos A3.
- O módulo A4 inclui o transporte do local de produção ao cliente ou ao local de instalação dos revestimentos.
- Módulo A5 considera todas as etapas de instalação de revestimentos e processamento de resíduos de embalagem (reciclagem, incineração, descarte). Caso exista incineração, os créditos de substituição de energia são declarados no módulo D. Como a empresa em estudo não realiza incineração com os resíduos, não haverá energia declarada no módulo D.
- O módulo B1 considera o uso dos revestimentos. Durante o uso dos revestimentos cerâmicos não são esperadas nenhum tipo de emissões

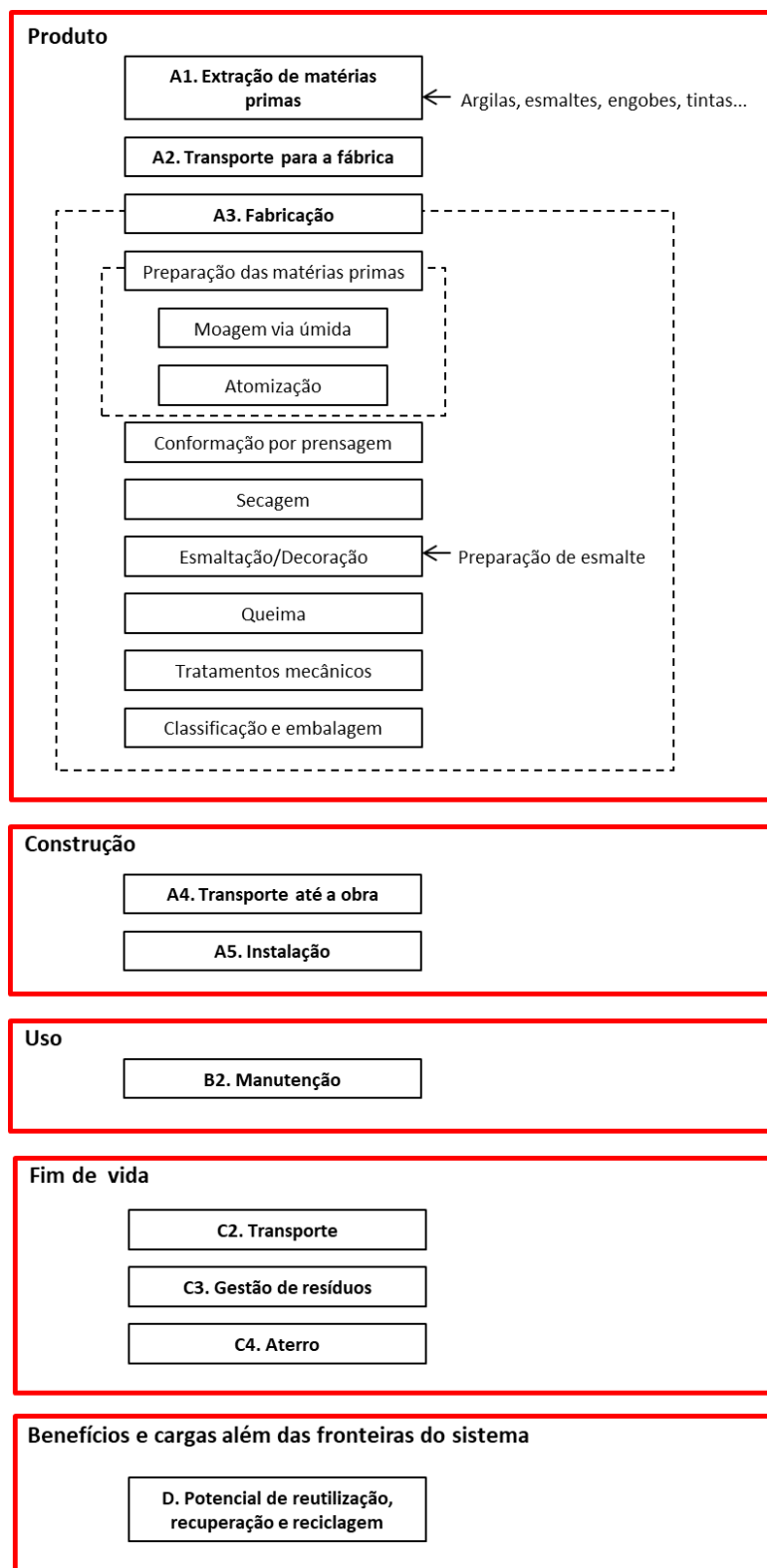
perigosas em interiores, por este motivo no caso de revestimentos cerâmicos este módulo não é aplicável.

- O módulo B2 inclui a limpeza dos revestimentos. Fornecimento de água, agente de limpeza para a limpeza dos revestimentos, que inclui o tratamento de água poluída.
- Os módulos B3-B4-B5 estão relacionados com a substituição de reparação e renovação dos revestimentos. Se a placa for instalada corretamente, nenhum processo de reparo substituição ou renovação será necessário, por este motivo, no caso de revestimentos cerâmicos, este módulo não é aplicável.
- Os módulos B6-B7 consideram o uso de energia para operar sistemas técnicos integrados de edifícios B6 e o uso de água operacional para sistemas relacionados a edifícios técnicos, no caso de revestimentos cerâmicos estes módulos não são aplicáveis.
- O módulo C1 diz respeito ao processo de demolição e desconstrução dos revestimentos do edifício, para revestimentos cerâmicos, esse módulo não é relevante.
- O módulo C2 considera o transporte dos revestimentos descartados para um processo de reciclagem ou descarte.
- O módulo C3 engloba todos os processos (coleta, processo de trituração, etc.) para reciclar adequadamente os revestimentos.
- O módulo C4 inclui todo o processo de disposição para o aterro, incluindo pré-tratamento e gerenciamento do local de disposição.
- O módulo D considera o potencial de reutilização, recuperação e reciclagem, expressando como cargas e benefícios líquidos.

3.1.2.5. Limites do sistema

Os limites do sistema estão demonstrados na Figura 16, por meio de fluxograma, no qual tudo que está dentro da linha vermelha, foi incluso no sistema da ACV, alguns módulos não foram considerados pelos motivos já expostos no item 3.1.2.4.

Figura 16 – Limites do sistema



Fonte: Autora (2022).

3.1.2.6. Critérios de exclusão

De acordo com a EN 15804:2012+A2 (2019) pode-se excluir apenas os dados de entrada de materiais (massa) que não foram encontrados nos bancos de dados, utilizando os seguintes critérios de exclusão:

“No caso de dados de entrada insuficientes ou lacunas de dados para um processo unitário, os critérios de corte devem ser 1% do uso de energia primária renovável e não renovável e 1% da entrada em massa total desse processo unitário. O total de fluxos de entrada negligenciados por módulo, por exemplo, por módulo A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 e módulo D deve ser no máximo, 5% do uso em massa e energia.”

Apesar da existência dessa regra, neste estudo todos os dados foram mantidos no inventário independente do grau de representatividade, pois todas as informações foram disponibilizadas.

Os dados que não foram inclusos neste inventário são:

- Produção de máquinas e equipamentos industriais;
- Materiais de manutenção de máquinas e equipamentos, resíduos de reformas do pavilhão, água para consumo humano, etc., por não estarem diretamente ligados ao produto final;
- Algumas hipóteses adotadas estão descritas ao longo da coleta de dados.

3.1.2.7. Requisito de qualidade de dados

Para atender aos objetivos e escopo do sistema, os dados do estudo atenderam aos seguintes requisitos:

- Representatividade temporal: Os dados específicos sobre a fabricação dos revestimentos cerâmicos seguiram as normas ISO 14044 e EN 15084, desta forma são os mais atualizados possíveis correspondentes ao ano de 2019;
- Representatividade geográfica: Os dados foram de origem brasileira, na sua falta, bancos de dados internacionais foram utilizados, sempre tentando aproximar ao máximo da realidade da empresa;
- Representatividade tecnológica: Os processos usados foram considerados tecnologias atuais;

- Precisão: Sempre que possível, o desvio dos dados exibidos foi mostrado, por meio da matriz pedigree;
- Integridade: Todos os processos relevantes da análise do ciclo de vida dos revestimentos cerâmicos fabricados pela empresa foram incluídos;
- Reprodutibilidade: Todas as decisões metodológicas e valores de dados foram descritos em detalhes para que um profissional independente possa reproduzir os resultados obtidos no estudo.
- Fonte de dados: A todo momento, a fonte dos dados utilizados foi mostrada, sejam eles diretos da fábrica, fornecedores, bancos de dados, fontes bibliográficas, suposições, etc. Como base foram utilizados dados e medições diretas dos centros de produção da empresa. Nos processos em que não há dados específicos e diretos foram utilizados os modelos incluídos no banco de dados do Ecoinvent (2021).

Caso algum dado não atenda a esses requisitos, ele foi claramente indicado na descrição do inventário.

3.1.2.8. Procedimento de alocação

O processo de alocação não foi necessário, levando em conta que a empresa em estudo não possui coprodutos, apenas produz revestimento cerâmico.

3.2. DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – BERÇO AO PORTÃO (A1-A3)

3.2.1. Mapeamento de todas as unidades

Essa etapa utilizou os dados reais coletados no parque fabril da empresa, a qual possui cinco unidades fabris. Por meio de visitas e reuniões com responsáveis de cada etapa do processo, montou-se um mapeamento em forma de fluxograma detalhado, mostrando todos os equipamentos utilizados dentro de cada uma das unidades fabris conforme pode ser visto no ANEXO A – MATERIAIS EXTRAS.

Esses dados qualitativos do parque fabril estão atualizados referentes ao ano de 2020, porém são representativos também ao ano de 2019, levando em conta que todas as alterações feitas de 2019 para 2020 estão relatadas no mapeamento, conforme ANEXO A – MATERIAIS EXTRAS.

3.2.2. Relatório de entradas e saídas

Por meio desse mapeamento montou-se um relatório de entradas e saídas, no qual foram contabilizados todos os equipamentos em cada unidade de produção da empresa e inserindo para cada um deles as possíveis entradas e saídas qualitativas, para que, posteriormente, fossem conhecidos quais os dados quantitativos deveriam ser coletados para cada etapa de cada unidade, conforme pode ser visto no ANEXO B – TABELAS E GRÁFICOS DE RESULTADOS.

3.2.3. Coleta de dados comuns entre as unidades

Todos os dados foram coletados mensalmente e por unidade de fabricação, a fim de facilitar a identificação das causas de impacto e a tomada de decisões após a finalização dessa ACV. Essas unidades foram divididas em: unidade I (inclui a produção da unidade I, de peças especiais, artística, *cleantec* e fachada ventilada), unidade II, unidade III, unidade IV e unidade V. Dessa forma, os cálculos foram feitos a cada mês e por unidade de fabricação, apesar disso, os dados finais do inventário

foram obtidos por meio dos valores anuais (soma dos valores mensais) e de uma média ponderada referente à produção de cada unidade, levando em conta a intenção de se obter uma ACV que contemple todas as unidades fabris.

3.2.3.1. Produção de revestimento cerâmico

De início, coletou-se os dados de produção de revestimentos cerâmicos no período de 2015-2019 de todas as unidades, para se obter dados quantitativos da produção. Essa coleta de dados utilizou os seguintes detalhamentos:

- Unidade de produção;
- Bitolas (formato);
- Tipologias (grupo de absorção);
- Data de fabricação;
- Referência de produto (Nome do produto);
- Quantidade expedida (m^2);

Esses dados já foram disponibilizados na unidade funcional (m^2), por este motivo não foi necessário realizar cálculos de conversão.

3.2.3.2. Produção de pó atomizado

Por meio de dados registrados em cada unidade montou-se um relatório de produção de pó atomizado no período de 2015-2019. Essa coleta de dados utilizou os seguintes detalhamentos:

- Unidade de produção;
- Data de produção;
- Quantidade produzida por cada central de massa;
- Quantidade consumida por cada unidade;
- Quantidade produzida para cada tipologia de produto;
- Tipo de combustível utilizado;

Esses dados foram transformados em kg e utilizados nos cálculos juntamente com a produção de revestimentos, transformando as informações na unidade funcional, para isso, utilizou-se a Eq. 1 :

$$Produção de pó atomizado (kg) = Produção de pó atomizado (ton) * 1000$$

Eq. 1

3.2.3.3. Controle de peso bruto e peso final do revestimento

Por meio de relatórios gerados do sistema da empresa foi possível obter as informações das médias de peso final referentes ao ano de 2019. Essa coleta de dados utilizou os seguintes detalhes:

- Unidade de produção;
- Bitolas (formato);
- Data de fabricação;
- Espessura;
- Massa (kg);

Os dados de peso bruto foram obtidos por meio dos dados de produção de revestimento cerâmico e produção de pó atomizado. Como 100% do pó atomizado utilizado é produzido internamente e nada é vendido, foi possível calcular o peso bruto conforme Eq. 2 :

$$Peso\ bruto\ (kg/m^2) = \frac{Produção\ pó\ atomizado\ (kg)}{Produção\ revestimento\ (m^2)}$$

Eq. 2

3.2.3.4. Cálculo de peso médio (kg/m²)

Por meio dos dados obtidos no item 3.2.3.3 foi possível realizar uma média anual para 2019 de peso final por m² de produto.

Cálculos utilizados para calcular o peso/m² de cada tipologia:

Primeiramente calculou-se a área das peças para cada tipologia por meio da Eq. 3:

$$Área\ (m^2) = \frac{L1\ (cm)}{100} \cdot \frac{L2\ (cm)}{100}$$

Eq. 3

Como os dados iniciais disponíveis eram por peso da caixa, foi necessário dividir pela quantidade de peças por caixa, para depois dividir pela área, conforme Eq. 4:

$$\text{Peso do produto final (kg/m}^2\text{)} = \frac{\left(\frac{\text{Peso da caixa (kg)}}{\text{n}^\circ \text{ de peças por caixa}} \right)}{\text{Área da peça (m}^2\text{)}}$$

Eq. 4

Como esses cálculos foram realizados por tipologia, realizou-se uma média ponderada levando em conta a produção anual de cada tipologia de produto.

3.2.3.5. Quebras

Por meio de relatórios gerados do sistema da empresa foi possível obter as informações de m² de quebra referentes ao ano de 2019. Essa coleta de dados utilizou os seguintes detalhamentos:

- Unidade de produção;
- Bitolas (formato);
- Data de fabricação;
- m² de quebra;
- Referência (nome do produto), porém esse detalhamento se torna irrelevante, pois não é necessário saber qual produto em específico quebrou, e sim as quantidades.

Esses dados de quebra foram transformados para kg/m², para poder correlacionar com a entrada de reutilização na moagem, para isso, utilizou-se a Eq. 5:

$$\text{Quebras} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Quebra (m}^2\text{)} * \text{Peso do produto} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}}$$

Eq. 5

Como considera-se que as quebras possuem circuito fechado, ou seja, essas são reutilizadas dentro do próprio processo, sendo assim, as mesmas não foram alimentadas no software como uma saída que gerasse impacto referente a descarte ou reciclagem.

3.2.3.6. Consumo de combustíveis

A Tabela 7 identifica os setores onde ocorre utilização de cada combustível, tornando possível identificar quais os dados que seriam necessários coletar.

Tabela 7 - Utilização de combustíveis por setor

Unidade	Setor	Consumo de GN	Consumo de Carvão
I	Secagem	X	
	Queima	X	
	Ponto de cola	X	
II	Preparação de massa (central de massa)	X	X
	Secagem	X	
	Queima	X	
III	Secagem	X	
	Queima	X	
IV	Preparação de massa (central de massa)	X	
	Secagem	X	
	Queima	X	
V	Preparação de massa (central de massa)	X	
	Secagem	X	
	Queima	X	
	Ponto de cola	X	

Fonte: Autora (2022).

Pode-se perceber por meio da Tabela 7 que na unidade II (preparação de massa), há dois tipos de combustíveis consumidos, gás natural e carvão, isso ocorre pois os atomizadores 1, 3 e 4 utilizam carvão e o atomizador 2 utiliza gás natural. Essas peculiaridades são consideradas nos cálculos de consumo de combustível. O nível de detalhamento utilizado foi:

- Data de produção (mensal);
- Setor (etapa do processo);

- Equipamentos;
- Consumo de combustíveis (GN em m³ e Carvão em ton);
- Produção de pó atomizado com carvão e com GN.

Cálculos para GN:

Para o setor de preparação de massa (atomização) foi utilizada a Eq. 6:

$$\text{Consumo de GN} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ gás}}{\text{m}^2 \text{ produzido}} \right) = \frac{\text{Consumo de GN (m}^3\text{)} * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Produção pó atomizado com GN (kg)}}$$

Eq. 6

Para o setor de secagem e queima foi utilizada a Eq. 7:

$$\text{Consumo de GN} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ gás}}{\text{m}^2 \text{ produzido}} \right) = \frac{\text{Consumo de GN (m}^3\text{)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}}$$

Eq. 7

Cálculos para Carvão:

Para o setor de preparação de massa (atomização) foi utilizada a Eq. 8:

$$\text{Consumo de Carvão} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Consumo de Carvão (kg)} * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Produção de pó atomizado com Carvão (kg)}}$$

Eq. 8

3.2.3.7. Consumo de energia elétrica

Unidades produtivas:

A empresa possuía o dado real do consumo total de energia elétrica de cada uma das unidades. Os dados por setor produtivo são dados calculados por meio do setor de custos da empresa, levando em conta o consumo dos equipamentos presentes em cada setor, sendo que através destes consumos, é possível determinar a porcentagem de participação de cada equipamento no consumo total, agrupar por

setor e realizar um rateio com base nos valores totais de cada unidade. Ou seja, não são dados estimados e nem dados reais, mas sim dados calculados.

Central de compostagem (CCE):

A CCE não possuía controle de energia elétrica, desta forma, no ano de 2020 foram instalados temporariamente medidores de consumo de energia nos equipamentos utilizados, para que esses dados pudessem ser estimados, desta forma, chegou-se ao resultado médio estimado por mês.

Estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de esgoto (ETE):

Com relação ao consumo de energia elétrica da ETA e da ETE das unidades I, II e III, havia controle individual, com relação às ETEs da unidade V e IV, o consumo estava incluso dentro do próprio consumo da unidade produtiva.

Cálculos utilizados para energia elétrica (EE):

Para o setor de preparação de massa e prensagem foi utilizada a Eq. 9:

$$\text{Consumo de EE} \left(\frac{kWh}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de EE (kWh)} * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{kg}{m^2} \right)}{\text{Produção de pó atomizado (kg)}}$$

Eq. 9

Para o setor de preparação de cobertura foi utilizada a Eq. 10:

$$\text{Consumo de EE} \left(\frac{kWh}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de EE (kWh)} * \text{Peso médio da cobertura} \left(\frac{kg}{m^2} \right)}{\text{Produção de cobertura (kg)}}$$

Eq. 10

Para os demais setores foi utilizada a Eq. 11:

$$\text{Consumo de EE} \left(\frac{kWh}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de EE (kWh)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}}$$

Eq. 11

3.2.3.8. Emissões atmosféricas

A empresa possui o controle de emissões atmosféricas de acordo com a legislação de referência SEMA 016/2014, CONAMA nº 436/2006 e Lei Estadual nº 14.675/2009, que possuem padrões para emissões da etapa de atomização. Com relação as demais etapas que geram emissões, como fornos e secadores, a lei Estadual nº 14.675/2009 diz em seu Art. 179 que “a definição dos padrões de qualidade do ar deve ser aquela prevista em normas federais, cabendo ao CONSEMA estabelecer padrões adicionais aos existentes no âmbito federal.” Até o ano de 2021 não haviam definições estaduais que se aplicassem ao processo produtivo em questão, por este motivo, estes controles não foram inseridos no presente estudo. Desta forma, os dados inseridos neste inventário consideram apenas os seguintes controles:

Unidades I, II, III e V: Controle de emissões atmosféricas anual de todos os atomizadores para os parâmetros de Material Particulado e SO₂;

Unidade IV: Controle de emissões atmosféricas anual dos atomizadores 1, 2 e 3 para os parâmetros de Material Particulado, SO₂ e NO₂;

A Eq. 12 mostra os cálculos com emissões atmosféricas para transformá-las na unidade funcional:

$$\frac{mg \text{ emissão}}{m^2 \text{ produzido}} = vazão \text{ chaminé} \left(\frac{Nm^3}{h} \right) * Concentração \text{ de emissão} \left(\frac{mg}{Nm^3} \right) * tempo \text{ de produção} \left(\frac{h}{m^2} \right)$$

Eq. 12

O tempo de emissão foi calculado por meio da Eq. 13:

$$Tempo \text{ de emissão} \left(\frac{h}{m^2} \right) = \frac{8760 (h)}{Produção \text{ anual} (m^2)}$$

Eq. 13

Sendo que 8760h equivale ao total de horas em um ano.

Além disso, também foram consideradas as emissões da queima dos combustíveis (Gás Natural e Carvão). Para obter esses dados, utilizou-se a ferramenta de cálculo do GHG Protocol (AESP FGV, 2021), no qual os consumos de combustíveis foram inseridos e os dados de tCO₂e foram gerados.

Dados de entrada na ferramenta de cálculo:

- Para o Gás natural: Gás Natural Seco;
- Para Carvão: Carvão Vapor 4700 kcal / kg;

Esse valor final de tCO₂e é uma medida internacionalmente aceita que expressa a quantidade de gases de efeito estufa (CO₂ - Dióxido de carbono, CH₄ - Gás Metano e N₂O - óxido nitroso) em termos equivalentes da quantidade de dióxido de carbono.

Os cálculos utilizados para transformar os dados de tCO₂e referentes aos combustíveis utilizados na etapa de preparação de massa para a unidade funcional foram os da Eq. 14:

$$\frac{tCO_2e}{m^2} = \frac{tCO_2e * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{kg}{m^2}\right)}{\text{Produção de pó atomizado} (kg)}$$

Eq. 14

Já para calcular os dados de tCO₂e referentes aos combustíveis utilizados nas demais etapas do processo para a unidade funcional foi usada a Eq. 15:

$$\frac{tCO_2e}{m^2} = \frac{tCO_2e}{\text{Produção}(m^2)}$$

Eq. 15

3.2.3.9. Geração de resíduos

Os controles de geração de resíduos existentes são agrupados da seguinte forma: dados agrupados das unidades I, II e Central de Massa da II, unidade III, unidade IV, unidade V, ETA e ETE. Os dados agrupados foram desmembrados por meio de um rateio pela produção de cada uma das unidades. A Tabela 8 lista os resíduos e suas destinações.

Tabela 8 - Resíduos gerados e suas destinações

Resíduo	Destinação
Papel/Papelão	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Plástico	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Ráfia	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Fitolho	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Madeira	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Rolo de Papelão (tubete)	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Lodo ETE	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Torta de Polimento	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Rolo Refratário	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Cinza de Carvão	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Cinza Grossa	Vendido/Doado para ser reutilizado em alguma outra empresa
Diversos	Aterro
Contaminado	Aterro

Fonte: Autora (2022).

Os dados do rolo de papelão (tubete) foram fornecidos em unidades (un), e para transformar para unidade funcional bastou utilizar a Eq. 16:

$$Geração\ de\ resíduo\left(\frac{kg}{m^2}\right) = \frac{Geração\ resíduo\ tubete\ (un) * peso\ da\ unidade\ de\ tubete\ \left(\frac{kg}{un}\right)}{Produção\ de\ revestimento\ (m^2)}$$

Eq. 16

O peso unitário do Rolo de papelão (tubete) foi considerado 1,5 kg.

Os demais já foram fornecidos em unidade de massa (ton ou kg), aqueles que foram fornecidos em ton foram transformados para kg por meio da Eq. 17:

$$Massa\ (kg) = massa\ (ton) * 1000$$

Eq. 17

Logo após, esses valores foram transformados para a unidade funcional por meio da Eq. 18:

$$Geração\ de\ resíduo\left(\frac{kg}{m^2}\right) = \frac{Geração\ de\ resíduo\ (kg)}{Produção\ de\ revestimento\ (m^2)}$$

Eq. 18

3.2.4. Coleta de dados específicos por setor

Todos os dados foram coletados mensalmente e por unidade de fabricação, a fim de facilitar a identificação das causas de impacto e a tomada de decisões após a finalização da ACV. Dessa forma, os cálculos foram feitos por mês e por unidade de fabricação, apesar disso, os dados finais do inventário foram obtidos por meio dos valores anuais (soma dos valores mensais) e de uma média ponderada referente à produção de cada unidade, levando em conta a intenção de se obter uma ACV que contemple todas as unidades fabris.

3.2.4.1. Consumo de matérias-primas utilizadas nas centrais de massa

Na empresa, as matérias-primas são recebidas virgens (ou beneficiadas quando necessário), desta forma, coletou-se os dados de todas as matérias-primas recebidas pelas 3 centrais de massa da empresa. Essa coleta de dados utilizou os seguintes detalhamentos:

- Recebimento de cada matéria-prima;
- Qual a central de massa onde foi recebida a matéria-prima e utilizada;
- Fornecedor;
- De onde vem a matéria-prima;
- Quantos km ela roda até chegar à empresa;
- Qual o meio de transporte utilizado e a capacidade do mesmo.

Devido à grande quantidade de diferentes matérias-primas e também da variação de identificação de uma mesma matéria-prima, essas foram agrupadas levando em conta a similaridade mineralógica, a distância percorrida para chegar até a empresa, tipo de transporte e capacidade do mesmo. O agrupamento detalhado pode ser visto na Tabela 9, a descrição de cada matéria-prima foi alterada para códigos (letras), devido à confidencialidade da informação.

Tabela 9 - Agrupamento das matérias-primas utilizadas na massa

Nome do agrupamento	Matérias-primas que compõe	Distância transporte (km)	Distância média (km)	Meio de transporte utilizado	Capacidade do meio de transporte utilizado (ton)
A	A1	298	298	Caminhão	33
B	B1	29 a 40	34,5	Caminhão	33
	B2	8	8	Caminhão	33
	B3	408 a 437	440,5	Caminhão	30 a 37
	B4	57 a 60	58,5	Caminhão	33
	B5	395	395	Caminhão	35
	B6	11 a 25	18	Caminhão	33
	B7	150	150	Caminhão	33
	B7	280	280	Caminhão	33 a 39
C	C1	49 a 54	51,5	Caminhão	33
D	D1	1200	1200	Caminhão	25
E	E1	0	0	Caminhão	-
F	F1	0	0	Caminhão	-
G	G1	0	0	Caminhão	-
H	H1	0,5	0,5	Caminhão	20
I	I1	0,5	0,5	Caminhão	20
J	J1	0,5	0,5	Caminhão	20
K	K1	292	292	Caminhão	30 a 37
	K2	11	11	Caminhão	33
	K3	350	350	Caminhão	33
L	L1	423 a 425	424	Caminhão	30 a 37
	L2	24 a 30	27	Caminhão	33
	L3	3582	3582	Caminhão	33
M	M1	301	301	Caminhão	30 a 37
	M2	7	7	Caminhão	33
	M3	1326	1326	Caminhão	34
	M4	180	180	Caminhão	33
	M5	2233	2233	Caminhão	39
N	N1	500	500	Caminhão	40
	N2	350	350	Caminhão	33
O	O1	27	27	Caminhão	40
P	P1	249	249	Caminhão	33 a 40
Q	Q1	0,5	0,5	Caminhão	20
R	R1	0,5	0,5	Caminhão	20
S	S1	0,5	0,5	Caminhão	20
T	T1	665	665	Caminhão	40
	T2	300	300	Caminhão	33 a 39

Fonte: Autora (2022).

O cálculo utilizado para transformar o consumo de matérias-primas para a unidade funcional é apresentado na Eq. 19:

$$\text{Consumo de matéria prima} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de matéria prima (kg)} * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{kg}{m^2} \right)}{\text{Produção de pó atomizado (kg)}}$$

Eq. 19

As unidades I e III não possuem central de massa (CM) própria, desta forma elas recebem materiais da CM localizada na unidade II, a qual fica a uma distância aproximada de 1 km da unidade I e de 2 km da unidade III. Apesar do transporte

desses materiais serem por caminhão, como as distâncias são pequenas comparando com a distância de transporte entre fornecedores e empresa, este dado se tornou irrelevante, por este motivo não foi realizado o cálculo de consumo de combustível relativos a estes dois pequenos trajetos de transporte.

Os dados foram fornecidos considerando a umidade das matérias-primas, desta forma, coletou-se os dados de umidade, tornando possível o cálculo e a utilização desses em peso seco (para o consumo de matérias-primas). Para o transporte, a umidade também foi considerada.

3.2.4.2. Quantidade de cobertura produzida/consumida na unidade (setor de preparação de esmalte)

Unidade I

Para esta unidade, foi considerada a produção igual ao consumo de cobertura (engobe + esmalte), pois as quantidades são praticamente as mesmas, levando em conta que tudo o que é produzido é consumido, com exceção de um único esmalte, o qual é produzido na unidade I e utilizado na unidade IV. Os dados foram coletados em kg seco (desconsiderando a água inserida para a produção).

Unidade II

Para esta unidade, foi considerada a produção igual ao consumo de cobertura, pois as quantidades são praticamente as mesmas, levando em conta que tudo o que é produzido é consumido, com exceção de um único esmalte, o qual é produzido na unidade II e utilizado na unidade IV. Os dados foram coletados em kg seco (desconsiderando a água inserida para a produção).

Unidade III

100% da cobertura produzida nesta unidade é consumida nela mesmo, porém a quantidade produzida é diferente da quantidade consumida, pois nem tudo o que é produzido em um determinado mês é consumido nele, apenas os valores anuais podem ser considerados os mesmos. Os dados foram coletados em kg seco (desconsiderando a água inserida para a produção).

Unidade IV

Nesta unidade a quantidade de cobertura consumida e produzida não pode ser considerado a mesma, pois nem todo material utilizado nessa unidade é produzido nela mesmo, ela utiliza coberturas vindas das unidades I e II como citado anteriormente. Os dados foram coletados em kg seco (desconsiderando a água inserida para a produção).

Unidade V

Para esta unidade foi considerada a produção igual ao consumo de cobertura, pois as quantidades são praticamente as mesmas, levando em conta que tudo o que é produzido é consumido. Os dados foram coletados em kg seco (desconsiderando a água inserida para a produção).

3.2.4.3. Consumo de matérias-primas compostadas na própria unidade e compostadas na CCE (setor de preparação de esmalte)

Na empresa parte de matéria-prima é recebida pelas próprias unidades, compostadas (dosagem da formulação), moídas e parte delas é recebida em uma Central de Copostagem (CCE), a qual composta e envia o material compostado no interior de grandes sacos para as unidades moerem e utilizarem.

Desta forma, os seguintes dados foram coletados:

- Quantidade de matérias-primas recebidas pelas unidades;
- Quantidade de matérias-primas recebidas pela CCE (isso está descrito no inventário da CCE);
- Fornecedor de cada matéria-prima;
- Quantidade de matérias-primas compostadas e encaminhada da CCE para cada unidade;

Da mesma forma como ocorreu para as matérias-primas da preparação de massa, devido à grande quantidade de diferentes matérias-primas, a falta de informações referentes às formulações de alguns compostos (corantes, engobes, esmaltes, granilhas, tintas etc.), por se tratarem de informações que os fornecedores

consideram confidenciais e também pela variação de identificação de uma mesma matéria-prima, essas foram agrupadas levando em conta a similaridade mineralógica, a distância percorrida para chegar até a empresa, tipo de transporte e capacidade do mesmo, como pode ser visualizado na Tabela 10.

A descrição de cada matéria-prima foi alterada por códigos (letras) devido à confidencialidade da informação.

Tabela 10 - Agrupamento de matérias-primas bases para esmaltes e engobes
(cobertura) produzidos na própria empresa

Grupo	Matérias-primas incluídas no grupo							
AA	AA1	AA2	AA3	AA4				
AB	AB1							
AC	AC2							
AD	AD1	AD2						
AE	AE1							
AF	AF1	AF2	AF3					
AG	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	AG6	AG7	AG8
	AG9	AG10	AG11	AG12	AG13	AG14	AG15	AG16
	AG17	AG18	AG19	AG20	AG21	AG22	AG23	AG24
	AG25	AG26	AG27	AG28	AG29	AG30	AG31	AG32
	AG33	AG34	AG35	AG36	AG37	AG38	AG39	AG40
	AG41	AG42	AG43	AG44	AG45	AG46	AG47	AG48
	AG49	AG50	AG51					
AH	AH1	AH2	AH3	AH4				
AI	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5			
AJ	AJ1	AJ2	AJ3	AJ4	AJ5	AJ6	AJ7	AJ8
	AJ9	AJ10	AJ11	AJ12	AJ13	AJ14	AJ15	AJ16
	AJ17	AJ18	AJ19	AJ20	AJ21	AJ22	AJ23	
AK	AK1	AK3	AK2	AK4				
AL	AL1							
AM	AM1							
AN	AN1	AN2	AN3	AN4				
AO	AO1	AO2	AO3					
AP	AP1							
AQ	AQ1							
AR	AR1	AR2						
AS	AS1							
AT	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8
	AT9	AT10	AT11	AT12	AT13	AT14	AT15	AT16
	AT17	AT18	AT19	AT20	AT21	AT22	AT23	AT24
	AT25	AT26	AT27	AT28	AT29	AT30	AT31	AT32
	AT33							
AU	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	
AV	AV1							
AW	AW1							
AX	AX1							
AY	AY1	AY2	AY3	AY4	AY5	AY6	AY7	
AZ	AZ1							
BA	BA1	BA2	BA3					
BB	BB1	BB2						
BC	BC1							
BD	BD1							
BE	BE1							
BF	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5			
BG	BG1	BG2						
BH	BH1	BH2	BH3					
BI	BI1	BI2	BI3	BI4				
BJ	BJ1	BJ2	BJ3	BJ4	BJ5	BJ6	BJ7	BJ8
	BJ9	BJ10	BJ11	BJ12	BJ13	BJ14	BJ15	BJ16
	BJ17	BJ18	BJ19	BJ20	BJ21	BJ22	BJ23	BJ24
	BJ25	BJ26	BJ27	BJ28	BJ29	BJ30	BJ31	BJ32
	BJ33	BJ34	BJ35	BJ36	BJ37	BJ38	BJ39	BJ40
	BJ41	BJ42	BJ43	BJ44				
BK	BK1							
BL	BL1							
BM	BM1	BM2						
BN	BN1							
BO	BO1	BO2						
BP	BP1	BP2	BP3					
BQ	BQ1	BQ2						
BR	BR1	BR2	BR3	BR4				
BS	BS1							
BT	BT1							
BU	BU1							

Fonte: Autora (2022).

Por meio desse agrupamento foi possível identificar a representatividade anual de consumo de cada matéria-prima base, como mostra a Tabela 11.

A descrição de cada matéria-prima foi alterada por códigos (letras), devido à confidencialidade da informação.

Tabela 11 - Representatividade das matérias-primas bases para esmaltes e engobes (cobertura) produzidos na própria empresa.

Matéria-prima agrupada	Representatividade (%)
BJ	42,67%
BF	9,98%
BR	8,87%
BA	7,66%
BP	6,99%
BI	4,86%
BH	4,21%
AW	3,06%
AY	2,90%
BS	1,38%
AG	0,97%
BM	0,80%
BB	0,74%
AK	0,68%
BO	0,50%
BG	0,47%
AT	0,39%
AX	0,37%
AU	0,36%
AV	0,36%
BT	0,27%
AD	0,18%
AN	0,16%
AH	0,14%
AP	0,13%
BE	0,11%
BU	0,11%
AF	0,10%
BC	0,10%
AZ	0,09%
AE	0,09%
AA	0,08%
BN	0,08%
AQ	0,05%
AM	0,03%
BQ	0,02%
AR	0,02%
BD	0,01%
AB	0,00%
AO	0,00%
BL	0,00%
BK	0,00%
AS	0,00%
AL	0,00%
AC	0,00%

Fonte: Autora (2022).

O cálculo utilizado para chegar nesse valor de representatividade foi o apresentado na Eq. 20:

$$Representatividade (\%) = \frac{\text{consumo total de cada grupo de MP (kg)}}{\sum \text{consumo total de todos os grupos de MP (kg)}} * 100\%$$

Eq. 20

Onde:

MP: Matérias-Primas.

As matérias-primas foram agrupadas novamente levando em conta a semelhança mineralógica entre si. Este agrupamento foi realizado devido à inexistência de alguns bancos de dados no software, porque muitas matérias-primas ficaram com uma representatividade muito baixa, por exemplo menor que 0,1%. Com isso, chegou-se na seguinte formulação “fictícia” de cobertura (esmalte + engobe) demonstrada na Tabela 12.

A descrição de cada matéria-prima foi alterada por códigos (letras), devido à confidencialidade da informação.

Tabela 12 - Formulação “fictícia”

Matéria-prima principal (representará a formulação)		Outras matérias-primas agrupadas (ou seja, serão representada pela principal devido a semelhança)	
BJ	43,71%	BJ	42,67%
		AK	0,68%
		AV	0,36%
BF	10,72%	BF	9,98%
		BB	0,74%
BR	10,36%	BR	8,87%
		BU	0,11%
		BS	1,38%
BA	7,66%	BA	7,66%
BP	6,99%	BP	6,99%
BP	8,72%	BI	4,86%
		AW	3,06%
		BM	0,80%
BH	4,33%	BH	4,21%
		BE	0,11%
AY	3,50%	AY	2,90%
		BG	0,47%
		AP	0,13%
BO	1,06%	BO	0,50%
		BC	0,10%
		BD	0,01%
		AX	0,37%
		BN	0,08%
AG	0,97%	AG	0,97%
		BK	0,00%
BT	0,64%	BT	0,27%
		AN	0,16%
		AH	0,14%
		AQ	0,05%
		BL	0,00%
		BQ	0,02%
AD	0,59%	AD	0,18%
		AE	0,09%
		AR	0,02%
		AF	0,10%
		AA	0,08%
		AB	0,00%
		AO	0,00%
		AS	0,00%
		AL	0,00%
		AC	0,00%
		AM	0,03%
		AZ	0,09%
		AT	0,39%
		AU	0,36%

Fonte: Autora (2022).

Essa formulação também foi utilizada para transformar o consumo de esmalte e engobe comprados prontos dos fornecedores, em matérias-primas base, visto à impossibilidade de acesso às formulações dos mesmos.

O cálculo utilizado para converter os esmaltes e engobes (cobertura) comprados prontos dos fornecedores em insumos de matérias-primas base é expresso na Eq. 21:

Consumo de insumo base oriundo das coberturas fornecidas prontas (kg)

$$= \left(\sum \text{Consumo de engobes e esmaltes comprados prontos (kg)} \right)$$

** representatividade de cada matéria prima (Tabela 12)(%)*

Eq. 21

O cálculo utilizado para totalizar o consumo de cada matéria-prima foi realizado por meio da Eq. 22:

Consumo total de MP (de acordo com o agrupamento da Tabela 10)(kg)

$$= \sum \text{consumo de insumos inclusos em cada grupo (kg)}$$

+ Consumo de insumo base oriundo das coberturas fornecidas prontas(kg)

Eq. 22

Onde:

Consumo de insumos inclusos em cada grupo: Matérias-primas base compradas para elaborar os esmaltes e engobes na própria empresa;

Consumo de insumo base oriundo das coberturas fornecidas prontas: Insumos base obtidos por meio do cálculo de consumo de cobertura comprada pronta de fornecedores, multiplicado pela formulação fictícia.

O cálculo utilizado para transformar o consumo de matérias-primas (MP) para a unidade funcional (Unidades I, II, III, IV e V) é apresentado na Eq. 23:

$$\text{Consumo de MP de cada unidades} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de MP de cada unidade (kg)}}{\text{Produção de revestimento de cada unidade (m}^2\text{)}}$$

Eq. 23

O cálculo utilizado para transformar o consumo de matérias-primas para a unidade funcional (CCE) é apresentado na Eq. 24:

$$\text{Consumo de MP CCE} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de MP da CCE (kg)}}{\sum \text{Produção de revestimento de todas unidades (m}^2\text{)}}$$

Eq. 24

O cálculo da CCE foi feito dessa forma, pois ela encaminha matérias-primas para todas as unidades.

Com relação à matéria-prima frita, percebeu-se que os bancos de dados disponíveis no software não eram representativos para a realidade da fábrica analisada, visto que possuíam alguns componentes que não existem nas fritas utilizadas pela empresa em estudo, desta forma, elaborou-se uma formulação de frita com base em análises químicas e médias ponderadas relacionadas ao consumo de cada uma das fritas utilizadas.

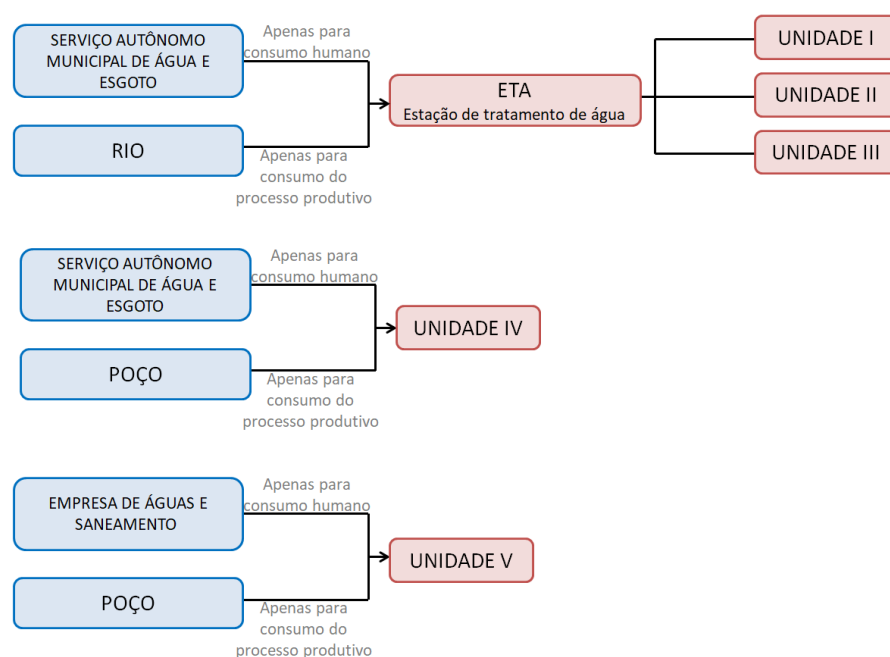
3.2.4.4. Consumo de água virgem

Água virgem diz respeito a “água nova”, isto é, águas superficiais e subterrâneas retiradas do meio ambiente para uso industrial, sem considerar reutilizações.

Descrição de fonte de água de cada unidade:

A Figura 17 mostra como ocorre o consumo de água nas unidades estudadas:

Figura 17 - Fontes de água referente ao ano de 2019



Fonte: Autora (2022).

Avaliando a Figura 17 pode-se perceber que para as unidades I, II e III, toda água consumida no processo produtivo é proveniente do rio e passa por um tratamento de água na ETA da empresa.

Já para as unidades IV e V, a água a ser utilizada no processo produtivo é extraída diretamente de poços e utilizada, sem passar por uma estação de tratamento de água.

O controle do consumo de água das unidades I, II e III é feito em conjunto, ou seja, tem-se apenas o valor total do consumo destas três unidades, desta forma, realizou-se um rateio de consumo considerando o material expedido de cada uma das unidades. A empresa está ciente de que esse rateio não representa a realidade, porém era o dado disponível em 2019. Para as unidades IV e V existe um controle separado.

Além disso, o consumo de água separado por setores dentro de cada unidade foi obtido por meio de uma estimativa de percentuais. Com isso, o consumo de água foi dado por meio da multiplicação do consumo total de água da unidade pelos percentuais estimados, expostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Distribuição do percentual de consumo de água em diferentes setores das unidade por meio de estimativa

Setor	Percentual estimado				
	Unidade I	Unidade II	Unidade III	Unidade IV	Unidade V
Preparação de massa	-	71%	-	89,60%	50%
Preparação de esmaltes	6%	11%	34%	1,60%	30%
Esmaltação + áreas comuns unidade	35%	18%	66%	8,80%	20%
Artística (corte + áreas comuns)	59%	-	-	-	-

Fonte: Autora (2022).

Após estimar os percentuais de consumo, calculou-se os valores de consumo por m² por meio das Eq. 25, Eq. 26 e Eq. 27, valores esses que posteriormente foram multiplicados pelos percentuais já descritos.

Para o setor de preparação de massa e prensagem utilizou-se a Eq. 25:

$$\text{Consumo de água} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ água}}{\text{m}^2 \text{ produzido}} \right) = \frac{\text{Consumo de água (m}^3\text{)} * \text{Peso do produto bruto} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Produção de pó atomizado (kg)}}$$

Eq. 25

Para o setor de preparação de esmalte utilizou-se a Eq. 26 :

$$\text{Consumo de água} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ água}}{\text{m}^2 \text{ produzido}} \right) = \frac{\text{Consumo de água (m}^3\text{)} * \text{Peso médio de cobertura} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Produção de cobertura (kg)}}$$

Eq. 26

Para os demais setores utilizou-se a Eq. 27:

$$\text{Consumo de água} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ água}}{\text{m}^2 \text{ produzido}} \right) = \frac{\text{Consumo de água (m}^3\text{)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}}$$

Eq. 27

3.2.4.5. Consumo de materiais de embalagem (setor de embalagem)

A maior parte das unidades apresentou uma lista completa de todos os materiais consumidos no setor de embalagem. No entanto, nem todas estavam relacionadas à embalagem do produto final, algumas eram apenas provenientes da utilização de alguns consumíveis (por exemplo lâmpadas), por esse motivo inicialmente foi realizada uma filtragem pelos seguintes itens, que efetivamente são utilizados no processo de embalagem do produto:

- Cera protetiva;
- Cola de embalagem;
- Caixas de papelão;
- Chapas de papelão;
- Filtros;
- Paletes;
- Plástico filme de Polietileno;
- Etiquetas;
- Tinta de embalagem;
- Fita adesiva;
- Cantoneiras;
- Filme stretch;

- Selo galvanizado;
- Suporte triangular para cantos.

Os dados da cera protetiva e da cola de embalagem já foram fornecidos em kg, então para transformar para unidade funcional bastou realizar um cálculo por meio da Eq. 28:

$$\text{Consumo de material de embalagem} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de material de embalagem (kg)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 28}$$

Os dados da tinta de embalagem foram fornecidos em litros, então para transformar para unidade funcional bastou realizar o seguinte cálculo por meio da Eq. 29:

$$\text{Consumo de material de embalagem} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de material de embalagem (l)} * \text{densidade da tinta} \left(\frac{kg}{L} \right)}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 29}$$

Os dados do filme stresh foram fornecidos em metros, então para transformar para unidade funcional bastou realizar o seguinte cálculo por meio da Eq. 30:

$$\text{Consumo de material de embalagem} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de material de embalagem (m)} * \text{peso do metro} \left(\frac{kg}{m} \right)}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 30}$$

Os dados dos demais materiais de embalagem foram fornecidos em unidades (un), então para transformar para unidade funcional bastou realizar o seguinte cálculo por meio da Eq. 31:

$$\text{Consumo de material de embalagem} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Consumo de material de embalagem (un)} * \text{peso da unidade} \left(\frac{kg}{un} \right)}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 31}$$

Para os materiais nos quais as unidades fornecidas eram diferentes de unidades de peso (quilograma ou toneladas, por exemplo), foi necessário solicitar também informações adicionais, como por exemplo: o peso da unidade, o peso do metro e a densidade de alguns materiais. A Tabela 14 apresenta os dados solicitados e os valores para cada componente.

Tabela 14 – Informações solicitadas sobre as características de diferentes tipos de embalagem

Informação solicitada	Dados	Unidade
Peso médio ponderado de uma caixa de papelão	0,21	kg/un
Peso médio chapa de papelão	0,39	kg/un
Peso de um rolo de fitilho	14,71	kg/un
Peso de um palete de 1mx1m (apenas o palete, sem nada em cima)	25,32	kg/un
Peso de uma folha de plástico filme (polietileno simples)	0,06	kg/un
Peso de uma etiqueta (parte que vai colada na caixa)	0,00126	kg/un
Peso de um rolo de fita adesiva	0,19	kg/un
Peso de uma cantoneira	0,165	kg/un
Peso de um selo galvanizado	0,0043	kg/un
Peso de um apoio triangular de madeira para cantos	0,165	kg/un
Densidade da tinta para embalagem	0,96	kg/L
Peso de um Palete fechado (pronto para entrega) com peças de 1x1m e a quantidade de peças dentro deste	1200 kg 42 peças 2 peças/caixa	kg/un

Fonte: Autora (2022).

3.2.4.6. Entradas e saídas na ETA e nas ETES

Os dados dos insumos utilizados para o tratamento de água e efluentes foram coletados da seguinte forma:

ETA das unidades I, II e III

No ano de 2019 existia ETA apenas nas unidades I, II e III.

Os dados de consumo de Hipoclorito de Sódio (NaClO) foram coletados em unidade de volume (L), para transformar para unidade de massa (g) utilizou-se a densidade de 1200 g/L (QUÍMICA CREDIE, 2012).

Cálculo utilizado é expresso na Eq. 32:

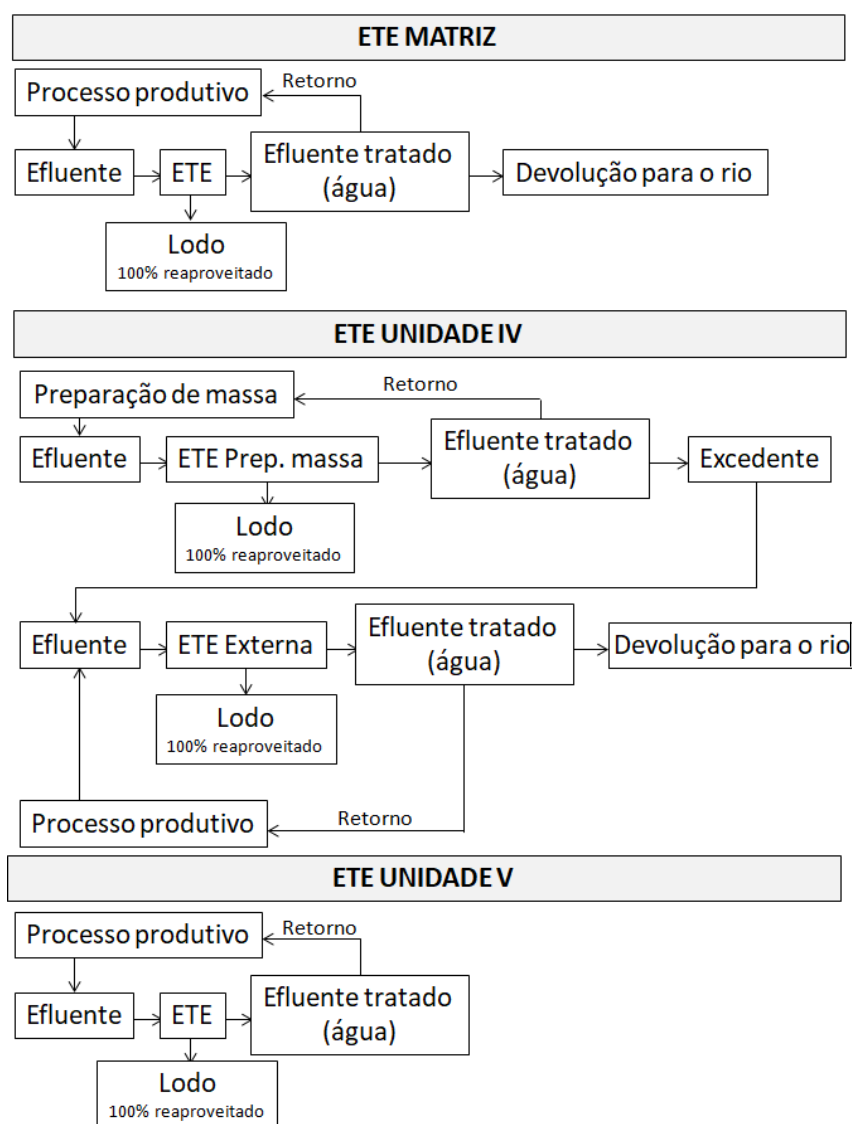
$$\text{Consumo mensal de NaClO(g)} = \text{Consumo de NaClO(L)} * \text{densidade} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)$$

Eq. 32

ETEs

A Figura 18 mostra um esquema do funcionamento das ETEs.

Figura 18 - Esquema das ETEs



Fonte: Autora (2022).

ETE das unidades I e II (Matriz)

Em 2019, nessa ETE que abastecia as unidades I e II, existia o controle de efluentes que entravam na ETE e resíduo de lodo tratado, porém existe mais uma saída não controlada, o efluente tratado (água), em que parte desta é reaproveitada nos lavadores de gases e outra parte é devolvida ao rio. A fim de estimar essas informações, utilizou-se o relatório de 2020, no qual o controle desse fluxo já havia

iniciado. Para 2020 em média 80% da água de saída da ETE era reaproveitada nos lavadores de gases e 20% era descartada no rio.

Inicialmente foi necessário transformar a unidade de medida do fluxo de entrada do efluente da ETE e do efluente tratado (água) (em m³) para unidades de massa (kg). Para o efluente de entrada, foram realizados ensaios de densidade com 10 amostras ao longo de um dia e o valor médio obtido foi de 1020 kg/m³, já para o efluente tratado, considerou-se 1000 kg/m³ por se tratar de água limpa. Esses valores possibilitaram a transformação de unidades e o balanço passou a ser o expresso na Eq. 33:

$$\text{Entrada na ETE (efluente) (kg)} = \text{efluente tratado (água)(kg)} + \text{Geração de resíduos (lodo)(kg)}$$

Eq. 33

Com essas informações foi possível calcular a saída de efluente tratado (água) por meio da Eq. 34 e Eq. 35:

$$\text{Água reaproveitada nos lavadores (kg)} = \frac{[\text{Entrada de efluentes na ETE(kg)} - \text{geração de lodo (kg)}] * 80}{100}$$

Eq. 34

$$\text{Água descartada no rio (kg)} = \frac{[\text{Entrada de efluentes na ETE(kg)} - \text{geração de lodo (kg)}] * 20}{100}$$

Eq. 35

UNIDADE III

Essa unidade não possuía ETE no ano e 2019, desta forma, os efluentes eram destinados para serem tratados na ETE das unidades I e II.

UNIDADE IV

Da mesma forma que para a ETE que abastece as unidades I e II, parte do efluente tratado final era devolvido para o rio, porém nesta ETE o percentual devolvido ao rio era de cerca de 3%, para isso, o mesmo procedimento de balanço foi realizado para esta unidade.

UNIDADE V

Para a ETE dessa unidade não foi necessário realizar o balanço de massa, pois a única saída desconhecida, água tratada, retornava para o processo em circuito fechado, não sendo necessário inserir no inventário.

Cálculos utilizados:

Para a ETA que abastece as unidades I, II e III, por ser apenas uma estação, não existiam dados separados para o tratamento individual para todas as unidades e, por isso mesmo, foi preciso realizar um rateio pela produção conforme Eq. 36:

$$\text{Dados da ETA rateados para cada unidade} = \frac{\text{Dados totais da ETA} * \text{produção de cada unidade (I, II e III)}}{\sum \text{Produção das unidades (I, II e III)}} \quad \text{Eq. 36}$$

Para a ETE da matriz que abastece apenas as unidades I e II, o rateio ocorreu apenas referente a essas duas unidades. Até 2019 a unidade III não possuía ETE.

Posteriormente, esses dados foram transformados para unidade funcional realizando o cálculo por meio da seguinte Eq. 37:

$$\text{Consumo de materiais} \left(\frac{\text{kg ou L}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Consumo de materiais (kg ou L)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 37}$$

3.2.4.7. Consumo de cola – ponto de cola

Existe a operação de colagem, denominada ponto de cola, que consiste em formar telas compostas por peças de tamanho pequeno, apenas nas unidades I e V. Cálculo utilizado para transformar o consumo de cola para a unidade funcional é o expresso na Eq. 38:

$$\text{Consumo de cola} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Consumo de cola (kg)}}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 38}$$

3.2.4.8. Dados de britagem

A empresa contava com britagem realizada pela própria empresa e também por terceiros. Como o processo era o mesmo, tanto para empresa quanto para terceiros, utilizou-se como base de cálculos os dados internos, por serem de mais fácil acesso.

Os dados coletados foram o consumo de energia elétrica (kWh), o consumo de combustível do trator de esteiras (L) e a produção de britado (kg). Para os cálculos efetuados utilizaram-se as equações Eq. 39 e Eq. 40:

$$\text{Consumo de Energia Elétrica} \left(\frac{kWh}{kg} \right) = \frac{\text{Consumo de Energia Elétrica (kWh)}}{\text{Produção de britado (kg)}} \quad \text{Eq. 39}$$

$$\begin{aligned} & \text{Consumo mensal de combustível do trator de esteiras} \left(\frac{kg \text{ Diesel}}{kg \text{ britado}} \right) \\ &= \frac{\text{Consumo de combustível do trator de esteiras (L)}}{\text{Produção de britado (kg)}} * \text{Densidade Diesel} \left(\frac{kg}{L} \right) \end{aligned} \quad \text{Eq. 40}$$

A densidade do Diesel considerada foi de 0,85 kg/L, (IPIRANGA, 2017), e para os dados de produção de britado (em kg) foram considerados os consumos de britado na etapa de preparação de massa da unidade V.

3.2.4.9. Transporte

Nesse inventário, considerou-se os seguintes transportes:

- Transporte das matérias-primas de massa, extração até empresa estudada (mais informações na Tabela 9);
- Transporte das matérias-primas de cobertura (esmalte + engobe), fornecedor até empresa estudada;
- Transporte entre central de compostagem (CCE) e unidades produtivas, CCE até unidades produtivas;

- Transporte entre a empresa em estudo e destino final dos resíduos gerados, empresa estudada até destinação final;
- Transporte entre fornecedores de embalagem até a empresa, fornecedor até empresa estudada.

Para o efeito, em cada caso, os seguintes dados foram coletados:

- Localização dos pontos iniciais e finais de cada transporte, com isso foi possível descobrir a distância percorrida por meio do Google maps (GOOGLE MAPS, 2022);
- Capacidade dos caminhões de transporte;

Por meio dessas informações foi possível calcular o transporte, em tkm, que é a unidade disponível nos bancos de dados do software utilizado nesse trabalho.

O cálculo utilizado para calcular o transporte em tkm é apresentado na Eq. 41:

$$\text{Transporte} \left(\frac{tkm}{m^2} \right) = \text{Material transportado} \frac{ton}{m^2} * \text{Distância de transporte (km)}$$

Eq. 41

Para transportes em distâncias inferiores a 300 km, considerou-se que o caminhão pode retornar vazio, dessa forma, se multiplicou a distância de transporte por 2, para transportes superiores a 300 km, considera-se que o caminhão sempre retornará cheio, dessa forma, se multiplicou a distância de transporte por 1, conforme estabelecido pela regra de categoria do IBU (IBU, 2019).

Para os casos em que não foi possível saber qual a capacidade dos transportes utilizados, considerou-se 16-32 ton, tendo em vista que essa é a capacidade média.

Após isso, somou-se os dados obtidos (em tkm/m²) dos transportes que possuem a mesma capacidade, pois nos bancos de dados do software utilizado, os meios de transporte, nesse caso os caminhões, são diferenciados levando em conta suas capacidades máximas.

Os dados de transporte entre o fornecedor de matéria-prima de cobertura (esmalte e engobe) até a empresa foram abrangidos e tratados no item 3.2.4.10 *Coleta de dados com os fornecedores de matéria-prima de esmalte*.

3.2.4.10. Coleta de dados com os fornecedores de matéria-prima de esmalte

Inicialmente foi elaborado um formulário para que os fornecedores preenchessem as seguintes informações:

- Produção anual (kg);
- Média ponderada de distância de transporte (km);
- Distância total anual percorrida por cada meio de transporte (caminhão, navio...) (km);
- Consumo anual de Energia elétrica (kWh);
- Consumo anual de Gás Natural (m³);
- Consumo anual de Carvão (kg);
- Consumo anual de água virgem (m³);
- Geração anual de resíduos não reutilizáveis (kg);
- Emissão de Material Particulado (mg/h ou mg/Nm³);
- Emissão de NO₂ (mg/h ou mg/Nm³);
- Emissão de SO₂ (mg/h ou mg/Nm³);

Esses dados foram coletados nos três maiores fornecedores das unidades estudadas, que representam um total de aproximadamente 60% do consumo de matérias-primas, tendo sido realizada uma média com os valores desses três fornecedores, essas informações foram generalizadas para os demais fornecedores. Essa generalização foi realizada devido à dificuldade de receber informações de todos os fornecedores.

Por se tratarem de dados confidenciais, mesmo com contratos de confidencialidade, alguns se recusaram a fornecer essas informações, além disso, os outros 40% possuem a mesma localização geográfica e a mesma tecnologia de produção/beneficiamento das três empresas que forneceram as informações, que conforme já foi mencionado, correspondem ao fornecimento de cerca de 60% das matérias-primas utilizadas pela empresa, permitindo com que os dados pudessem ser generalizados com base na semelhança de processos. Vale a pena realçar que nenhum dado foi excluído, apenas generalizado, como determinado na norma EN 15804:2012+A2 (2019).

Todos os dados foram atribuídos à unidade funcional do fabricante (em kg), gerando os seguintes dados:

- Distância total anual percorrida por cada meio de transporte (caminhão, navio...) (tkm/kg); (O cálculo de distância em “tkm” está explicado no item 3.2.1.)
- Consumo anual de energia elétrica (kWh/kg produzido);
- Consumo anual de gás natural (m³/kg produzido);
- Consumo anual de carvão (kg/kg produzido);
- Consumo anual de água virgem (m³/kg produzido);
- Geração anual de resíduos não reutilizáveis (kg resíduo/kg produzido);
- Emissão de material particulado (kg emissão/kg produzido);
- Emissão de NO₂ (mg emissão/kg produzido);
- Emissão de SO₂ (mg emissão/kg produzido).

Em relação aos dados de distância de transporte, alguns fornecedores informaram a localização de suas fábricas e as quantidades de matérias-primas extraídas em várias outras cidades, portanto, foram calculadas as distâncias por meio do Google maps (GOOGLE MAPS, 2022), traçando o caminho entre a empresa dos fornecedores e as cidades citadas. Na maioria dos casos, o Google maps traçou mais de uma possibilidade de rota, para cada cidade com diferentes distâncias, diante disso todas as distâncias foram consideradas e a distância média foi calculada. O Google maps não traça rotas de navio, para isso, utilizou-se site Ports.com (PORTS.COM, 2021).

Para os dados de emissões, quando o valor fornecido foi na unidade mg/Nm³, foi necessário também que o fornecedor informasse os dados de vazão da chaminé em Nm³/h, para realizar a conversão dos dados.

Cálculo utilizado para conversão é expresso na Eq. 42:

$$Emissão \left(\frac{mg}{kg} \right) = Emissão \left(\frac{mg}{Nm^3} \right) * Vazão \left(\frac{Nm^3}{h} \right) * Tempo \text{ necessário para produzir } 1kg \left(\frac{h}{kg} \right)$$

Eq. 42

Quando o valor foi fornecido na unidade mg/h foi necessário apenas multiplicar esse valor pelo tempo que a fábrica do fornecedor leva para produzir 1 kg de esmalte, como mostra a Eq. 43:

$$Emissão \left(\frac{mg}{kg} \right) = Emissão \left(\frac{mg}{h} \right) * Tempo\ necessário\ para\ produzir\ 1kg \left(\frac{h}{kg} \right)$$

Eq. 43

Após coletar todos esses dados, foi criado um *datasets* (banco de dados) no software SimaPro, para cada matéria-prima utilizada na produção de cobertura (esmalte e engobe) incluindo esses impactos do processo produtivo dos fornecedores.

O mesmo procedimento não foi realizado para as matérias-primas da massa, visto que essas não passam por um processo produtivo antes de chegar às unidades da empresa estudada, como é o caso das matérias-primas de cobertura. Algumas passam apenas por pequenos processos de beneficiamento, cujo impacto já está incluso nos bancos de dados do software.

3.3. DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – DO PORTÃO AO TÚMULO (A4-C4)

Diferente da coleta de dados do berço ao portão, na qual os dados dos módulos A4 até C4 foram coletados e descritos em conjunto, o inventário do portão ao túmulo foi realizado de forma individual para cada módulo.

Além disso, a partir do módulo A4, os dados não foram coletados por unidade fabril, mas sim do grupo todo da empresa em estudo, visto que os impactos individuais de cada unidade fabril não influenciam do portão para frente.

3.3.1. Módulo A4

O módulo A4 inclui o transporte do local de produção ao cliente ou ao local de instalação dos revestimentos. Desta forma, foram coletados os seguintes dados:

- Tipo de mercado (interno ou externo);
- Local de origem;
- Local de destino;
- Meio de transporte;
- m² vendido estratificado por destino e origem;
- Distância percorrida entre destino e origem;
 - Quando o transporte ocorria via rodoviário, com distâncias inferiores a 300 km, considerou-se que o caminhão retorna vazio e, por isso, multiplica-se a distância por 2;
 - As distâncias rodoviárias foram obtidas por meio do google maps (GOOGLE MAPS, 2022), neste inseriu-se os dados de origem e do destino, por meio disso o google maps traçou algumas rotas, o inventário foi alimentado com a distâncias médias dessas rotas;
 - As distâncias ferroviárias foram obtidas por meio do mapa ferroviário de Santa Catarina (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit) e Comitê Gestor do PAC, 2015), visto que se utiliza trem como meio de transporte apenas dentro desse estado;

- As distâncias marítimas foram obtidas por meio do ports.com (PORTS.COM, 2021), as quais foram fornecidas em milhas náuticas, sendo necessário multiplicar por 1,852 para obter os dados em km.
- Para os casos em que dois tipos de transporte entre a origem e destino final eram utilizados, como por exemplo, da origem até ao porto via transporte rodoviário e do porto até o destino, via transporte marítimo, essa situação também foi considerada para os cálculos.

A quantidade expedida em m² foi convertida para ton utilizando o peso médio ponderado do m², já descrito no item 3.2.3.4 Por meio disso, foi possível obter os dados em tkm, por meio da equação Eq. 44:

$$\text{Transporte}(tkm) = \text{Material transportado (ton)} * \text{Distância de transporte (km)}$$

Eq. 44

Para cada cenário, tipo de mercado, meio de transporte, origem e destino, o dado foi calculado em tkm. Esses dados foram unidos por meio de uma média ponderada e divididos pelos dados de m², obtendo os valores em tkm/m² final, o qual foi inserido no software.

Em relação às quebras, coletou-se os dados de m² quebrados durante o transporte, entre empresa e cliente, por meio das reclamações recebidas pela assistência técnica, sendo os dados de quebras por m² calculados por meio da Eq. 45.

$$\text{Quebras} \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{\text{Quebra (m}^2\text{)} * \text{Peso do produto} \left(\frac{kg}{m^2} \right)}{\text{Produção de revestimento (m}^2\text{)}}$$

Eq. 45

Considerou-se que todas as quebras de revestimento cerâmico deste módulo fossem destinadas ao aterro.

3.3.2. Módulo A5

O módulo A5 considera as etapas de instalação de revestimentos e processamento de resíduos de embalagem.

Para a etapa de instalação foram utilizados os dados fornecidos pelo IBU (2017), os quais podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 - Cenários padrão para o módulo A5

	Opção	Parâmetro	Unidade de parâmetro expressa por unidade funcional / declarada (1 m ²)
Insumos	1	Argamassa	3,3 kg
		Água	0,8 dm ³
	2	Argamassa de junta ou argamassa	0,5 kg
		Adesivo de dispersão (à base de água)	2,5 kg
		Polissulfeto	0,07 kg
	3	Adesivo Cimentício - Revestimento de Pequeno Formato (15x15)	2-3 kg
		Adesivo cimentício - Revestimento de formato médio (20x20, 33x33)	3-4 kg
		Adesivo cimentício – Revestimento de formato Grande	4,5-6 kg

Fonte: IBU (2017).

Foi utilizada a opção 1 da Tabela 15, por representar melhor a realidade da empresa em estudo. Vale ressaltar que o banco de dados de água selecionado no software trará os impactos de uma estação de tratamento, como descrito no item 3.2.4.6.

Além dos insumos (argamassa e água), esse módulo considera também a perda de revestimentos cerâmicos (quebras) durante a instalação. Para determinar esse valor, foi utilizada a metodologia proposta pelo IBU (2017), ou seja, somou-se todas as perdas de produto (quebras) em A1+A2+A3+A4, multiplicando esse valor por 4%, pois de acordo com o IBU (2017) esse valor deve variar entre 3% e 5%. A gestão desses resíduos (perdas) se baseou nos mesmos cenários dos módulos C3 e C4, que são descritos mais à frente.

Com relação ao resíduo de embalagem, foi utilizada parte dos dados primários e parte dos dados obtidos por meio da literatura. Os dados primários dizem respeito ao consumo de embalagens da empresa em estudo, desta forma considerou-se que toda embalagem consumida em 2019 foi expedida nesse mesmo ano. Esses

dados de consumo já estão descritos no item 3.2.4.5. Com relação aos dados da literatura, foram considerados os percentuais de resíduos destinados para reciclagem, recuperação de energia e aterro, presentes na Tabela 16.

Tabela 16 - Cenário nacional de resíduos de embalagem

Insumos	Reciclado (%)	Aterro (%)	Referência
Plástico	23,10	76,90	ABIPLAST (2021)
Papel e papelão	80	20	CEMPRE (2022);Two Side Brasil (2021)
Madeira	34	66	IBU (2017)
Metais	43	57	Chagas e Amato Neto (2012)

Fontes: Autora (2022).

Vale a pena ressaltar que o IBU (2017) também fornece essas informações, porém essas não foram utilizadas por não representarem a realidade brasileira.

Os dados primários foram multiplicados pelos percentuais disponíveis na Tabela 16. Os valores finais de resíduo de embalagem foram calculados por meio da Eq. 46.

$$\text{Resíduo de material de embalagem} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \text{Consumo de material de embalagem da empresa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) * \text{percentuais Tabela 16}$$

Eq. 46

3.3.3. Módulo B2

O módulo B2 inclui a limpeza dos revestimentos geralmente realizada com água e produtos de limpeza. O fornecimento de água e o agente de limpeza para a limpeza dos revestimentos obriga ao tratamento da água poluída.

Para a etapa de manutenção foram utilizados os seguintes dados fornecidos pelo IBU (2017):

- Cenário para manutenção de revestimentos cerâmicos: Uso residencial: 0,2 mL de detergente e 0,1 L de água são usados para lavar 1m² de revestimentos de cerâmica uma vez por semana (IBU, 2017).
- Cenário para manutenção de azulejos cerâmicos: Uso residencial: 0,2 mL de detergente e 0,1 L de água são usados para lavar 1 m² de azulejos de cerâmica uma vez a cada três meses (IBU, 2017).

Esses mesmo dados juntamente com alguns cálculos podem ser vistos na Tabela 17.

Tabela 17 - Utilização de materiais de manutenção

Tipo de revestimento	Insumo	Consumo (L/m ²)	Periodicidade	Consumo anual (L/m ² /ano)
Piso	Água	0,1	48 vezes ao ano (uma vez por semana)	4,8
	Detergente	0,0002		0,0096
Parede	Água	0,1	4 vezes ao ano (uma vez a cada 3 meses)	0,4
	Detergente	0,0002		0,0008

Fonte: Autora (2022).

A fim de tornar os dados mais representativos para esse estudo, realizou-se uma média ponderada com o consumo anual de água e de detergente, considerando os tipos de revestimentos produzidos pela empresa no ano de 2019. Considerou-se que todo revestimento cerâmico de tipologia BIII (monoporosa), obrigatoriamente foi assentado em parede. Para as restantes tipologias não foi possível rastrear qual foi o local que cada cliente assentou (piso ou parede), sendo assim, foi considerado o pior cenário possível, ou seja, todo revestimento com exceção do BIII foi assentado no piso. Por meio disso, foi possível determinar um consumo anual mais representativo de água e detergente.

Vale também de ressaltar que a água selecionada trará os impactos de uma estação de tratamento, tal como foi descrito no item 3.2.4.6.

3.3.4. Módulo C2

O Módulo C2 considera o transporte dos revestimentos descartados para um processo de reciclagem ou descarte.

Para a etapa de manutenção, segundo o IBU (2017): Os resíduos de demolição de revestimento cerâmico são transportados do local de construção para um depósito ou estação de tratamento por caminhão e são considerados uma distância média de 20 km. A viagem de retorno deve ser incluída no sistema. Pode ser considerada uma distância média de 30 km do depósito ou estação de tratamento até o destino final (IBU, 2017).

Apesar de o IBU fornecer essas informações, foram pesquisadas na literatura informações brasileiras. De acordo com Ferraz (2020), a distância média entre a construção e o destino do resíduo é de 56 km, já o estudo de Maués, Beltrão e Silva (2021), no qual avaliaram a destinação de resíduos da construção civil de vários locais na cidade de Belém, obtiveram um valor médio de aproximadamente 22 km de distância, entre a construção e o destino do resíduo, e indicaram que o range variou entre 6,3 km a 48 km, dependendo da localização da construção.

Desta forma, para esse estudo, foi utilizado um valor médio entre esses dois estudos encontrados, ou seja 39 km de distância entre a construção e o destino do resíduo. Como essa distância é inferior a 300 km, conforme já explicado anteriormente, deve-se considerar que o meio de transporte pode retornar vazio, desta forma o valor a ser utilizado é o dobro de 39 km, ou seja, 78 km.

Sendo assim, o dado de transporte foi calculado por meio da Eq. 47.

$$Transporte \left(\frac{tkm}{m^2} \right) = \frac{Material\ expedido\ (m^2) * Peso\ do\ m^2 \left(\frac{ton}{m^2} \right) * distância\ (km)}{Material\ expedido\ (m^2)}$$

Eq. 47

3.3.5. Módulo C3

O módulo C3 considera todos os processos para reciclar adequadamente os revestimentos cerâmicos. Sendo assim, foram replicados os dados do processo de tratamento de revestimentos cerâmicos (britagem) já coletados e descritos no item 3.2.4.8. Ou seja, considerou-se impactos relacionados ao consumo de energia elétrica e de diesel. Esse processo de britagem foi o processo escolhido por este estudo para reciclar adequadamente o resíduo de revestimento cerâmico pós uso. Vale ressaltar que o consumo de insumos desse processo de britagem foi multiplicado pelo percentual de resíduos reciclados, visto que apenas esses passam pelo processo de britagem.

Segundo IBU (2017), o cenário padrão considera que 70% dos resíduos de revestimentos cerâmicos pós uso são reciclado e 30% são destinados a aterro. Apesar de o IBU fornecer essas informações, buscou-se na literatura informações brasileiras. Segundo Carvalho, Marques e Lanzinha (2021), o Brasil tem uma taxa de reciclagem

de resíduos de demolição, gerados pela construção civil, de 20% anualmente, ou seja, 80% é destinado a aterros, sendo assim, os dados Brasileiros foram utilizados.

3.3.6. Módulo C4

O Módulo C4 inclui todo o processo de disposição do aterro. Da mesma forma que no módulo C3, no C4 também foi considerado que 20% dos resíduos são reciclados e 80% destinados ao aterro, como consta na literatura nacional.

Sendo assim, o peso final médio ponderado do revestimento cerâmico por m² foi multiplicado por esses percentuais, o resultado refletirá no impacto do resíduo destinado para aterros sanitários ou reciclagem.

3.4. DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS (INVENTÁRIO DA ACV) – MÓDULO D

De acordo com a regra de categoria do IBU (2017), o módulo de informação D visa a transparência dos benefícios ou cargas ambientais resultantes de produtos reutilizáveis, materiais recicláveis e/ou energia resultante das operações de recuperação que saem de um sistema de produtos, como materiais secundários ou combustíveis, desconsiderando os benefícios potenciais de A1-A3, ou seja, do berço ao portão. Quaisquer benefícios que saem do sistema do produto, que não foram alocados como coprodutos e que passaram pelo estado de fim de resíduo, devem ser incluídos no módulo D.

Como a empresa em estudo não possui geração de energia ou combustíveis, apenas as cargas ambientais resultantes de materiais recicláveis do portão ao túmulo foram consideradas.

Como já descrito na coleta de dados (inventário da ACV) portão ao túmulo (A4-C4), os módulos que possuem alguma geração de resíduos recicláveis foram o A5, com a geração de resíduos de embalagem e quebras de revestimentos cerâmicos, e o módulo C4, com os resíduos de pós uso dos revestimentos. Desta forma, a relação dos materiais considerados pode ser vista a seguir:

- Revestimentos cerâmicos quebrados durante a instalação: resíduos gerados durante a instalação - Módulo A5;
- Plástico: embalagens descartadas após instalação - Módulo A5;
- Papel ou papelão: embalagens descartadas após instalação - Módulo A5;
- Madeira: embalagens descartadas após instalação - Módulo A5;
- Metais: embalagens descartadas após instalação - Módulo A5;
- Revestimento cerâmico pós uso: Módulo C4.

Seguindo a regra de categoria do IBU (2017), os resultados do módulo D devem ser calculados por meio da seguinte equação Eq. 48:

$$D = (R_2 - R_1) * (E_{recycled} - E * V) * \left(\frac{Q_p}{Q_s} \right)$$

Eq. 48

Onde:

D : Resultado dos benefícios ou cargas ambientais;

R_2 : Quantidade de cada resíduo que será destinado ao processo de reciclagem;

R_1 : Quantidade de resíduos utilizada na produção do material que será destinado a reciclagem no seu fim de vida.;

$E_{recycled}$: Impacto da reciclagem de cada resíduo;

$E * V$: Impacto da utilização primária de cada material que será reciclado;

$\frac{Q_p}{Q_s}$: Relação de qualidade do material secundário versus primário, valor tabelado disponível em Iniciativa PEF – Comissão Europeia (2020).

O valor R_1 deve ser considerado zero, pois para as ACVs de cerâmica, os materiais incluídos no módulo D são em geral os resíduos de embalagem, que não possuem incorporação de resíduos pós consumo, ou o produto já é considerado como tendo conteúdo reciclado.

3.5. ALIMENTAÇÃO DO SOFTWARE SIMAPRO COM DADOS DO INVENTÁRIO

3.5.1. Informações gerais

Conforme já descrito anteriormente, para elaboração desse trabalho foi utilizado o software SimaPro, versão 9.1.0.7.

No software há 6 opções de bibliotecas do Ecoinvent 3 (versão 3.01), são estas:

- *Allocation at point of substitution – system;*
- *Allocation at point of substitution – unit;*
- *Allocation, cut-off by classification – system;*
- *Allocation, cut-off by classification – unit;*
- *Consequential – system;*
- *Consequential – unit.*

Utilizou-se a base de dados “*allocation at point of substitution*” do Ecoinvent, pois se tinha a intenção de trabalhar de forma atribucional (alocação linear), para o caso em que surgisse a necessidade de realizar algum tipo de alocação. Além disso, foi optado por trabalhar com a estrutura de dados “*unit*”, por essa possibilitar a identificação das entradas e saídas de forma bem clara, isto é, sem confidencialidade nas informações dos bancos de dados. Caso fosse optado pela opção “*System*”, muitas informações dentro das bases de dados seriam agregadas (em conjunto), dificultando o rastreamento de alguns impactos e a visualização de informações importantes.

A geografia dos dados quando possível foi utilizado BR referente ao Brasil, porém foram encontrados dados brasileiros apenas para a água, energia elétrica, cera protetiva e diesel, para os demais bancos de dados, foi utilizado o especificado pelo Ecoinvent, tal como RoW que significa *Rest of the world* (em tradução não literal, resto do mundo com exceção da Europa, uma vez que a Europa possui bancos específicos para essa região). Nos casos em que não se encontraram os dados necessários em BR e RoW, foi utilizado o banco de dados GLO que significa *Global*, em tradução não literal Mundial.

Outra categoria avaliada na escolha dos bancos de dados foi a categoria *Market*. Sempre que possível utilizou-se a *Market* por essa considerar o transporte ao

consumidor, com exceção dos dados os quais foram coletados os dados primários de transporte.

Para a obtenção dos resultados, dentro do software SimaPro escolheu-se a metodologia de avaliação de impacto CML- IA baseline V3.06.

3.5.2. Informações específicas

Para alimentar o software com as informações descritas nas etapas anteriores, foram elaboradas as Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20, as quais representam um espelho de toda modelagem realizada. Sendo assim, essas tabelas trazem as seguintes informações:

- Dado inserido no software;
- Unidade de medida do dado;
- Breve descrição do dado alimentado;
- Banco de dados utilizado no software.

Todos esses dados foram alimentados separadamente, por etapa de processo, quando eram dados do berço ao portão, ou por módulo, quando eram dados do portão ao túmulo.

Para alguns dados, como já descrito anteriormente, não foi possível utilizar de forma direta um banco específico de dados, por não representar a realidade da empresa. Diante disso, foi elaborado um novo banco de dados complementar, por meio de um conjunto de outros bancos do Ecoinvent, esses estão identificados na Tabela 21 como “Banco de dados complementar”. Esses bancos de dados correspondem aos seguintes itens:

- Água tratada na ETA da empresa em estudo;
- Tratamento das quebras de revestimentos cerâmicos desviadas do processo e trituradas para retornar ao processo;
- Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura;
- Frita representativa para empresa em estudo;
- Matérias-primas de cobertura com adição do impacto dos fornecedores;
- Colas para embalagem;
- Argamassa para assentamento.

Além disso, a Figura 19 mostra uma captura de tela realizada do software SimaPro, referente à modelagem, preparação e armazenamento de massa (pó atomizado), a fim de ilustrar e exemplificar como as informações são inseridas.

Tabela 18 – Bancos de dados que foram utilizados diretamente no software SimaPro, (do berço ao portão – A1-A3)

Etapa do processo	Dado inserido no software	Unidade de medida	Descrição do dado	Banco de dados utilizado
Queima de combustíveis	Emissão de CO ₂ pela queima do Gás Natural	tCO ₂ e/m ²	Emissões	Carbon dioxide
	Emissão de CO ₂ pela queima do Carvão	tCO ₂ e/m ²	Emissões	Carbon dioxide
Preparação e armazenamento de massa (pó atomizado)	Gás Natural	m ³ de gás/m ² produzido	Insumo	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production APOS, U
	Carvão	kg/m ²	Insumo	Hard coal {RoW} market for APOS, U
	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Água tratada na ETA da empresa em estudo	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Banco de dados complementar criado
	Água virgem de poço	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Water, well, BR
	Transporte externo (caminhão capacidade > 32 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 APOS, U
	Transporte externo (caminhão capacidade 16 - 32 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U
	Albita	kg/m ²	Insumo	Feldspar {RoW} production APOS, U
	Argila	kg/m ²	Insumo	Clay {GLO} market for APOS, U
	Argilito	kg/m ²	Insumo	Clay {GLO} market for APOS, U
	Bentonita	kg/m ²	Insumo	Bentonite {RoW} quarry operation APOS, U
	Calcário	kg/m ²	Insumo	Limestone, crushed, for mill {RoW} production APOS, U
	Caulim	kg/m ²	Insumo	Kaolin {RoW} production APOS, U
	Feldspato	kg/m ²	Insumo	Feldspar {RER} production APOS, U
	Filito	kg/m ²	Insumo	Feldspar {RER} production APOS, U
	Granito	kg/m ²	Insumo	Natural stone plate, grounded {RoW} production APOS, U
	Nefelina	kg/m ²	Insumo	Feldspar {RER} production APOS, U
	Talco	kg/m ²	Insumo	Malusil {RoW} production APOS, U

	Quebras de revestimentos cerâmicos desviadas do processo, e trituradas para retornar ao processo	kg/m ²	Resíduo britado - retorno	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Material Particulado	mg/m ²	Emissões	Particulates, < 10 um (stationary)
	SO ₂	mg/m ²	Emissões	Sulfur dioxide
	NO ₂	mg/m ²	Emissões	Nitrogen dioxide
Central de compostagem de materiais de cobertura (esmalte e engobe) (CCE)	Frita para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Caulim para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Silicato de Zircônio para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Argila para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Quartzo para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Feldspato para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Dolomita para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Alumina para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Óxido De Zinco para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Corantes para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Tripolifosfato De Sódio para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	CMC para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Tinta para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
Preparação de cobertura (esmalte + engobe)	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Água tratada na ETA da empresa em estudo	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Água virgem de poço	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Water, well, BR
	Frita para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Caulim para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Silicato de Zircônio para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Argila para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Quartzo para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Feldspato para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo

	Dolomita para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Alumina para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Óxido De Zinco para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Corantes para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Tripolifosfato De Sódio para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	CMC para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Tinta para cobertura	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Transporte externo	tkm/m ²	Transporte externo	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U
	Transporte interno	tkm/m ²	Transporte interno	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U
Prensagem	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
Secagem	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Gás Natural	m ³ de gás/m ² produzido	Insumo	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production APOS, U
Esmaltação	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Água tratada na ETA da empresa em estudo	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Água virgem de poço	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Water, well, BR
Queima do revestimento cerâmico	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Gás Natural	m ³ de gás/m ² produzido	Insumo	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production APOS, U
Polimento	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
Ponto de cola	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Cola - PVC Homopolímero	kg/m ²	insumo	50% Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for APOS, U e 50% Tap water {BR} market for tap water APOS, U
	Gás Natural	m ³ de gás/m ² produzido	Insumo	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production APOS, U
Retífica	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
Preparação de peças especiais	Água tratada na ETA da empresa em estudo	m ³ água/m ² produzido	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo

	Gás Natural	m ³ de gás/m ² produzido	insumo	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production APOS, U
	Cera Protetiva	kg/m ²	Insumo	Petroleum slack wax {BR} petroleum slack wax production, petroleum refinery operation APOS, U
	Colas para embalagem	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Caixas de papelão	kg/m ²	Insumo	Corrugated board box {RoW} market for corrugated board box APOS, U
	Chapa de papelão	kg/m ²	Insumo	Containerboard, linerboard {RoW} market for containerboard, linerboard APOS, U
	Fítilhos	kg/m ²	Insumo	Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, U + Polypropylene, granulate {GLO} market for APOS, U
	Palete	un/m ²	Insumo	EUR-flat Palette {RoW} production APOS, U
	Plástico filme de polietileno	kg/m ²	Insumo	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for APOS, U
Classificação e embalagem	Etiquetas	kg/m ²	Insumo	Printed paper, offset {RoW} offset printing, per kg printed paper APOS, U
	Tinta de embalagem	kg/m ²	Insumo	Printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state {RoW} printing ink production, offset, product in 47.5% solution state APOS, U
	Fita adesiva	kg/m ²	Insumo	Polypropylene, granulate {GLO} market for APOS, U
	Cantoneiras	kg/m ²	Insumo	Containerboard, linerboard {RoW} market for containerboard, linerboard APOS, U
	Filme stretch	kg/m ²	Insumo	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for APOS, U
	Selo galvanizado	kg/m ²	Insumo	Steel, unalloyed {GLO} market for APOS, U
	Suporte triangular para os cantos	kg/m ²	Insumo	Steel, unalloyed {GLO} market for APOS, U
	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Transporte externo (caminhão capacidade 16 - 32 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 APOS, U
Gestão de resíduos	Rolo Refratário	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
	Torta de Polimento	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)

Papel/Papelão	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Plástico	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Ráfia	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Fitalho	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Madeira	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Rolo de Papelão	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Cinza de Carvão	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Cinza Grossa	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Diversos e contaminados	kg/m ²	Resíduo - Aterro	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
Lodo	kg/m ²	Reutilizado por meio de simbiose	Waste to reuse (Destino criado nesse estudo no software)
Transporte externo (caminhão capacidade 3,5 - 7,5 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 APOS, U
Transporte externo (caminhão capacidade 7,5 - 16 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 APOS, U
Transporte externo (caminhão capacidade 16 - 32 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U

	Transporte externo (caminhão capacidade > 32 ton)	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 APOS, U
Estação de tratamento de Efluentes	Energia Elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Praestol 851BC (Defloc HI 460 - polímero catiônico)	kg/m ²	Insumo	Cationic resin {RoW} market for cationic resin APOS, U
	Cal Virgem	kg/m ²	Insumo	Lime, hydrated, loose weight {RoW} market for lime, hydrated, loose weight APOS, U
	Peróxido de Hidrogênio (floculante)	kg/m ²	Insumo	Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW} market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state APOS, U
	Sulfato de Alumínio (coagulante)	kg/m ²	Insumo	Aluminium sulfate, powder {RoW} market for aluminium sulfate, powder APOS, U
	Aditivo desincrustante - Ácido clorídrico 5-20%	kg/m ²	Insumo	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RoW} market for APOS, U
	Água "devolvida" para o rio	m ³ /m ²	Devolução ao meio ambiente	"Emissões para a água" (Water, BR)

Fonte: Autora (2022).

Tabela 19 – Bancos de dados utilizados diretamente (Portão ao túmulo – A4-C4)

Etapa	Dado inserido no software	Unidade de medida	Descrição	Banco de dados utilizado
A4	Transporte rodoviário	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO} market for APOS, U
	Transporte ferroviário	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight train {GLO} market group for APOS, U
	Transporte marítimo	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship APOS, U
	Resíduos de Quebras durante o transporte	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
A5	Argamassa para assentamento	kg/m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Água	m ³ /m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Resíduo de embalagem (Plástico)	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	Resíduo de embalagem (Papel e papelão)	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U

	Resíduo de embalagem (Madeira)	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	Resíduo de embalagem (Metais)	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	Resíduo de quebras durante a instalação	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	Resíduo de embalagem (Plástico)	kg/m ²	Resíduo para reciclagem	Waste to recycling
	Resíduo de embalagem (Papel e papelão)	kg/m ²	Resíduo para reciclagem	Waste to recycling
	Resíduo de embalagem (Madeira)	kg/m ²	Resíduo para reciclagem	Waste to recycling
	Resíduo de embalagem (Metais)	kg/m ²	Resíduo para reciclagem	Waste to recycling
	Resíduo de quebras durante a instalação	kg/m ²	Resíduo para aterro	Waste to recycling
B2	Água	m ³ /m ²	Insumo	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Detergente	m ³ /m ²	Insumo	Non-ionic surfactant {GLO} non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate APOS, U
C2	Transporte rodoviário	tkm/m ²	Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO} market for APOS, U
C3	Energia elétrica	kWh/m ²	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Diesel	kg/m ²	Insumo	Diesel {BR} market for diesel APOS, U
C4	Resíduo de revestimento cerâmico pós uso	kg/m ²	Resíduo para aterro	Inert waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	Resíduo de revestimento cerâmico pós uso	kg/m ²	Resíduo para reciclagem	Waste to recycling

Fonte: Autora (2022).

Tabela 20 – Bancos de dados utilizados diretamente (Módulo D)

Etapas	Dado inserido no software	Unidade de medida	Descrição	Banco de dados utilizado
D	Revestimentos cerâmicos quebrados durante a instalação (resíduos gerados durante a instalação - Módulo A5) e revestimento cerâmico pós uso (Módulo C4)	kg/m ²	Utilização primária do material (E*V)	Ceramic tile {GLO} market for APOS, U
			Reciclagem do material (Erecycled)	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Plástico (embalagens descartadas após instalação - Módulo A5)	kg/m ²	Utilização primária do material (E*V)	Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for APOS, U
			Reciclagem do material (Erecycled)	Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics APOS, U
	Papel ou Papelão (embalagens descartadas após instalação - Módulo A5)	kg/m ²	Utilização primária do material (E*V)	Corrugated board box {RoW} market for corrugated board box APOS, U E Containerboard, linerboard {RoW} market for containerboard, linerboard APOS, U
			Reciclagem do material (Erecycled)	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper APOS, U
	Madeira (embalagens descartadas após instalação - Módulo A5)	kg/m ²	Utilização primária do material (E*V)	EUR-flat Palette {GLO} market for APOS, U
			Reciclagem do material (Erecycled)	Banco de dados complementar criado nesse estudo
	Metais (embalagens descartadas após instalação - Módulo A5)	kg/m ²	Utilização primária do material (E*V)	Steel, unalloyed {GLO} market for APOS, U
			Reciclagem do material (Erecycled)	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron APOS, U

Fonte: Autora (2022).

Tabela 21 – Bancos de dados complementares

Banco de dados complementar criado nesse estudo	Dado inserido no software	Unidade de medida	Descrição do dado	Banco de dados utilizado
Água tratada na ETA da empresa em estudo	Água virgem de rio	m ³ de água de rio/m ³ de água tratada	Insumo	Water, river, BR
	Energia Elétrica	kWh/m ³ de água tratada	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Hipoclorito de Sódio Vetec	kg/m ³ de água tratada	Insumo	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO} market for APOS, U
	Cloro Gás	kg/m ³ de água tratada	Insumo	Chlorine, gaseous {GLO} market for APOS, U
	Carbonato de Sódio	kg/m ³ de água tratada	Insumo	Soda ash, light, crystalline, heptahydrate {GLO} market for APOS, U
Tratamento das quebras de revestimentos cerâmicos (britagem)	Energia Elétrica	kWh/kg quebras	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Diesel para processo de britagem	kg Diesel/kg quebras	Insumo	Diesel {BR} market for diesel APOS, U
Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	Transporte por caminhão	tkm/kg produzido	Transporte	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U
	Transporte por navio	tkm/kg produzido	Transporte	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship APOS, U
	Energia Elétrica	kWh/kg produzido	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
	Gás Natural	m ³ /kg produzido	Insumo	Natural gas, high pressure {RoW} market for APOS, U
	Água tratada	m ³ /kg produzido	Insumo	Água tratada na ETA da empresa em estudo (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
	Resíduo para aterro	kg resíduo/kg produzido	Resíduo	Municipal solid waste {RoW} treatment of, sanitary landfill APOS, U
	NO ₂	kg/kg produzido	Emissões	Nitrogen dioxide
	Material Particulado	kg/kg produzido	Emissões	Particulates, < 10 um (stationary)
	NO ₂	kg/kg produzido	Emissões	Sulfur dioxide

Frita representativa para empresa em estudo	Óxido de alumínio	kg/kg frita	Insumo	Aluminium oxide, non-metallurgical {RoW} treatment of aluminium scrap, new, at refiner APOS, U
	Barita	kg/kg frita	Insumo	Barite {RoW} production APOS, U
	Dolomita	kg/kg frita	Insumo	Dolomite {RoW} production APOS
	Feldspato	kg/kg frita	Insumo	Feldspar {RoW} production APOS
	Chumbo	kg/kg frita	Insumo	Lead {RoW} primary zinc production from concentrate APOS, U
	Calcário	kg/kg frita	Insumo	Limestone, crushed, for mill {RoW} production APOS, U
	Sílica	kg/kg frita	Insumo	Silica sand {RoW} production APOS, U
	Perborato de sódio	kg/kg frita	Insumo	Sodium perborate, tetrahydrate, powder {RoW} production APOS, U
	Dióxido de Titânio	kg/kg frita	Insumo	Titanium dioxide {RoW} production, sulfate process APOS, U
	Óxido de Zinco	kg/kg frita	Insumo	Zinc oxide {RoW} production APOS, U
	Zircônio	kg/kg frita	Insumo	Zircon, 50% zirconium {RoW} heavy mineral sand quarry operation APOS, U
Frita para cobertura	Frita	kg/kg frita	Insumo	Frita representativa para empresa em estudo (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg frita	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Caulim para cobertura	Caulim	kg/kg Caulim	Insumo	Kaolin {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Caulim	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Silicato de Zircônio para cobertura	Silicato de Zircônio	kg/kg Silicato de Zircônio	Insumo	Zircon, 50% zirconium {RoW} heavy mineral sand quarry operation APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Silicato de Zircônio	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Argila para cobertura	Argila	kg/kg Argila	Insumo	Clay {RoW} clay pit operation APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Argila	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Quartzo para cobertura	Quartzo	kg/kg Quartzo	Insumo	Natural stone plate, grounded {RoW} production APOS, U

	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Quartzo	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Feldspato para cobertura	Feldspato	kg/kg Feldspato	Insumo	Feldspar {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Feldspato	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Dolomita para cobertura	Dolomita	kg/kg Dolomita	Insumo	Dolomite {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Dolomita	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Alumina para cobertura	Alumina	kg/kg Alumina	Insumo	Aluminium oxide {GLO} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Alumina	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Óxido De Zinco para cobertura	Óxido De Zinco	kg/kg Óxido De Zinco	Insumo	Zinc oxide {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Óxido De Zinco	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Corantes para cobertura	Corantes	kg/kg Corantes	Insumo	Chemical, inorganic {GLO} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Corantes	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Tripolifosfato de Sódio para cobertura	Tripolifosfato de Sódio	kg/kg Tripolifosfato De Sódio	Insumo	Sodium tripolyphosphate {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Tripolifosfato De Sódio	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
CMC para cobertura	CMC	kg/kg CMC	Insumo	Carboxymethyl cellulose, powder {RoW} production APOS, U
	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg CMC	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
	Tinta	kg/kg Tinta	Insumo	Chemical, inorganic {GLO} production APOS, U

Tinta para cobertura	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura	kg/kg Tinta	Impacto fornecedores	Impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura (Banco de dados complementar criado nesse estudo)
Colas para embalagem	Material orgânico	kg/kg de cola	Insumo	Chemical, organic {GLO} production APOS, U
	Resina	kg/kg de cola	Insumo	Rosin size, for paper production {GLO} tall oil refinery operation APOS, U
	Ácido bórico	kg/kg de cola	Insumo	Boric acid, anhydrous, powder {RoW} production APOS, U
	Metanol	kg/kg de cola	Insumo	Methanol {GLO} market for APOS, U
	Água tratada	kg/kg de cola	Insumo	Tap water {BR} market for tap water APOS, U
Argamassa para assentamento	Cimento	kg/kg de argamassa	Insumo	Cement, Portland {BR} market for cement, Portland APOS, U
	Embalagem	Kg/kg de argamassa	Insumo	Packing, cement {GLO} market for APOS, U
	Sílica	Kg/kg de argamassa	Insumo	Silica sand {GLO} market for APOS, U
	Energia elétrica	kWh/kg de argamassa	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U
Trituração de madeira	Energia elétrica	kWh/kg de madeira	Insumo	Electricity, medium voltage {BR} market for APOS, U

Fonte: Autora (2022).

Figura 19 – Captura de tela da modelagem da etapa de preparação e armazenamento de massa (pó atomizado) no software SimaPro

Eicheiro Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda							
Documentação Entradas/saída Parâmetros Descrição do sistema							
Produtos							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Tipo de resíduo	Categoria	Comentário
Preparação de massa (pó atomizado)	1	m2	Area	100 %			
(Insira linha aqui)							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx	Comentário
(Insira linha aqui)							
Entradas							
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
Water, well, BR		0,004705	m3	Sessão normal	1,11		
(Insira linha aqui)							(3,1,1,1,1,na)Água de poço
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD			Comentário
Água tratada na ETA		m3	Sessão normal	1,11			(3,1,1,1,1,na)
Feldspar [RER] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Esse dataset está representando a ALBITA
Clay [RoW] clay pit operation APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Argila
Clay [RoW] clay pit operation APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Esse dataset está representando o ARGILITO
Bentonite [RoW] quarry operation APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Bentonita
Limestone, crushed, for mill [RoW] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Calcário
Kaolin [RoW] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Caulim
Feldspar [RER] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Feldspato
Feldspar [RER] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Esse dataset está representando o FILITO
Natural stone plate, ground [RoW] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Granito
Feldspar [RER] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Esse dataset está representando a NEFELINA
Malusil [RoW] production APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)Talco
Tratamento das quebras (britagem)		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 [RoW] transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 APOS, U		tkm	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 [RoW] transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, U		tkm	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)
(Insira linha aqui)							
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (eletricidade/calor)	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD			Comentário
Electricity, medium voltage [BR] market for APOS, U		kWh	Sessão normal	1,11			(3,1,1,1,1,na)
Natural gas, high pressure [RoW] natural gas production APOS, U		m3	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)
Hard coal [RoW] market for APOS, U		kg	Sessão normal	1,05			(1,1,1,1,1,na)
(Insira linha aqui)							
Saídas							
Emissões para o ar	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD		Comentário
Sulfur dioxide			mg	Sessão normal	1,05		(1,1,1,1,1,na)
Nitrogen dioxide			mg	Sessão normal	1,05		(1,1,1,1,1,na)
Particulates, < 10 um (stationary)			mg	Sessão normal	1,05		(1,1,1,1,1,na)
(Insira linha aqui)							
Emissões para a água	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)							
Emissões para o solo	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)							
Fluxos finais de resíduo	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD		Comentário
(Insira linha aqui)							
Emissões não materiais	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)							
Questões sociais	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)							
Questões económicas	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Resíduos e emissões para tratamento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD ^2 eller 2^SD			Comentário
(Insira linha aqui)							

Fonte: Autora (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

4.1.1. Qualidade dos dados fornecida pela matriz *pedigree*

Para quase todos os dados inseridos nesse inventário a matriz *pedigree* no software SimaPro foi preenchida com o melhor nível de qualidade, ou seja, foram levados em conta os seguintes requisitos:

- Confiabilidade da fonte: Dados verificados com base em medições;
- Completude (plenitude): Dados representativos de todos os locais relevantes para o mercado considerado, durante um período adequado para nivelar as flutuações normais;
- Correlação temporal: Menos de três anos de diferença em relação ao ano de referência;
- Correlação geográfica: Dados da área alvo de estudo;
- Correlação tecnológica suplementar: Dados de empresas, processos e materiais alvo do estudo;

Desta forma, se atingiu para esses dados uma classificação de 1,05. Apesar disso, ocorreram algumas exceções, que são descritas a seguir. Para os dados de energia elétrica, água e cola utilizada no ponto de cola, considerou-se a confiabilidade da fonte como sendo “dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas”, visto que para obtenção desses dados foi utilizada uma estimativa, como descrito no procedimento experimental. Isso fez com que esses dados atingissem uma classificação de 1,11.

Para os dados coletados por meio de fornecedores considerou-se a confiabilidade da fonte como sendo “*Dados verificados parcialmente com base em suposições ou dados não verificados com base na medição*”, visto que não foi possível realizar uma confirmação destes, por serem dados confidenciais, e a completude como sendo “*Dados representativos de > 50% dos casos relevantes para o mercado considerados durante um período adequado para determinar flutuações normais*”, visto que foram coletados os dados dos fornecedores de 60% (>50%) das matérias-

primas utilizadas, generalizando aos demais. Isso fez com que esses dados atingissem uma classificação de 1,07.

Para alguns dados do portão ao túmulo e módulo D, sendo esses:

- Consumo de água e argamassa do módulo A5 e consumo de água e detergente do módulo B2, nos quais foram utilizados dados da literatura conforme já citado anteriormente, para auxiliar nos cálculos;
- Geração de resíduos de embalagens do módulo A5, transporte do módulo C2 e geração de resíduos pós uso do módulo C4, em que foram utilizados dados da literatura para auxiliar nos cálculos.

A confiabilidade da fonte foi classificada como *“Dados verificados parcialmente baseados em hipóteses ou dados não verificados com base em medições”*, a correlação geográfica como *“Dados médios de uma área maior na qual está incluída a área alvo de estudo”* e a correlação tecnológica complementar como *“Dados de processos e materiais alvo de estudo (ou seja, tecnologia idêntica) mas de empresas diferentes”*. Isso fez com que esses dados atingissem uma classificação de 1,09.

Em geral, todos os dados ficaram com uma classificação menor que 1,6, portanto os dados podem ser considerados com nível excelente de qualidade, conforme a Tabela 2.

4.1.2. Impactos analisados no estudo do berço ao túmulo

A produção da unidade funcional (em m²) é responsável pelo consumo de materiais e recursos energéticos e pela geração de resíduos. Em ACV, a descrição deste fluxo permite colocar em evidência certas alterações ambientais, denominadas como categorias de “impactos”.

Os impactos considerados na avaliação do presente estudo foram:

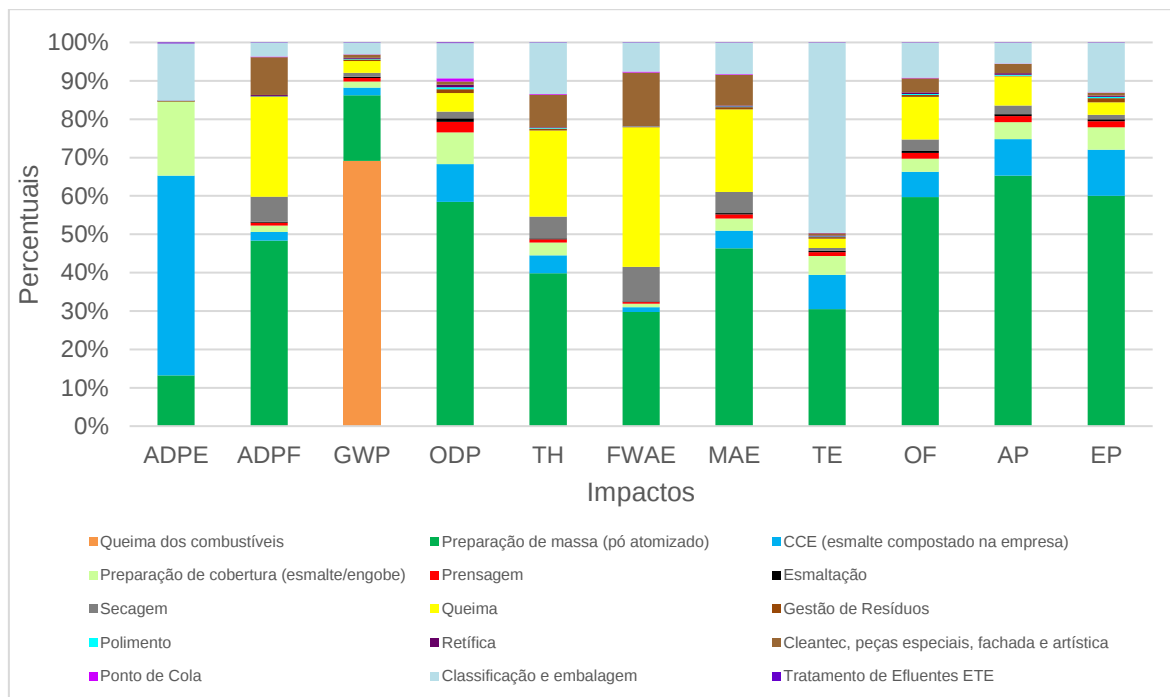
- Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) (ADPE);
- Potencial de depleção de recursos abióticos (recursos fósseis) (ADPF);
- Potencial de aquecimento global (GWP);
- Destruição da camada de ozônio (ODP);
- Toxicidade humana (TH);

- Ecotoxicidade aquática de água doce (FWAE);
- Ecotoxicidade aquática marinha (MAE);
- Ecotoxicidade terrestre (TE);
- Oxidação fotoquímica (OF);
- Acidificação (AP);
- Eutrofização (EP).

Inicialmente foram gerados, por meio do software, os gráficos referente a esses impactos para as 5 unidades fabris da empresa, do berço ao portão e também do portão ao túmulo, esses podem ser vistos na Figura 20 e Figura 21.

Os gráficos dessas figuras apresentam no eixo horizontal as categorias de impacto, representadas por meio de siglas, explicadas anteriormente. No eixo vertical é possível observar o percentual que cada etapa do processo contribui para o impacto em questão. As etapas do processo estão expressas, cada uma delas, com uma cor diferenciada e que pode ser melhor visualizada na legenda dos gráficos.

Figura 20 – Gráfico de impactos ambientais do berço ao portão obtido por meio do software SimaPro



Legenda: ADPE: Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis); ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (recursos fósseis); GWP: Potencial de aquecimento global; ODP: Destruição da camada de ozônio (ODP); TH: Toxicidade humana; FWAE: Ecotoxicidade aquática de água doce; MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha; TE: Ecotoxicidade Terrestre; OF: Oxidação Fotoquímica; AP: Acidificação; EP: Eutrofização.

Fonte: Autora (2022).

A preparação de massa, representada pela cor verde se mostra como a maior responsável pelos seguintes impactos:

- Potencial de depleção de recursos abióticos (ADPF);
- Destruição da camada de ozônio (ODP);
- Toxicidade humana (TH);
- Ecotoxicidade aquática marinha (MAE);
- Oxidação fotoquímica (OF);
- Acidificação (AP);
- Eutrofização (EP).

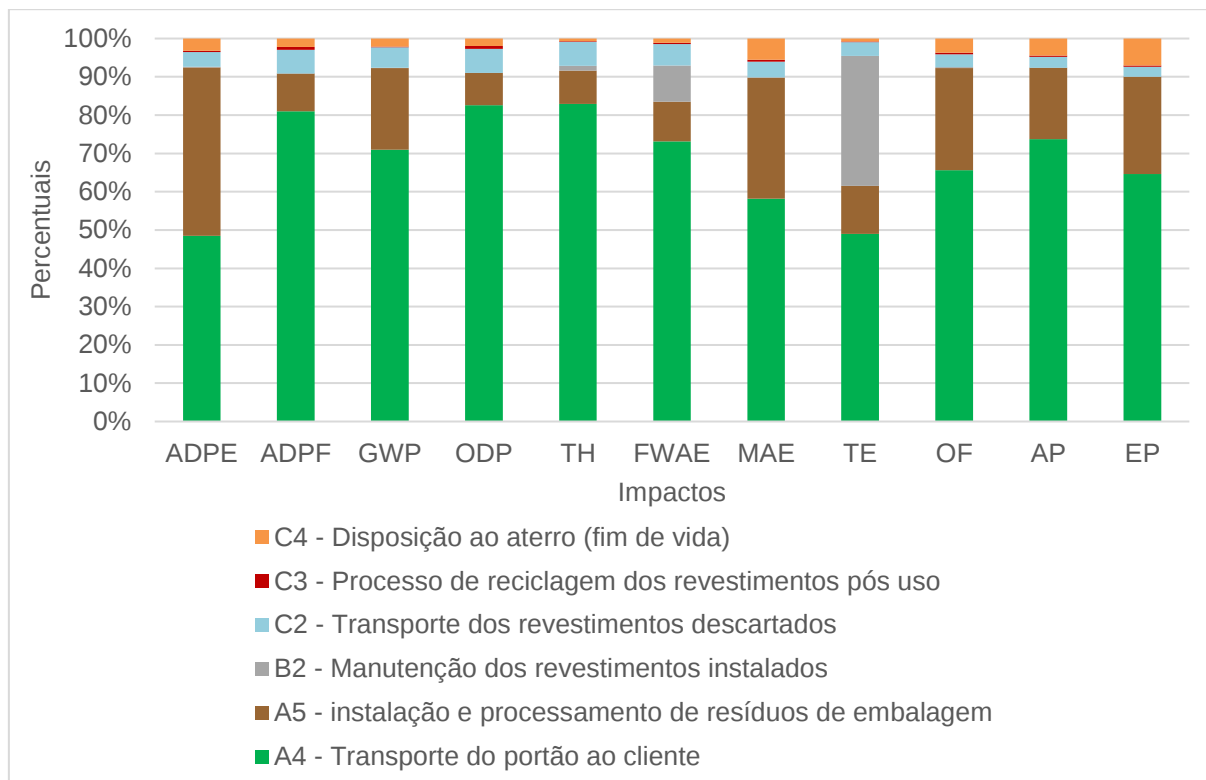
Essa etapa tem grande colaboração para os impactos, pois compreende todo o impacto gerado pela extração de matérias-primas que compõe o corpo cerâmico, que possui massa muito superior à camada de cobertura.

Outra etapa de destaque no gráfico é a queima de combustíveis fósseis, que contribui com 70% do impacto de potencial de aquecimento global. Isso ocorre porque a queima de combustíveis fósseis gera grande quantidade de CO₂, gás responsável pelo efeito estufa, fenômeno que dá origem ao aquecimento global (PAGE, 2022).

Mais uma etapa de destaque é a da classificação e embalagem, que apresentou maior contribuição para Ecotoxicidade Terrestre. A produção de madeira para o papelão da embalagem, que utiliza geralmente árvores como Eucalipto. Para o seu cultivo são utilizados fertilizantes e a produção dos mesmos utiliza grande quantidade de ácido sulfúrico, mais um quesito que impacta diretamente na Ecotoxicidade Terrestre (BORRION; KHRAISHEH; BENYAHIA, 2012).

Por fim, a etapa de queima é a que mais contribui para a Ecotoxicidade aquática de água doce. Essa etapa do processo é a etapa em que ocorrem as transformações químicas no revestimento cerâmico e, conseqüentemente, há a emissão de compostos que se volatilizam durante a etapa de queima, como ácidos ou óxidos de nitrogênio (CELADES *et al.*, 2017). Esses compostos terão influência na contaminação da água doce e dos ecossistemas.

Figura 21 – Gráfico de impactos ambientais do portão ao túmulo obtido por meio do software SimaPro



Legenda: ADPE: Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis); ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (recursos fósseis); GWP: Potencial de aquecimento global; ODP: Destruição da camada de ozônio (ODP); TH: Toxicidade humana; FWAE: Ecotoxicidade aquática de água doce; MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha; TE: Ecotoxicidade Terrestre; OF: Oxidação Fotoquímica; AP: Acidificação; EP: Eutrofização.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 21 mostra o mesmo que a Figura 20, porém para as etapas do portão ao túmulo. Nessa figura se percebe facilmente que a etapa de transporte do portão ao cliente, representada pela cor verde, é a etapa que possui maior influência em todos os fatores de impacto, justamente pela utilização de grande quantidade de combustível e, conseqüentemente, na emissão de gases.

Para se determinar a origem dos impactos verificados nas figuras 19 e 20, foram gerados outros gráficos de ACV, separados por setor/etapa do processo, que permitem rastrear e verificar as oportunidades de melhorias. Esses gráficos, juntamente com suas respectivas tabelas, estão disponíveis no anexo B.

Por meio desses dados disponibilizados no anexo B foi possível elaborar um esquema, mostrando por meio de percentuais o que está majoritariamente influenciando em de cada impacto, facilitando e tornando mais visual a interpretação

dos resultados. A seguir, esses esquemas são expostos e discutidos individualmente para cada impacto.

Além disso, foi realizada uma busca de EPDs e ACVs publicados pelo setor cerâmico, tornando possível a comparação entre os resultados já existentes no setor, com os resultados obtidos nesse trabalho. Os documentos a serem comparados estão descritos na Tabela 22.

Essas comparações são expostas a seguir em formato de gráfico, as colunas dos outros estudos, estão preenchidas com a bandeira de cada país onde foram realizados, facilitando a visualização. Ressalta-se que não foi possível comparar todas as categorias de impacto, pois nem todos os estudos avaliaram essas mesmas categorias, já que dependendo da metodologia de avaliação escolhida os indicadores podem ser diferentes.

Vale ressaltar também que essa avaliação comparativa foi realizada apenas porque as normas não indicam critérios para os indicadores e a empresa em estudo não possuía uma ACV anterior a esta para ser comparada.

Tabela 22 – Documentos (EPDs e ACVs) utilizados para comparação

Identificação no gráfico	ASCER	American Olean 1	American Olean 2	Bundesverband*	Marazzi*	Setorial Itália*	ACV Setorial ANFACER - via ÚMIDA	ACV Setorial ANFACER - via SECA	GranitiFiandre*	Italgraniti*	VitrA (Parede)	VitrA (Porcelanato)	Seranit (Chão)	Seranit (Parede)
Proprietário do estudo	ASCER	American Olean		Bundesverband Keramische Fliesen e. V.	Marazzi Group Srl	Confindustria Ceramica	ANFACER (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos)		GranitiFiandre S.p.a	Italgraniti Group S.p.A.	VitrA Karo	VitrA Karo	Seranit	Seranit
Data da coleta de dados	2017	2018		2014	2014	2014	2015		2018	2019	2018	2018	2019	2019
Verificador	AENOR - GlobalEPD	NSF International		IBU	IBU	IBU	(estudo de ACV)		International EPD System	International EPD System	International EPD System e IBU	International EPD System e IBU	International EPD System	International EPD System
Unidade Funcional	1m² de superfície - 50 anos	1m² de superfície - 75 anos		1m² de superfície - 50 anos	1m² de superfície - 50 ou 60 anos	1m² de superfície - 50 anos	1m² de superfície - 50 anos		1m² de superfície - 50 anos	1m² de superfície - 50 anos	-	-	-	-
Peso médio	20,3 kg/m²	21,97 kg/m²		18,65 kg/m²	24,7 kg/m²	19,9 kg/m²	19,9 kg/m²		8,7 (6mm) - 11,5 (8mm) - 12,8 (9mm) - 13,7 (10mm) - 17,7 (12mm) - 19,3 (13mm) - 20,2 (14mm) - 32,1 (20mm)	Informação indisponível	13,98 kg/m²	19,42 kg/m²	22 kg/m²	18 kg/m²
Método de avaliação de impacto	Informação indisponível	CML 2001-Jan 2016	TRACI 2.1	Informação indisponível	Informação indisponível	Informação indisponível	ReCiPe		Informação indisponível	EDIP 2003	CML-IA Baseline	CML-IA Baseline	CML-IA Baseline	CML-IA Baseline
Software	Gabi	Gabi		Gabi	Gabi	Gabi	SimaPro		SimaPro	SimaPro	SimaPro	SimaPro	SimaPro	SimaPro
Local	Espanha	Dickson (TN)		Berlin, Alemanha	Itália	Itália	Brasil		Itália	Itália	Turquia	Turquia	Turquia	Turquia
Normas utilizadas	UNE-EN ISO 14025:2010, UNE-EN e 15804:2012+A1:2014	ISO 14044 e ISO 14045		ISO 14025 e EN 15804	ISO 14025 e EN 15804	ISO 14025 e EN 15804	ISO 14040, 14044, 14025 e EN 15804:2012		ISO 14025, EN 15804:2012 + A2:2019, ISO 21930:2017	ISO 14025 e EN 15804:2012+A2: 2019	ISO 14025 e EN 15804	ISO 14025 e EN 15804	ISO 14025:2006	ISO 14025:2006
Referência	(ASCER, 2019)	(AMERICAN OLEAN, 2019)		(Bundesverband Keramische Fliesen e. V, 2016)	(MARAZZI, 2016)	(CONFINDUSTRIA CERAMICA, 2016)	(ANFACER, 2015)		(GRANITIFIANDRE, 2020)	(ITALGRANITI, 2022)	(VITRA, 2019)	(VITRA, 2019)	(SERANIT, 2020)	(SERANIT, 2020)

Bundesverband*: Nesta EPD, foram avaliados dois cenários de fim de vida (C3, C4 e D): o cenário 1 considera 100% de reciclagem do material com crédito para agregado, o cenário 2 reflete os resultados de 100% de disposição em aterro de entulho de construção.

Marazzi*: Nesta EPD, foram avaliados três cenários de fim de vida (C3, C4 e D): Cenário 1 considera 100% de reciclagem, Cenário 2 considera 100% de disposição em aterro, Cenário 3 representa uma mistura de aterro (30%) e reciclagem (70 %).

Setorial Itália*: Nesta EPD, foram avaliados dois cenários de fim de vida (C3, C4 e D): o cenário 1 considera 100% de reciclagem, o cenário 2 considera 100% de disposição em aterro.

GranitiFiandre*: Nesta EPD, foram avaliadas as seguintes espessuras: 6mm, 8mm, 9mm, 10mm, 12mm, 13mm, 14mm e 20 mm.

Italgraniti*: Nesta EPD, foram avaliadas as seguintes espessuras: 9mm e 20mm.

Fonte: Autora (2022).

4.1.2.1. Berço ao portão (A1 – A3)

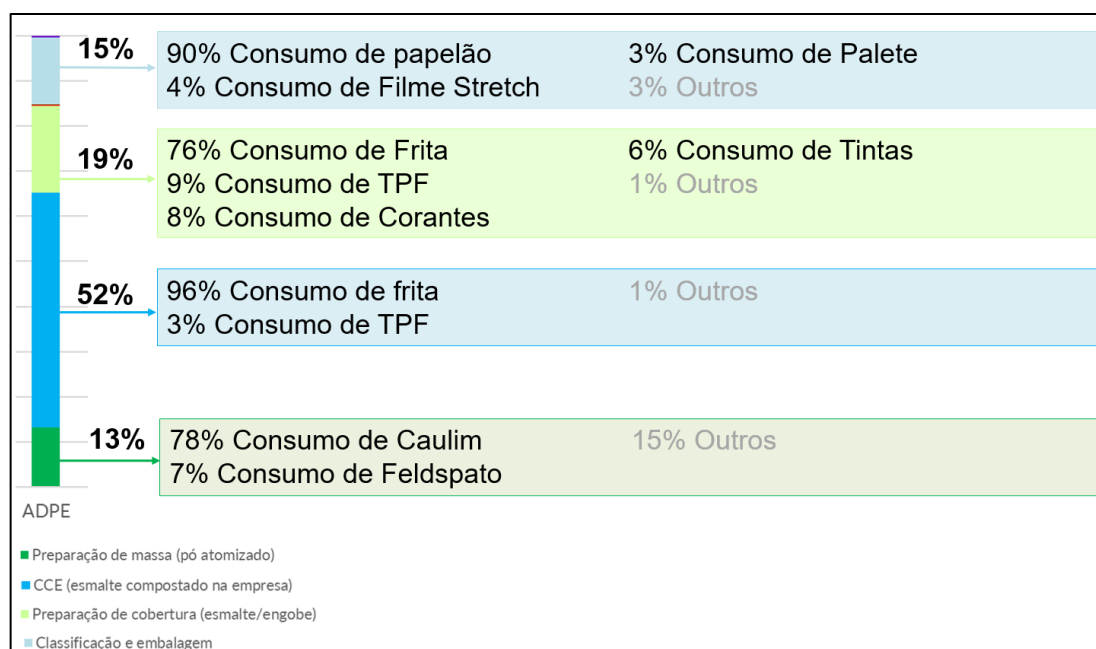
A seguir serão apresentados, de forma individualizada, cada um dos impactos já demonstrados na Figura 20, porém dando ênfase à etapa do processo que mais contribui para o impacto em questão.

Além disso, será apresentada também a comparação do fator de impacto desse estudo com os impactos de outros estudos encontrados na literatura e já citados anteriormente.

4.1.2.1.1. Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) (ADPE)

Por meio da Figura 22 é possível perceber que mais de 70% do esgotamento de recursos abióticos, relacionado a recursos não fósseis, é causado pelo consumo de matérias-primas utilizadas na cobertura do revestimento cerâmico (esmalte e engobe), sendo que 52% dessas matérias-primas foram recebidas pela central de compostagem de esmaltes (CCE) e 19% pelas próprias unidades produtoras, essa diferenciação foi feita apenas para facilitar a rastreabilidade do impacto. Dentre estes, mais de 70%, o consumo de frita é o principal influenciador.

Figura 22 – Esquema referente ao potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

O elevado impacto da matéria-prima frita, em específico, pode ser justificado por alguns fatores, o principal deles é que esta é a matéria-prima mais utilizada para a preparação de coberturas da empresa em estudo, representando mais de 40%.

Na Tabela 21 na qual foram expostos os bancos de dados utilizados, percebe-se que para a frita, não se utilizou um banco de dados pré existente. Para essa matéria-prima elaborou-se outro banco de dados, sendo mais representativo para a empresa em estudo, constituído majoritariamente por sílica e óxido de alumínio.

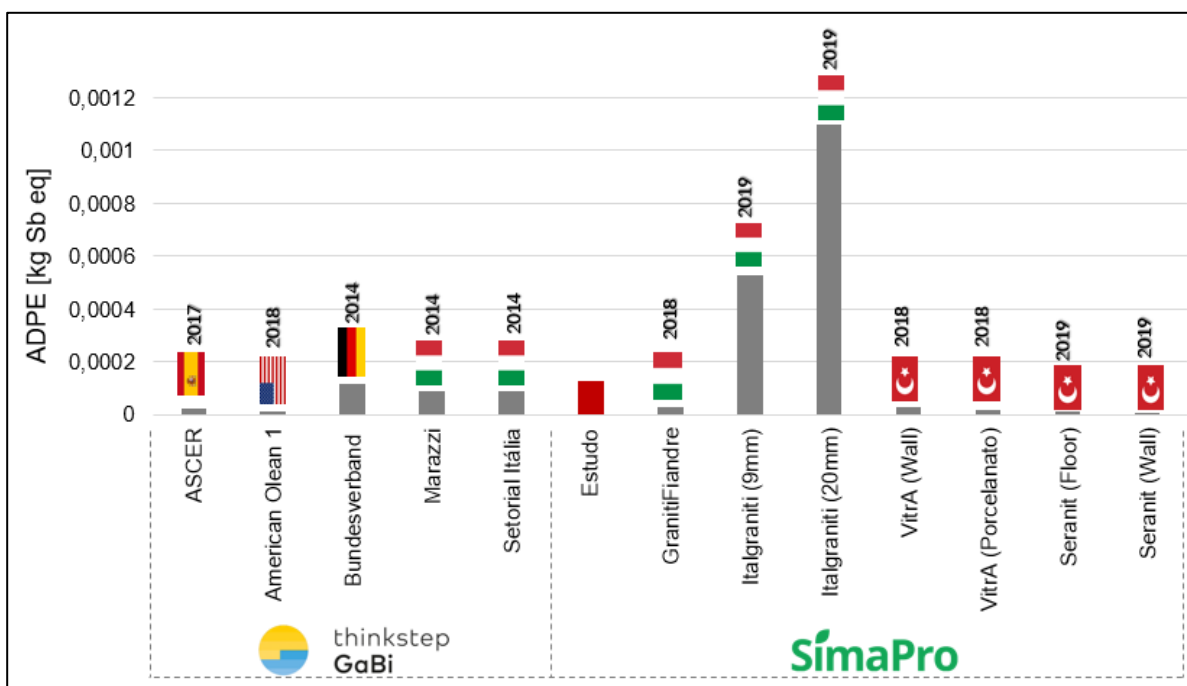
Avaliando esse novo banco de dados criado individualmente, percebeu-se que 95% do impacto para ADPE foi causado pelo óxido de alumínio. Diante disso foi realizada uma investigação no banco de dados do software e percebeu-se que isso foi causado pela mineração, cominuição e flotação do zinco presente neste óxido. O estudo de Ros-Dosdá *et al.* (2017) também mostrou uma grande influência das matérias-primas de cobertura para o impacto de ADPE, devido ao consumo de fritas.

Pode-se perceber que uma outra fonte causadora deste impacto é a preparação de massa, com 13% de influência, devido ao consumo de caulim e feldspato.

Em geral, tudo o que foi discutido até o momento para o potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) está relacionado com o consumo de determinadas matérias-primas, vindo ao encontro aos resultados também encontrados pelos estudos de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), nos quais a maior contribuição é advinda da etapa de fornecimento de matéria-prima, como a argila, feldspato e caulim, incluindo a extração e beneficiamento.

Além disso, 15% desse impacto é proveniente da etapa de classificação e embalagem, tendo o consumo de papelão como principal causador. Rastreando esse impacto no software, no banco de dados escolhido para representar o papelão percebe-se que a maior parte desse impacto advém de geração de resíduo durante a produção do papelão, seguido do consumo de matérias-primas, ou seja, a própria madeira.

Figura 23 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados de potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) - do berço ao portão



Fonte: Autora (2022).

O gráfico da Figura 23 apresenta os resultados de ADPE, no eixo vertical estão os resultados deste indicador e no eixo horizontal estão os estudos comparados de diferentes autores e softwares. Na coluna a vermelho, com a identificação de “estudo”, representam-se os resultados do estudo em questão.

Ressalta-se que, conforme já descrito na fundamentação teórica, segundo o autor Herrmann e Moltesen (2015) muitas vezes a utilização de diferentes softwares resultam em diferentes resultados. Isto se deve à utilização de diferentes bancos de dados e de diferentes metodologias escolhidas no software.

Por este motivo nem sempre a comparação de ACVs é válida. Nesse estudo, apesar das comparações serem realizadas para avaliar o panorama dos indicadores do setor de revestimentos cerâmicos, foi tomado o cuidado de identificar os softwares utilizados na análise, porém não é possível identificar os bancos de dados, uma vez que não são informações disponíveis.

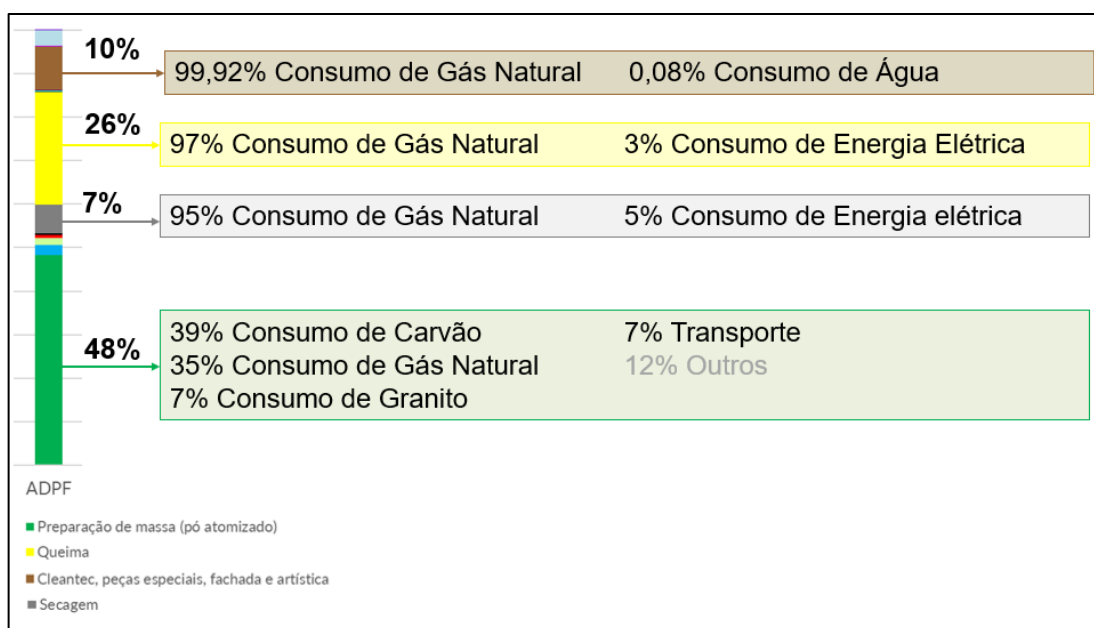
Além disso, na Figura 23 é possível perceber que os resultados desse estudo são coerentes, quando comparados aos demais estudos, ficando apenas um pouco acima da média, com exceção dos estudos da Italgraniti, os quais se mostraram de certa forma mais impactantes.

Isto poderia ser justificado pela espessura dos produtos avaliados pela Italgraniti (9mm e 20mm) serem superiores às espessuras dos produtos da empresa em estudo (7,5mm a 14mm), porém conforme já comentado, os estudos de ACV podem variar principalmente de acordo com o software escolhido, objetivo, escopo do estudo e metodologia de avaliação de impacto, fazendo com que essa afirmação não se aplique para todos os impactos avaliados (HERRMANN e MOLTESSEN, 2015, ITSKOS *et al.*, 2016).

4.1.2.1.2. Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos fósseis) (ADPF)

Na Figura 24 se encontram todas as etapas que influenciam no potencial de depleção de recursos abióticos (recursos fósseis) (ADPF), sendo essas as seguintes: preparação de massa, queima, secagem e produção de peças com algum diferencial (*Cleantec*, peças especiais, fachada e artística). Isso se deve ao fato de que todas as etapas utilizarem majoritariamente combustíveis fósseis, como o carvão e o gás natural.

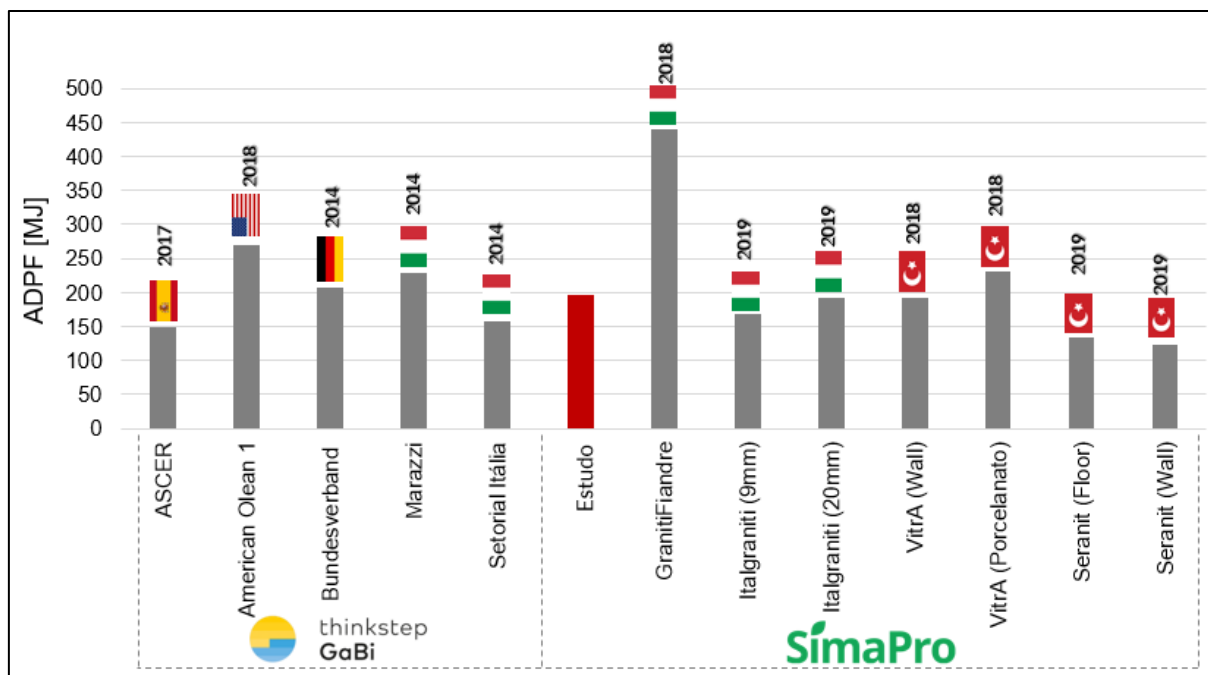
Figura 24 – Esquema referente ao potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Esse resultado se mostrou satisfatório, comparando com outros encontrados na literatura. Segundo Ye *et al.* (2018), ao estudar uma indústria de produção de revestimentos cerâmicos, o uso do carvão desempenhou um papel significativo na categoria de depleção abiótica de recursos fósseis, sugerindo que a diminuição das emissões diretas no ar e o aumento na eficiência de queima do carvão podem reduzir significativamente esse impacto. Além disso, segundo Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), a principal causa desse impacto estaria relacionada com a etapa de queima, devido à demanda de energia térmica.

Figura 25 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados do potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do berço ao portão



Fonte: Autora (2022).

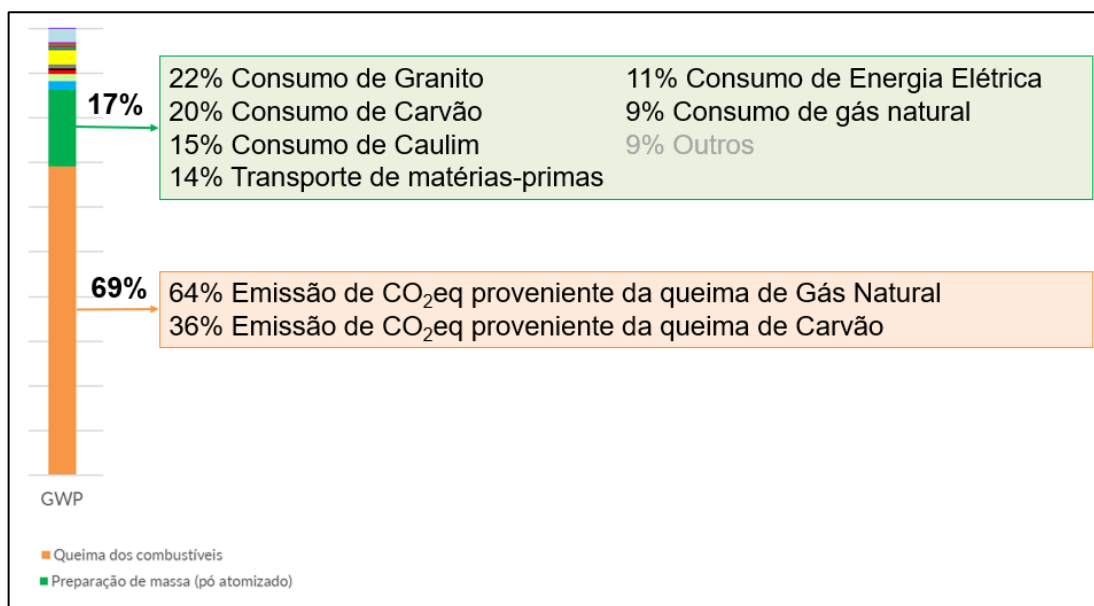
Por meio da Figura 25 é possível concluir que os resultados de ACV deste estudo são coerentes quando comparados com outros estudos, incluindo os gerados pelo programa GaBi. A empresa em estudo inclusive apresentou resultados melhores quando comparados com os estudos da American Olean, Bundesverband, Marazzi, GranitiFiandre e Vitra (Porcelanato).

4.1.2.1.3. Potencial de aquecimento global (GWP)

Como mencionado anteriormente, na definição dos impactos ambientais a principal causa do aquecimento global e, conseqüentemente, das alterações climáticas são as emissões de gases de efeito estufa, sendo um deles a emissão do CO₂ (RABANI *et al.*, 2021). Essa definição pode ser comprovada por meio deste estudo, no qual é possível identificar, por meio da Figura 26, que a emissão de CO_{2eq} proveniente da queima dos combustíveis para ser utilizado no processo contribuiu com 69% da causa do impacto. Destes 69%, o consumo de gás natural influenciou em 64%, enquanto o carvão em 36%. Isso não significa que o gás natural seja mais

prejudicial ao aquecimento global comparando com o Carvão, uma vez que reflete apenas a realidade de que a maior parte da energia térmica utilizada na empresa é proveniente de gás natural, como já foi exposto na Tabela 7, na descrição do inventário.

Figura 26 – Esquema referente ao potencial de aquecimento global (GWP) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

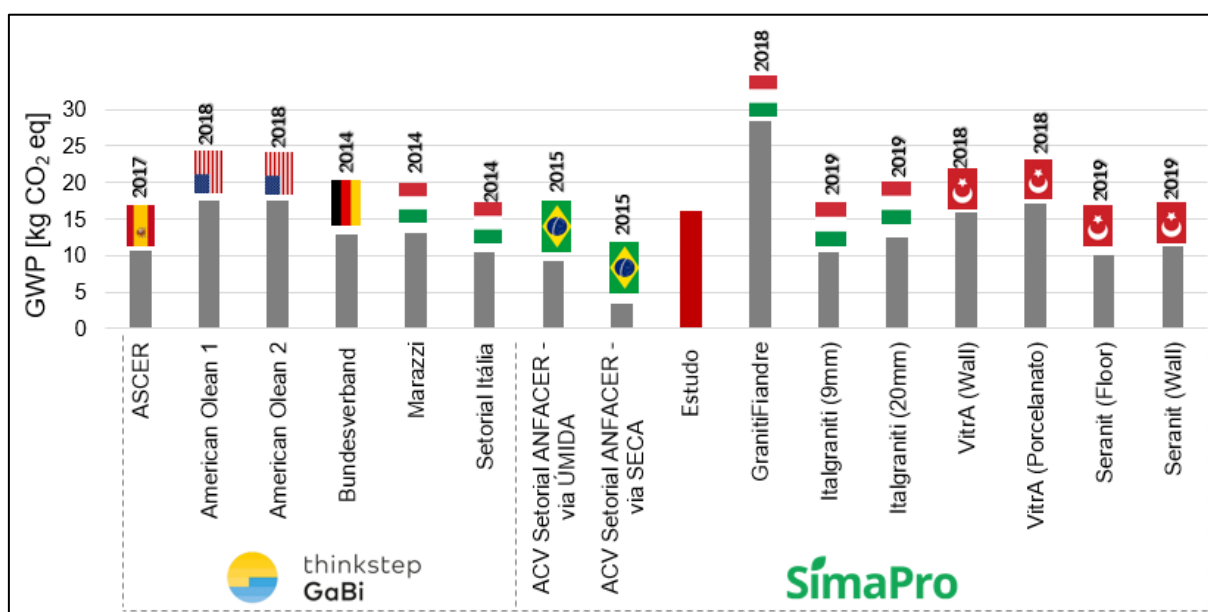
Outro ponto a destacar é o fato de que a etapa de queima de combustíveis foi a principal influenciadora deste impacto relacionado com o aquecimento global. Tendo em vista que esses combustíveis são queimados para fornecer energia térmica aos fornos e secadores da empresa, isso confirma a afirmação de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), que afirmaram que os fornos e secadores usados no processo de produção da cerâmica são os responsáveis pela maior parte das emissões relacionadas com a queima de combustíveis. Portanto, a operação eficiente desses tipos de equipamentos é muito importante em termos de emissões.

Esse mesmo resultado também foi obtido por meio da ACV setorial Brasileira, em que esse impacto esteve diretamente relacionado ao consumo e combustão de gás natural, durante a fabricação das placas cerâmicas (ANFACER, 2015).

O segundo maior influenciador desse impacto foi a etapa de preparação de massa, com 17%. Dentro destes 17%, 29% foi influenciado também pelo consumo

dos combustíveis (20% carvão e 9% gás natural), pelos motivos já expostos anteriormente. Além disso, outro fator que contribuiu significativamente foi o consumo da matéria-prima granito, com 17%. Rastreando os impactos do banco de dados escolhido para a representação desta matéria-prima no software, percebeu-se que o consumo de energia elétrica nas etapas de extração e beneficiamento foi o fator que levou essa matéria prima a influenciar, de forma tão intensa, esse impacto.

Figura 27 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados do potencial de aquecimento global (GWP) – do berço ao portão (GWP)



Fonte: Autora (2022).

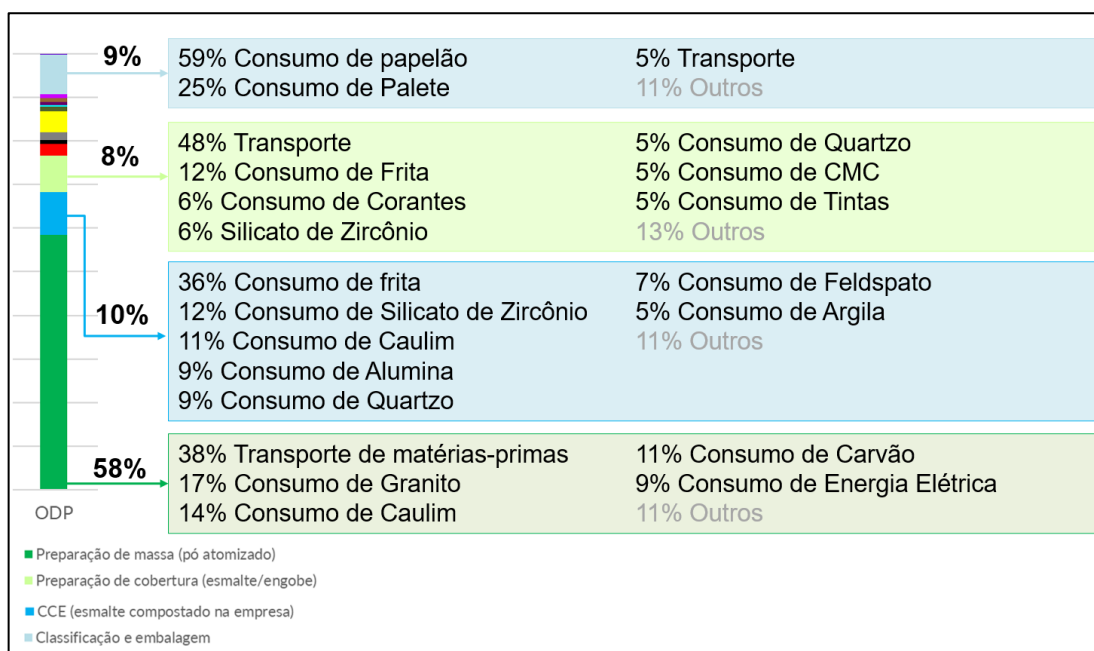
Comparando o resultado obtido neste estudo com os resultados de outros estudos já publicados, conforme apresentado na Figura 27, se percebe que a maior diferença foi com relação a GranitiFiandre, que apresentou resultados de impacto consideravelmente superior. Com relação às demais, pode-se dizer que o resultado do impacto deste estudo ficou próximo da média dos outros estudos apresentados no gráfico. O maior destaque fica por conta da ACV Setorial Anfacer para um sistema de produção via seca, que possui menor impacto que as demais, justamente por não requerer a etapa de atomização e, conseqüentemente, consumir menor energia térmica, o que permite emitir menores quantidades de CO₂. Vale ressaltar que este estudo brasileiro de ACV setorial, como o próprio nome já diz, envolve várias empresas do setor, não sendo realizado com dados primários, fazendo com que o

presente estudo continue sendo pioneiro na obtenção de uma ACV brasileira em apenas uma indústria de revestimentos cerâmicos com dados primários.

4.1.2.1.4. *Destruição da camada de ozônio (ODP)*

A Figura 28 mostra que o potencial de destruição da camada de ozônio foi majoritariamente provocado em primeiro lugar pelo transporte e em segundo lugar pelo consumo de algumas matérias-primas. Por isso, esse impacto ficou mais concentrado dentro dos setores de preparação de massa, preparação de cobertura e da central de compostagem (CCE).

Figura 28 – Esquema referente à destruição da camada de ozônio (ODP) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

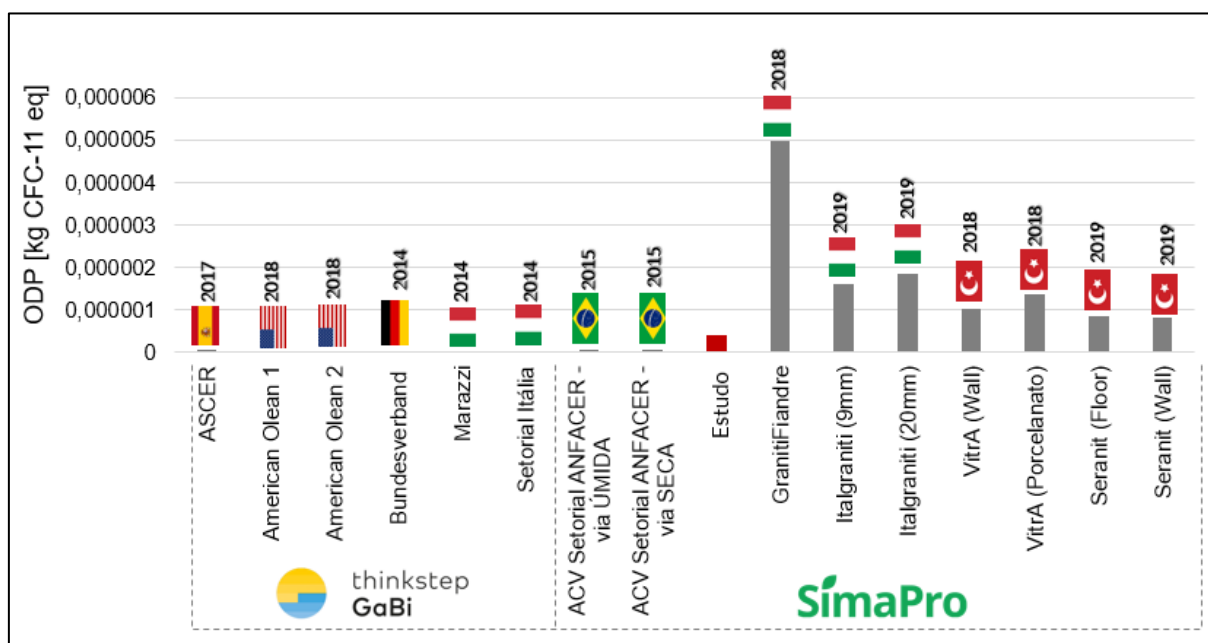
Em relação ao transporte, rastreando esse impacto no software SimaPro, concluiu-se que este foi causado exclusivamente pelo consumo de diesel. Analisando o banco de dados brasileiro para o diesel, o fator que mais impacta para a destruição da camada de ozônio é a refinação do petróleo (donde se extrai o diesel). Isto pode ser justificado por meio dos estudos de Arove e Bankole (2018), segundo eles, a emissão de óxido nitroso (N_2O) atribuível à extração de petróleo possui uma grande

parcela na destruição da camada de ozônio. Além disso, o estudo de Pini *et al.* (2014) também apresentou o transporte de matérias-primas como o maior influenciador de ODP.

Com relação à parcela de impacto causado pelo consumo de determinadas matérias-primas, se rastreou os impactos exclusivos de ODP no software e os principais causadores foram: consumo de combustíveis e energia elétrica para a produção das matérias-primas e seus constituintes.

Considerando agora a parcela do impacto causado pela etapa de classificação e embalagem, rastreando no software, para o consumo de papelão o principal causador foi o consumo de gás natural na etapa de produção e, para o consumo de Paletes, foi o consumo de insumos na preparação da madeira a ser utilizada. Vale a pena ressaltar que o estudo de Contartesi, Melchiades e Boschi (2019) mostrou que a destruição da camada de ozônio também pode estar relacionada pelas etapas de classificação, de embalagem e de armazenamento.

Figura 29 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados da destruição da camada de ozônio (ODP) – do berço ao portão



Fonte: Autora (2022).

Como pode ser visto na Figura 29 o resultado da empresa em estudo ficou aproximadamente 15 vezes superior à média dos outros estudos obtidos por meio do software GaBi. Comparando com os resultados dos demais estudos obtidos por meio

do SimaPro, a empresa em estudo apresentou impacto menores, exceto quando comparado com os resultados da ACV setorial brasileira. Isso mostra que, dependendo do software utilizado, os resultados podem variar muito, como já havia sido descrito no item 2.1.3.4.

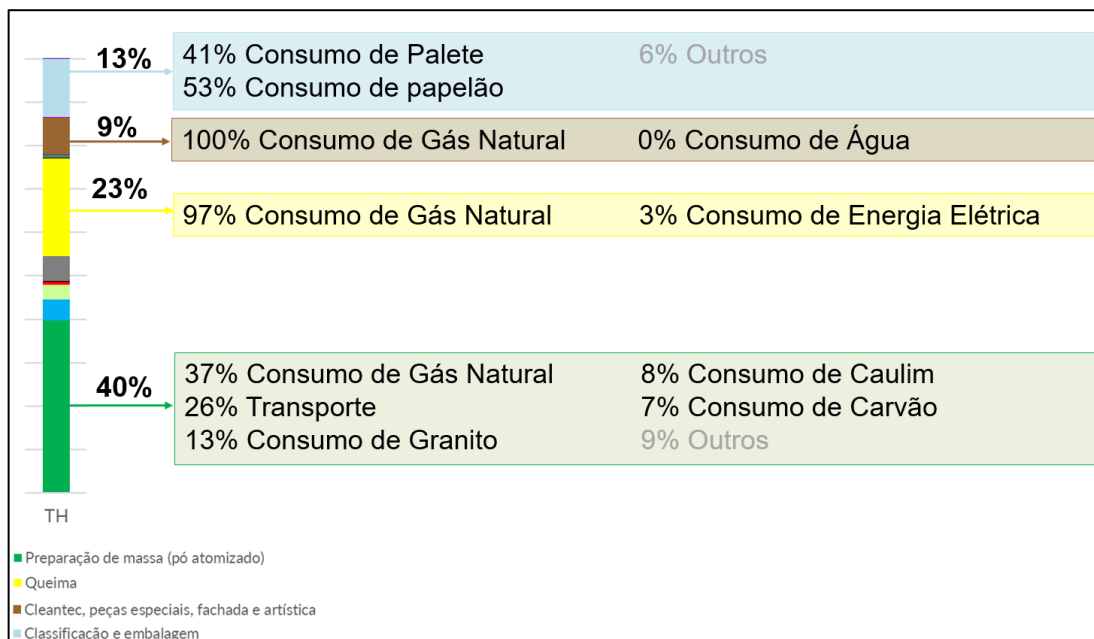
Além disso, esta diferença pode estar relacionada com os seguintes fatores:

- Banco de dados: não se tem conhecimento sobre quais bancos de dados que foram utilizados em cada estudo;
- Qualidade dos dados: não é informado o nível de qualidade dos dados;
- Objetivo e escopo: Os diferentes objetivos e escopos considerados nos trabalhos podem resultar em diferentes resultados, por exemplo, alguns estudos consideraram todos os revestimentos produzidos por um setor, outros por uma empresa e segmentam o estudo por grupos específicos, como a espessura, tipologia, etc;
- Nível tecnológico: a diferença nos níveis tecnológicos entre as empresas podem gerar diferentes resultados, pois os processos podem ter maior ou menor eficiência, o que pode depender do maquinário, estrutura, logística, etc;
- Distâncias de transporte: como os estudos estão localizados em diferentes regiões, as distâncias de transporte podem ter diferentes realidades, contribuindo para a diferença dos resultados.

4.1.2.1.5. Toxicidade humana (TH)

Na Figura 30 é possível analisar que 40% do potencial de toxicidade humana está sendo gerado no setor de preparação de massa, no qual os principais causadores foram o consumo de gás natural, para gerar energia térmica, para a etapa de secagem por atomização e para o transporte das matérias-primas.

Figura 30 – Esquema referente à toxicidade humana (TH) – do berço ao portão, a partir de resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Este impacto, proveniente da queima do gás natural, também pode ser visto em duas outras etapas com um grande percentual de influência, nomeadamente: a queima (23%) e a produção de peças que possuem características técnicas com algum diferencial (*cleantec*, peças especiais, fachada e artística) (9%), onde ocorre uma etapa de secagem. Rastreando esse impacto no software, se identificou que essa influência provem da emissão de compostos voláteis, que ocorre na etapa de extração do gás.

O impacto causado pelo transporte de matérias-primas também está relacionado com as emissões de gases provenientes da queima de combustível dos veículos. Esses resultados vêm de encontro aos expostos no trabalho de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), no qual o impacto de toxicidade humana foi causado em parte dentro da própria indústria, por meio da geração de energia térmica e parte fora da indústria, por meio do transporte de matérias-primas.

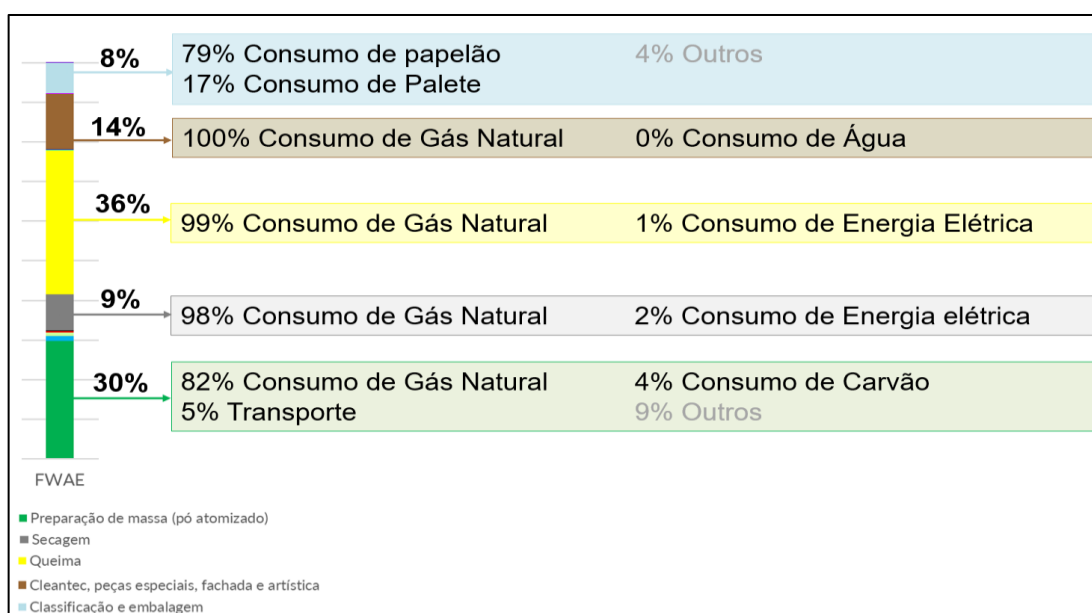
Com 13% de influência está a etapa de classificação e embalagem, devido ao consumo de papelão e paletes. Em relação ao consumo de papelão, o impacto está majoritariamente relacionado com as emissões durante o processo de produção deste material, enquanto em relação ao consumo de paletes, o impacto está relacionado com o consumo de aglomerados de madeira que constituem o paleta.

Segundo o estudo de Alanya-Rosenbaum, Bergman e Gething (2021), o qual avaliou os impactos ambientais do ciclo de vida do setor de produção de paletes de madeira, os principais impactos também estão relacionados com o fornecimento de matéria-prima, ou seja, a madeira que constitui o paleta.

4.1.2.1.6. Ecotoxicidade aquática de água doce (FWAE)

Como pode ser observado na Figura 31, 89% da ecotoxicidade aquática de água doce está sendo causada por etapas do processo, em que o principal causador é o consumo de gás natural para geração de energia térmica, sendo essas etapas a queima (36%), preparação de massa (30%), produção de peças com algum diferencial (14%) e a secagem (9%). Avaliando no banco de dados do gás natural no software SimaPro, para este específico impacto, percebe-se que a maior contribuição é proveniente das emissões da extração e utilização do mesmo. Isso vem de encontro com a literatura exposta na definição dos impactos ambientais, na qual segundo Dincer e Bicer (2018), a ecotoxicidade de água doce considera o impacto das emissões de substâncias tóxicas para o ar, água e solo, sobre a água doce e os ecossistemas.

Figura 31 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática da água doce (FWAE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

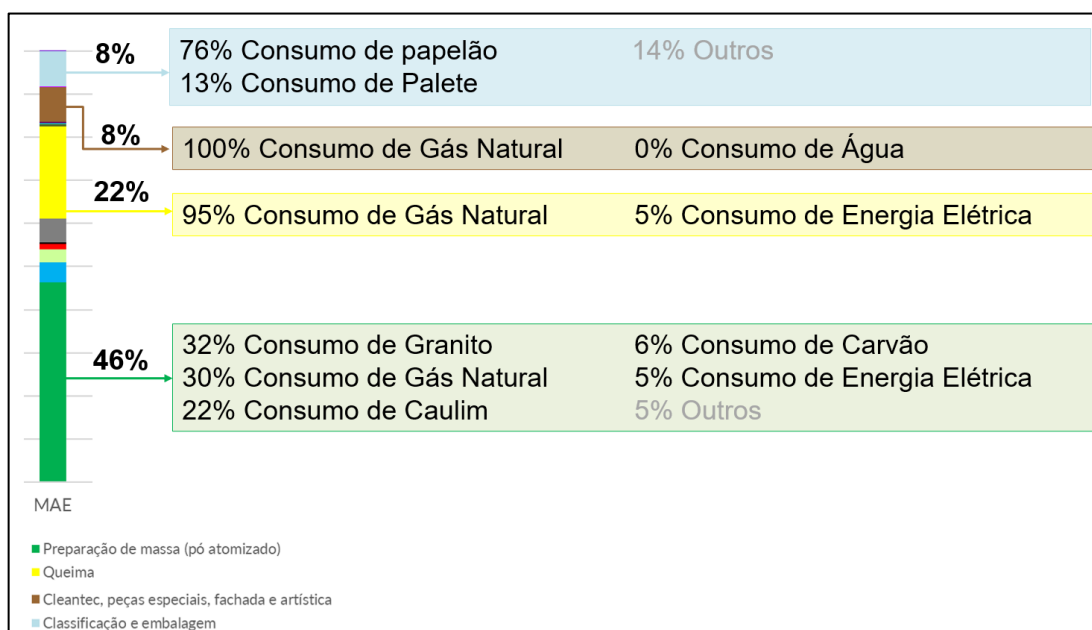
Esse mesmo comportamento ocorreu no estudo de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), no qual as principais etapas influenciadoras também foram a queima e a preparação de massa.

Por fim, ainda dos resultados da Figura 31 pode-se também perceber que 8% desse impacto é proveniente da etapa de classificação e embalagem, sendo influenciado majoritariamente pelo consumo de papelão.

4.1.2.1.7. Ecotoxicidade aquática marinha (MAE)

Como pode ser visto na Figura 32, 46% da ecotoxicidade aquática marinha é proveniente da preparação de massa, em que 36% desse impacto vem do consumo de combustíveis (30% gás natural e 6% carvão). Duas outras etapas também influenciam devido ao consumo de combustíveis, neste caso gás natural, são essas a queima e a produção de peças que possuem características técnicas com algum diferencial na produção, com respectivamente 22% e 8% de influência.

Figura 32 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática marinha (MAE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Isso vem ao encontro da teoria exposta anteriormente na definição dos impactos ambientais, na qual a ecotoxicidade marinha é totalmente dominada pelas emissões para o ar (BORRION; KHRAISHEH; BENYAHIA, 2012), o que pode estar totalmente relacionado às emissões causadas pela queima dos combustíveis, para geração de energia térmica.

No estudo de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), a principal contribuição para esse impacto também vem das etapas de queima e preparação das matérias-primas. Além disso, segundo Ye *et al.* (2018), uma das formas de reduzir o impacto relacionado com a ecotoxicidade marinha é a aplicação de tipos alternativos de geração de energia, substituindo o carvão por alguma outra fonte mais sustentável.

Além disso, ainda dentro da preparação de massa, o consumo da matéria-prima granito apresentou uma influência de 32%. Rastreando esse impacto no software SimaPro, a grande influência da matéria-prima granito é proveniente do consumo de energia elétrica nas fases de extração e de beneficiamento.

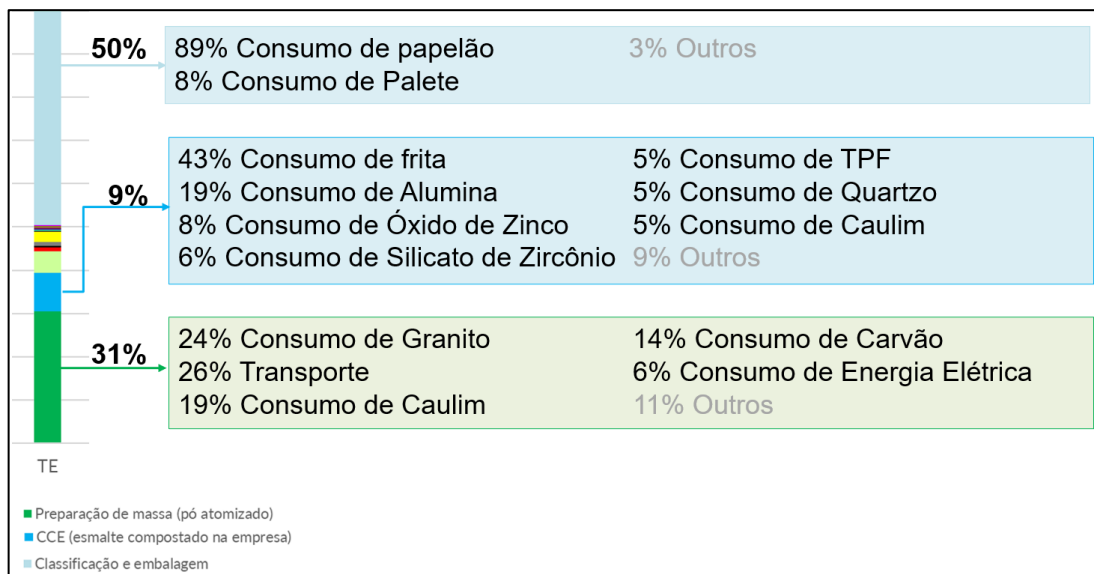
Para essa análise foi utilizado o banco de dados RoW, ou seja, o mesmo não foi construído com informações brasileiras. Sabe-se que a matriz energética deste banco de dados é majoritariamente térmica e que, portanto, dá origem a um maior índice de emissões para o ar quando comparada com a matriz energética brasileira, a qual é majoritariamente hidráulica, gerando impactos ambientais inferiores a térmica.

Com 8% de influência neste impacto aparece a etapa de classificação e embalagem, tendo como principais causadores o consumo de papelão e palete.

4.1.2.1.8. Ecotoxicidade terrestre (TE)

A partir da Figura 33 é possível perceber que 50% do impacto relacionado com a ecotoxicidade terrestre é proveniente da classificação e embalagem, em que 89% é causado pelo consumo de papelão. Rastreando no software, no banco de dados selecionado para representar o papelão, constata-se que o principal causador desse impacto são os compostos orgânicos utilizados na produção do papelão.

Figura 33 – Esquema referente à ecotoxicidade terrestre (TE) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

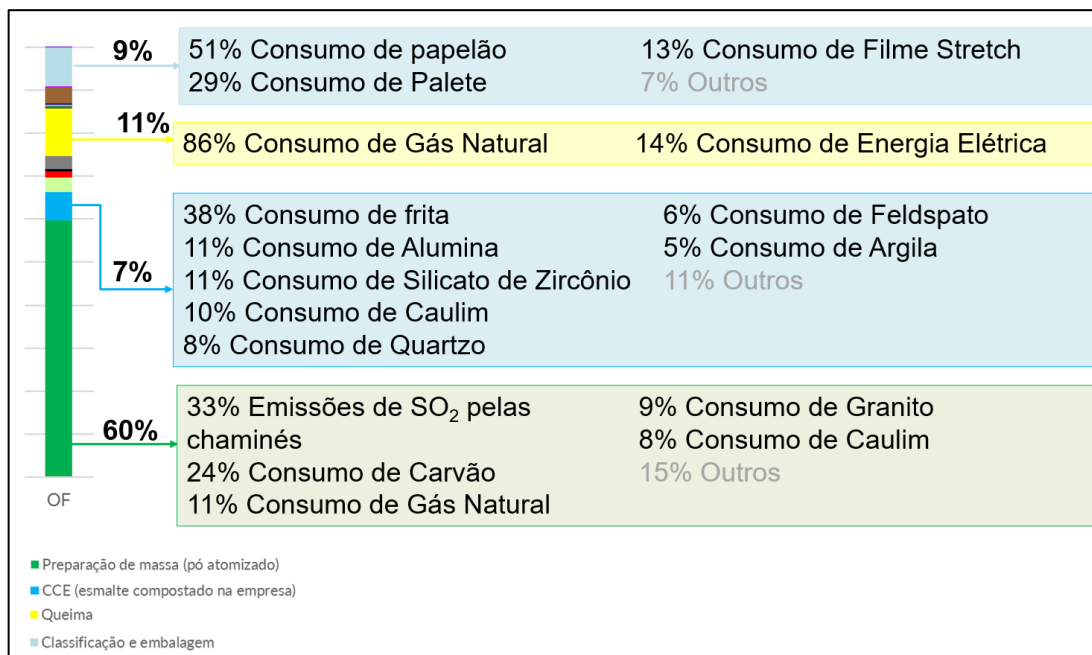
Observa-se também que 31% desse impacto foi causado pela etapa de preparação de massa, em que o principal causador foi o transporte das matérias-primas. Esse mesmo resultado também foi encontrado por Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021).

Por fim, 9% impacto sobre a ecotoxicidade terrestre foi proveniente da etapa de compostagem dos esmaltes devido ao consumo de certas matérias-primas, sendo as principais a frita, a alumina, o óxido de zinco e o silicato de zircônio.

4.1.2.1.9. Oxidação fotoquímica (OF)

Como pode ser visto na Figura 34, 60% do impacto ambiental por oxidação fotoquímica foi influenciado pela preparação de massa. Dentro dessa etapa do processo o principal causador diz respeito às emissões de SO_2 (dióxido de enxofre) para a atmosfera por meio das chaminés dos atomizadores. Esse mesmo resultado também foi obtido pelo estudo de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), nesse caso a maior parte desse impacto é proveniente das emissões de dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e metano, que são produzidos durante a queima e das etapas de secagem por atomização (massa) e de prensagem.

Figura 34 – Esquema referente à oxidação fotoquímica (OF) – do berço ao portão, a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Dentro dessa mesma etapa do processo produtivo, preparação de massa, o consumo de combustíveis (carvão e gás) se apresentaram como o segundo principal causador desse impacto. Como já mencionado na definição dos impactos ambientais, esse impacto pode surgir artificialmente por meio de emissões, como monóxido de carbono (CO₂) e outros compostos, o que pode estar diretamente relacionado às emissões causadas pelo consumo de combustíveis. O mesmo tipo de emissões justificam também o valor de 11% de influência da etapa de queima (FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021).

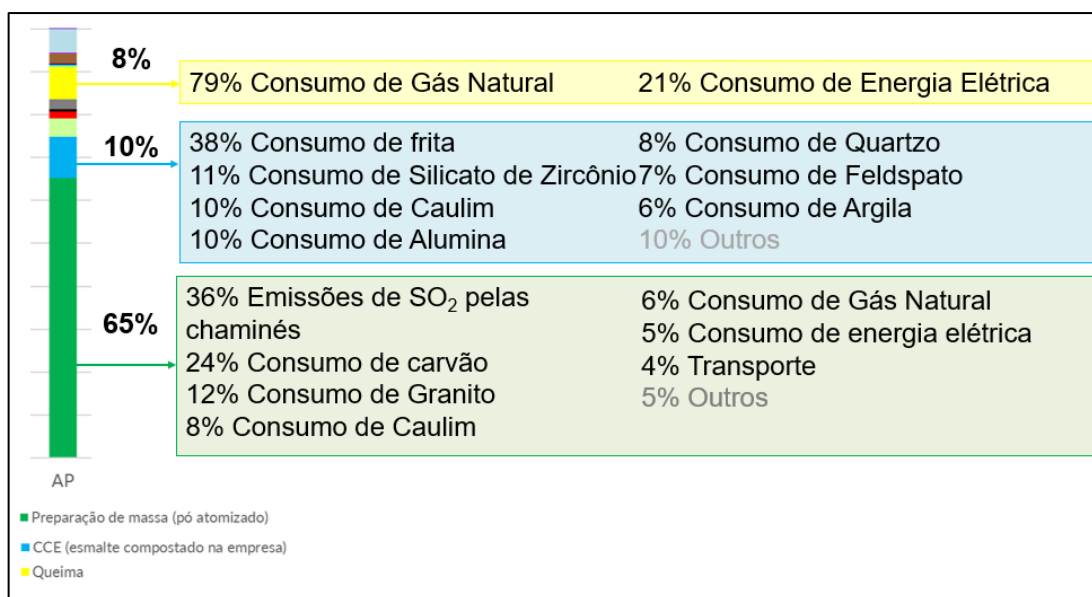
Além disso, uma pequena contribuição para esse impacto é encontrada nas etapas de compostagem de esmaltes (CCE) (7%), principalmente devido a emissões e consumos de óxido de alumínio e óxido de zinco e na classificação e embalagem (9%), devido a emissões de SO₂.

4.1.2.1.10. Acidificação (AP)

É possível perceber, por meio da Figura 35, que 65% do impacto está sendo gerado dentro da etapa de preparação de massa, na qual 36% está relacionado

com a emissão de SO₂ pelas chaminés, em segundo lugar vem o consumo de combustíveis, representando 30% (24% proveniente do consumo de carvão e 6% do consumo de gás natural).

Figura 35 – Esquema referente à acidificação (AP) – do berço ao portão, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

O resultado relacionado ao impacto causado pela emissão de SO₂ é notório, visto que a teoria exposta anteriormente na definição dos impactos ambientais mostrou que o potencial de acidificação está ligado à deposição ácida de contaminantes acidificantes no solo, águas subterrâneas, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e substâncias, sendo SO₂, NO_x e NH_x os principais contaminantes acidificantes. Além disso, esse mesmo resultado de impacto causado pelo SO₂ também foi obtido e referido pelos estudos de Pini *et al.* (2014), Ye *et al.* (2018), Pereira (2004), Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021) e pela ACV setorial brasileira (ANFACER, 2015).

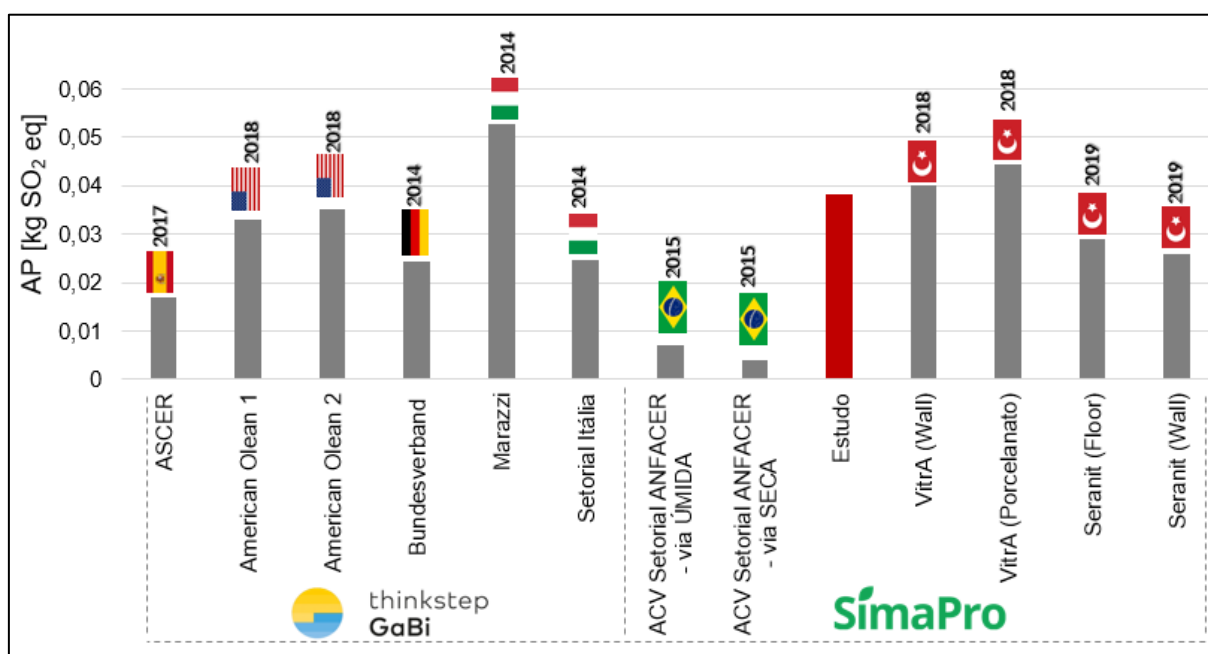
Com relação ao consumo de combustíveis, rastreando no software SimaPro, o impacto também estava relacionado com a emissão de SO₂ na atmosfera, durante as etapas de beneficiamento do carvão e do gás natural. Este tipo de emissão também justifica os 8% de influência da etapa de queima.

A Figura 35 indica ainda que 10% de impacto é causado pela central de compostagem de esmaltes, principalmente influenciado pelo consumo de fritas, o que

vem ao encontro do estudo de Khorassani *et al.* (2019), o qual avaliou o ciclo de vida de esmaltes cerâmicos e concluiu que o processo mais impactante foi aquele relacionado com a produção de fritas.

A Figura 36 permite comparar o resultado obtido neste estudo de ACV com os resultados de outros estudos já publicados e se percebe que os resultados de potencial de acidificação estão na média, quando comparados aos demais.

Figura 36 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados referentes à acidificação (AP) – do berço ao portão



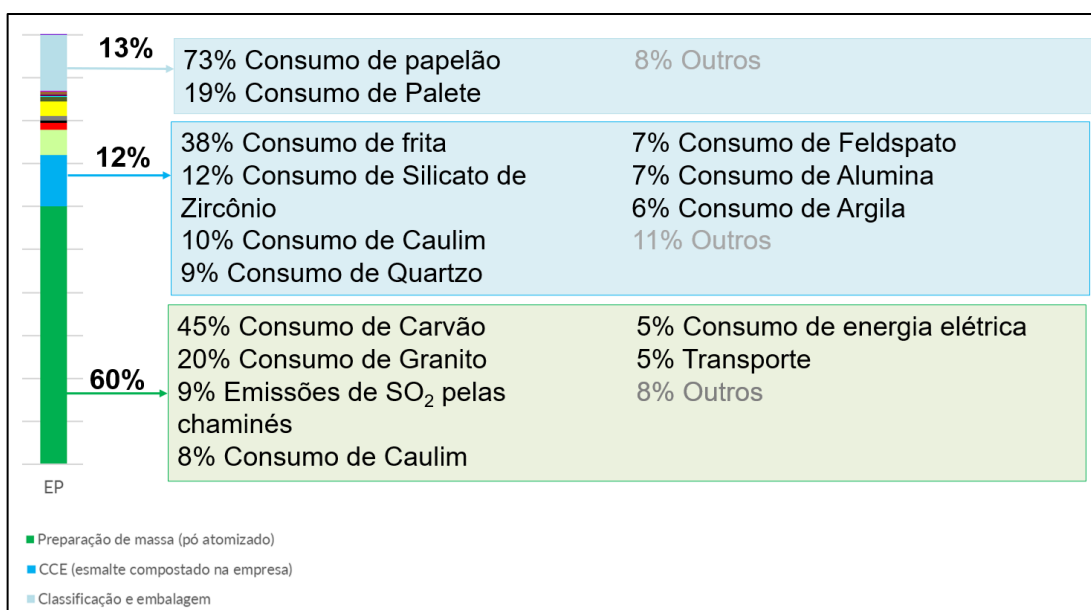
Fonte: Autora (2022).

A maior diferença é observada quando se comparam os resultados obtidos neste estudo com os estudos da ACV setorial realizada pela ANFACER. Levando em conta que a principal contribuição para a acidificação encontrada nesse estudo foram as emissões atmosféricas, o motivo principal dessa diferença também pode estar nesse ponto. Segundo o relatório da ACV setorial, os dados de emissões atmosféricas não foram coletados de fontes primárias, como foi realizado neste estudo, e sim calculados por meio de balanços estequiométricos (ANFACER, 2015), isso pode ter feito com que os resultados da ACV setorial não representassem a realidade das empresas estudadas.

4.1.2.1.11. Eutrofização (EP)

Na Figura 37 é possível perceber que 60% do potencial de eutrofização está sendo causado pela preparação de massa e que, dentro dessa etapa, o que mais influenciou foi o consumo de carvão, com 45%. Rastreando esse impacto no software, percebe-se que 65% é proveniente da etapa de mineração e preparação do carvão, 33% é da etapa de transporte (já considerado pelo banco de dados escolhido) e 2% de outros. O estudo de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021) também apresentou resultados de eutrofização, no qual o maior contribuinte desse impacto foi o consumo de combustíveis e, em segundo lugar, o transporte de matérias-primas. Além disso, no estudo de Pini *et al.* (2014), a maior contribuição para o potencial de eutrofização foi derivado das emissões proveniente de transportes.

Figura 37 – Esquema referente à eutrofização (EP) – do berço ao portão, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



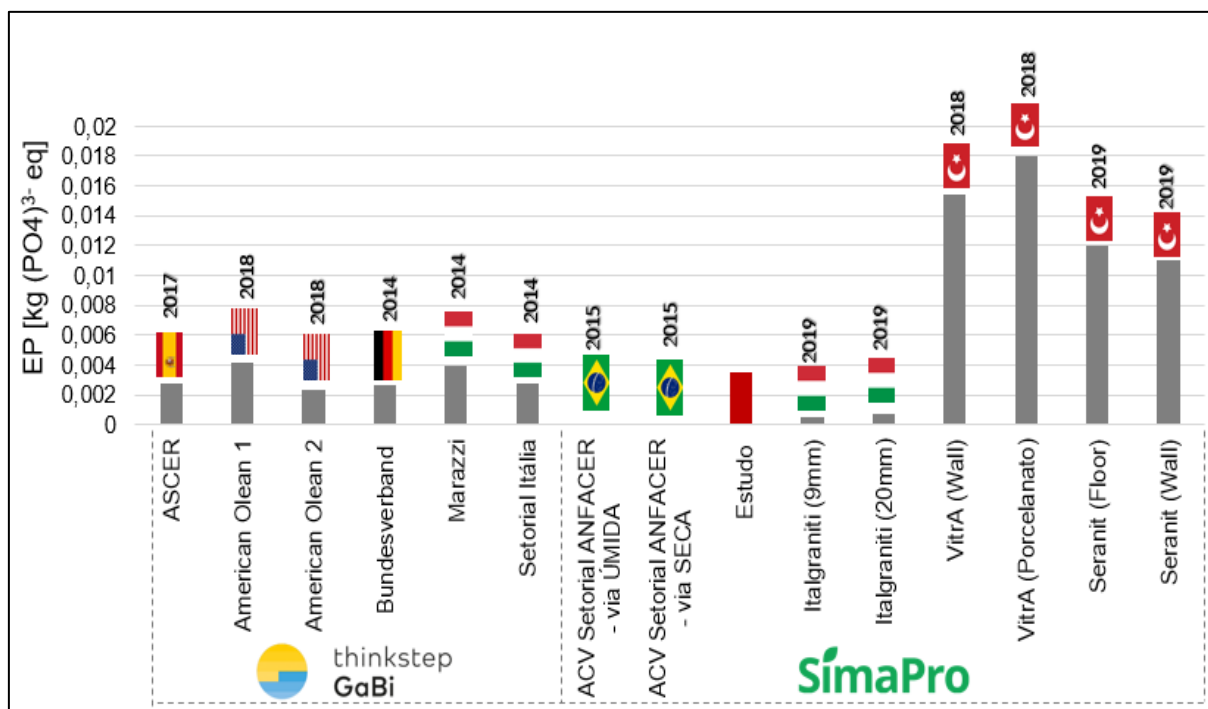
Fonte: Autora (2022).

Além da preparação de massa, a etapa de classificação e embalagem contribuiu com 13% do impacto, sendo que 79% foi proveniente do consumo de papelão. A central de compostagem de esmaltes apresentou uma contribuição de 12%, em que a principal causa foi o consumo de fritas.

Da análise da Figura 38 se percebe que os resultados de potencial de acidificação obtidos nesse estudo estão na média, quando comparados com os

estudos disponíveis na literatura, exceto aos estudos realizados pela Vitra e Seranit, os quais apresentaram resultados de impacto muito superiores.

Figura 38 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV para resultados referentes à eutrofização (EP) – do berço ao portão



Fonte: Autora (2022).

Outro ponto que se pode avaliar é o baixo impacto indicado pelo estudo da ANFACER. Segundo o relatório da ACV setorial (ANFACER, 2015), o impacto de eutrofização em água doce apresentou baixa significância em números absolutos, o que pode justificar essa diferença. Além disso, esta diferença deve estar atrelada ao banco de dados escolhido e ao objetivo e escopo determinado nos estudos, visto que os resultados são gerados no mesmo software.

4.1.2.2. Portão ao Túmulo (A4 – C4)

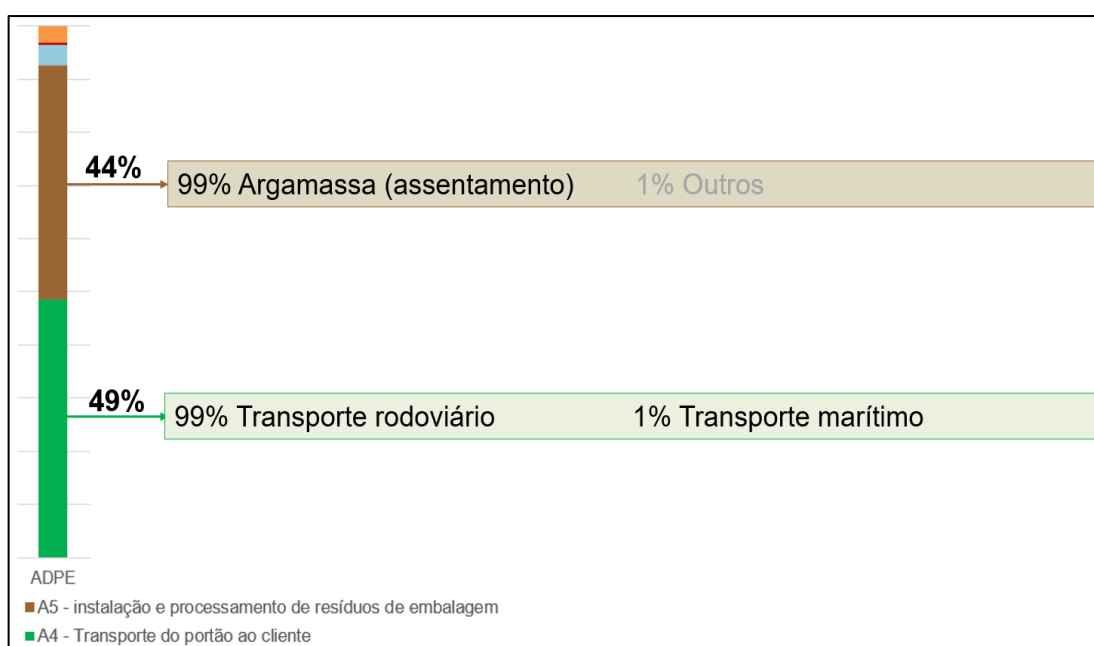
A seguir são apresentados de forma individualizada cada um dos impactos já apresentados anteriormente no gráfico de impactos ambientais do portão ao túmulo, Figura 21, porém dando ênfase neste caso à etapa do processo que mais contribui

para o impacto em questão, quando se considera apenas a etapa final do produto cerâmico, ou seja, do Portão ao Túmulo.

4.1.2.2.1. *Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) (ADPE)*

Como pode ser observado na Figura 39, o potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis está sendo principalmente influenciado pelo transporte rodoviário entre a empresa em estudo e o cliente, e também pelo consumo de argamassa para o assentamento dos revestimentos.

Figura 39 – Esquema referente ao potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis) (ADPE) – do portão ao túmulo obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Rastreando no software, o impacto do transporte foi majoritariamente causado pelo consumo de diesel, já o impacto do consumo de argamassa foi causado majoritariamente pelo consumo de cimento para a produção da argamassa, seguido do consumo de sílica, embalagens e por fim pelo consumo de energia elétrica.

Para esse e para todos os próximos impactos, no qual o cimento presente na argamassa possui uma grande influência, é possível afirmar que o que mais

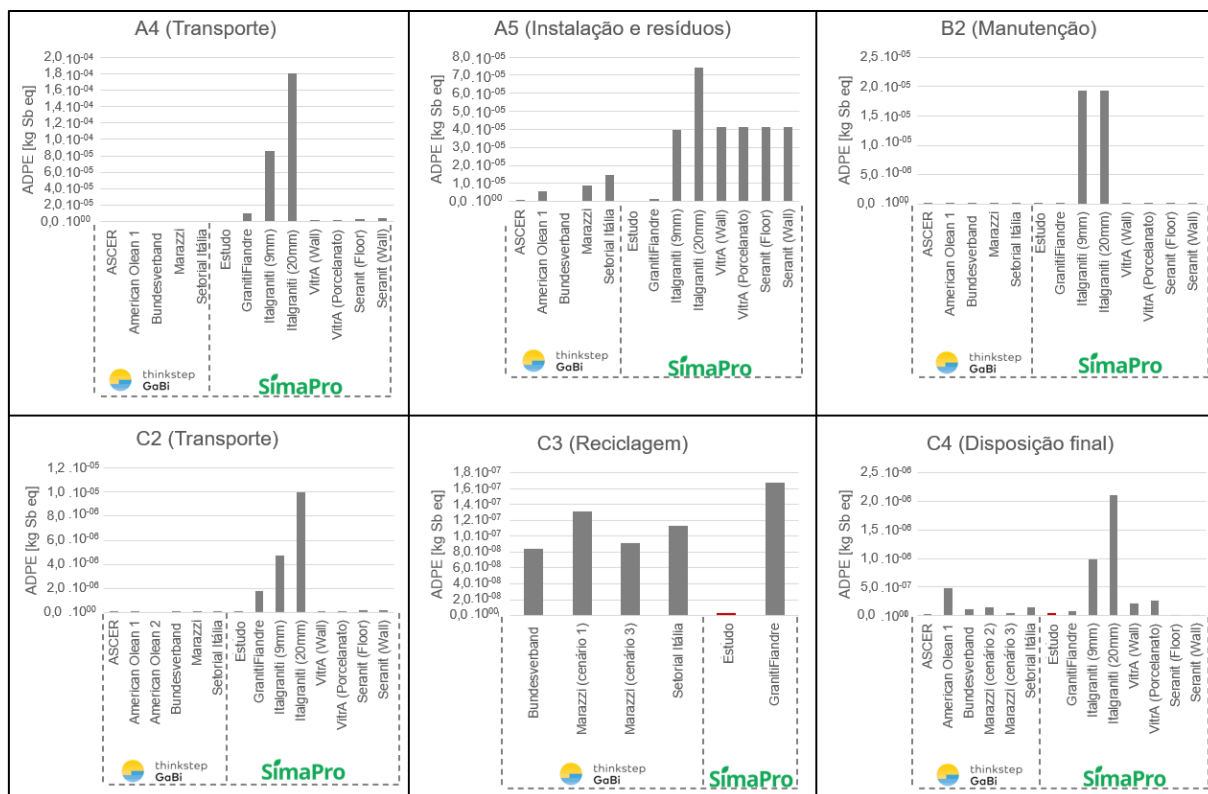
impacta é o consumo de clinker na produção de cimento. Esse mesmo resultado também foi encontrado pelo estudo de Ibáñez-forés, Bovea e Simó (2011) em que, segundo estes, toda contribuição de impacto proveniente do portão ao túmulo foi causada pelo consumo de cimento durante a instalação e também pelo transporte dos revestimentos do portão da fábrica até o cliente e do cliente até o destino final pós uso.

O impacto do cimento presente na argamassa foi comprovado pelo estudo realizado por Moropoulou *et al.* (2005), no qual investigou e comparou duas argamassas, uma com cimento em sua composição e outra sem. Como resultado, a argamassa produzida com cimento apresentou impactos maiores, isto porque a produção de cimento é muito intensiva em consumo de energia e, consequentemente, em emissões de CO₂.

A Figura 40 mostra um comparativo dos resultados obtidos neste estudo do impacto de ADPE e outros estudos disponíveis na literatura. Cada um dos gráficos da figura corresponde a um módulo, sendo eles A4 – transporte, A5 – Instalação e resíduos, B2 – manutenção, C2 – transporte, C3 – Reciclagem e C4 – Disposição final.

Como foi comentado na discussão da Figura 39, os principais módulos influenciadores de ADPE foram o A4, com o transporte entre a empresa e o cliente, e o A5, com o consumo de argamassa para assentamento. Avaliando esses dois módulos na Figura 40, percebe-se que os resultados da empresa em estudo ficaram próximos aos resultados da maioria dos estudos, com exceção de alguns realizados com o software SimaPro, que apresentaram resultados bem superiores. O mesmo também pode ser observado para os outros módulos.

Figura 40 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de esgotamento de recursos abióticos para recursos não fósseis (ADPE) – do portão ao túmulo



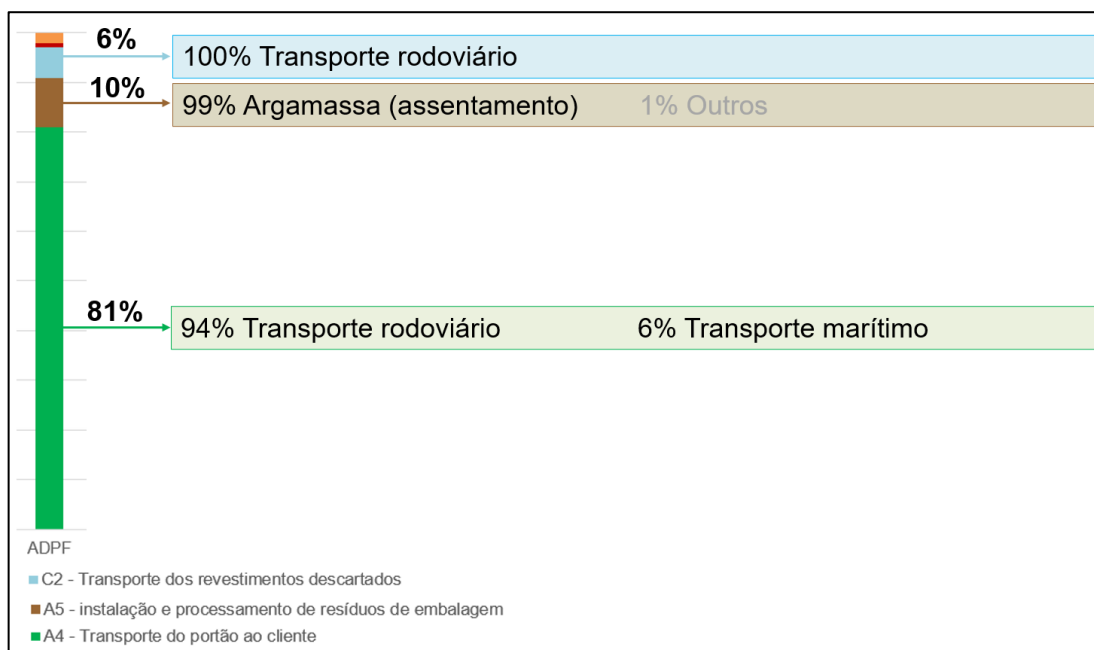
Fonte: Autora (2022).

4.1.2.2.2. Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos fósseis) (ADPF)

Na Figura 41 pode-se observar que 87% do potencial de recursos abióticos para recursos fósseis é causado pelo transporte, sendo 81% entre a empresa em estudo e o cliente e 6% entre a obra e o descarte final dos revestimentos em forma de resíduo pós uso. Da mesma forma que o ADPE, esse impacto do transporte é majoritariamente causado pelo consumo de diesel.

Comparando esse resultado com os resultados obtidos de ADPF do berço ao portão se confirmou a influência do consumo de combustíveis nesse impacto, visto que dentro do processo produtivo o que mais influenciou foi o consumo de combustíveis para queima e para a geração de energia térmica. Após o portão, a principal influência também foi o consumo de combustíveis, porém dessa vez com incidência no transporte.

Figura 41 – Esquema referente ao potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro

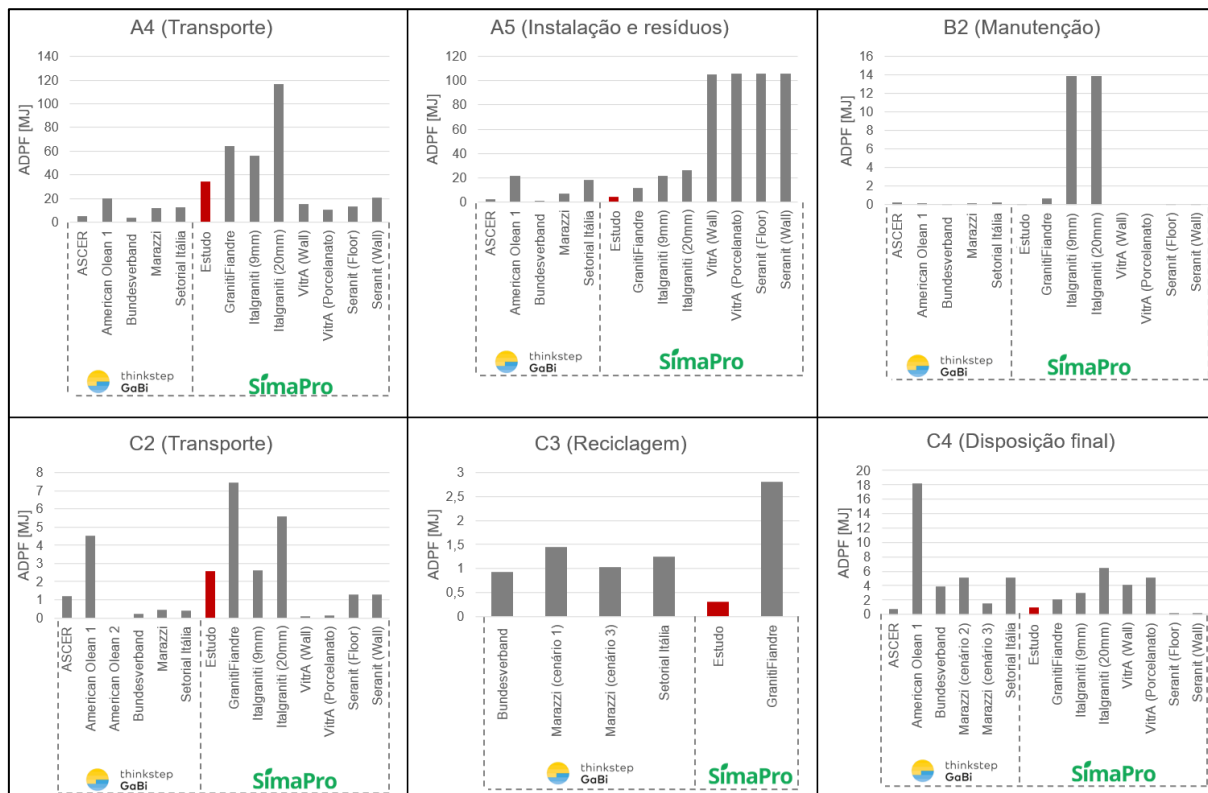


Fonte: Autora (2022).

Além disso, 10% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento, o qual também foi majoritariamente influenciado pelo consumo de cimento para a produção da argamassa, seguido do consumo de sílica, energia elétrica e por fim embalagens. Da análise da literatura disponível, deparou-se com os estudos de Marinković e Carević (2019) e Farinha, Brito e Veiga (2021), os quais também comprovaram a influência respectivamente do transporte e do cimento para a depleção abiótica.

A Figura 42 mostra um comportamento semelhante ao já apresentado na Figura 41 em que os principais módulos que contribuem para o ADPF foram o A4 e C2, com o transporte, e o A5 com o consumo de argamassa para assentamento. No geral, avaliando a Figura 42, a empresa em estudo apresentou dados coerentes com os demais estudos comparados, apesar disso, é possível identificar uma variação entre resultado de diferentes estudos. Estas diferenças de resultados entre os estudos podem estar relacionadas aos diversos fatores já citados anteriormente, nomeadamente, o software, o banco de dados escolhido, os requisitos de qualidade de dados, os objetivos e escopo, o nível tecnológico, etc.

Figura 42 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de depleção de recursos abióticos para recursos fósseis (ADPF) – do portão ao túmulo



Fonte: Autora (2022).

4.1.2.2.3. Potencial de aquecimento global (GWP)

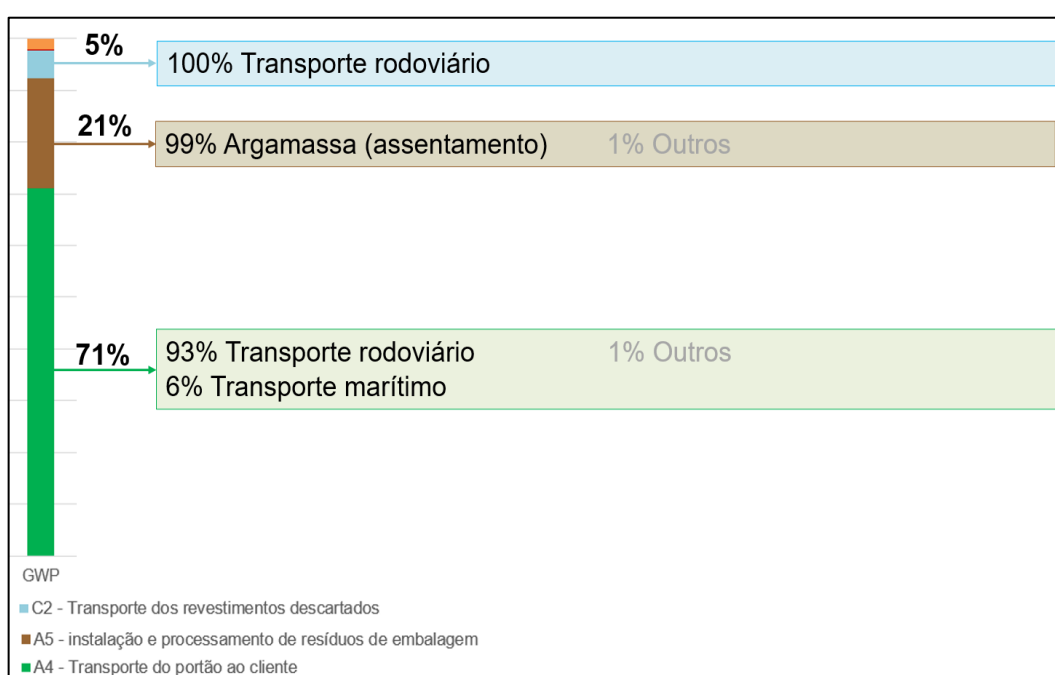
Na Figura 43 pode-se verificar que 76% do potencial de aquecimento global é causado pelo transporte, sendo 71% referente ao percurso entre a empresa em estudo e o cliente, e 5% entre a obra e o descarte final dos revestimentos, em forma de resíduo pós uso.

Esse impacto do transporte é majoritariamente causado pelas emissões de CO₂ geradas pela queima dos combustíveis, o que se mostra muito coerente visto que esse resultado também foi encontrado na análise do berço ao portão, além disso a literatura mostra que às atividades humanas reforçam o efeito estufa natural, principalmente devido as emissões de gases de efeito estufa, sendo esses o CO₂, CH₄ e CFCs, justificando ainda mais esse resultado encontrado. Vale a pena ressaltar

que essa mesma influência foi verificada pelos estudos de Pini *et al.* (2014) e Ye *et al.* (2018).

Além disso, 21% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento, o qual também foi majoritariamente influenciado pelo consumo de cimento para a produção da argamassa, seguido do consumo de sílica, embalagens e por fim energia elétrica.

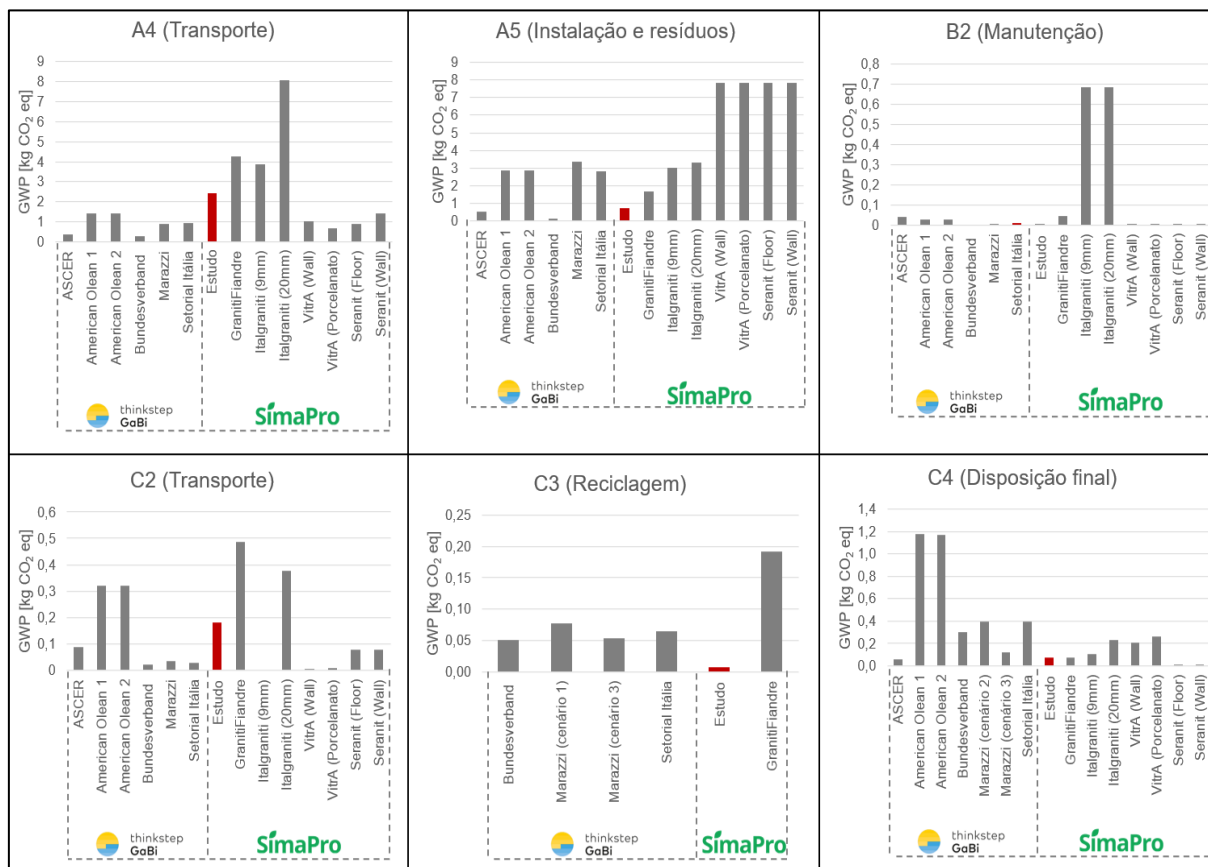
Figura 43 – Esquema referente ao potencial de aquecimento global (GWP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Como foi comentado na discussão da Figura 43, os principais módulos influenciadores de GWP foram o A4, A5 e C2. De forma geral, avaliando ao Figura 44 se percebe existir uma grande variação na grandeza deste impacto, quando se comparam todos os estudos presentes na literatura e o estudo atual, essa variação se deve possivelmente aos fatores como: o software usado, o banco de dados escolhido, os requisitos de qualidade de dados, os objetivos e escopo, o nível tecnológico, etc.

Figura 44 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de potencial de aquecimento global (GWP) – do portão ao túmulo



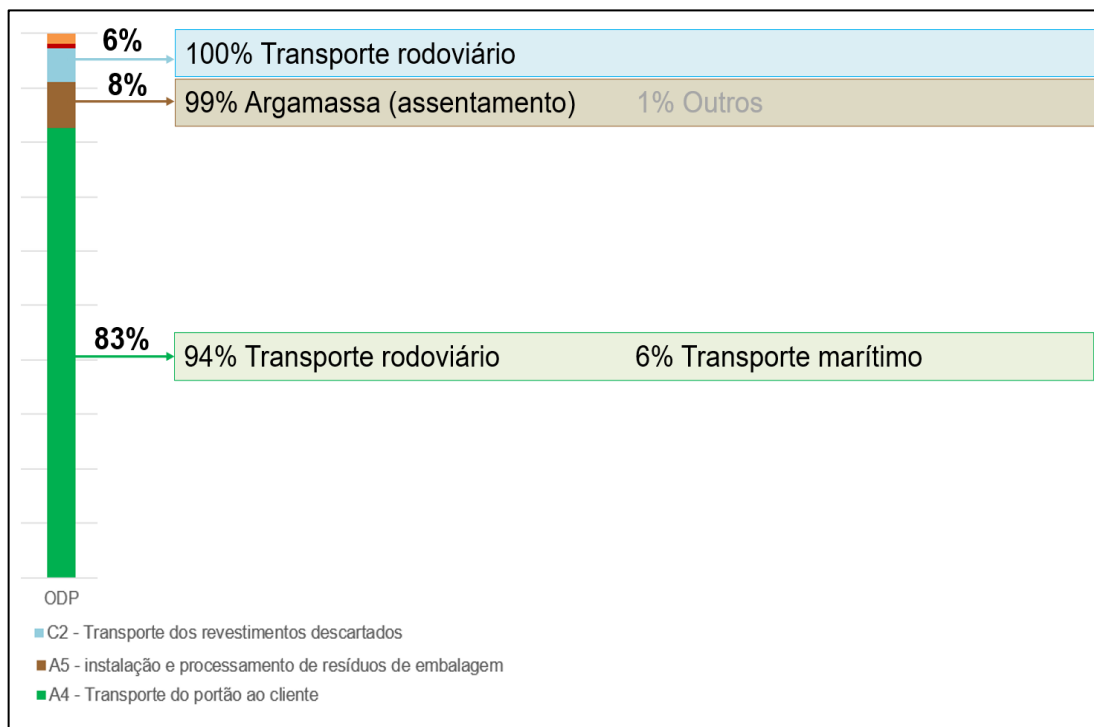
Fonte: Autora (2022).

4.1.2.2.4. Destruição da camada de ozônio (ODP)

Na Figura 45 pode-se ver que 89% do potencial de destruição da cama de ozônio é causado pelo transporte, sendo 83% entre a empresa em estudo e o cliente, e 6% entre a obra e o descarte final dos revestimentos, em forma de resíduo pós uso. Como já foi citado anteriormente, esse impacto se deve ao consumo de diesel. Mais uma vez essa análise é confirmada pelos estudos de Pini *et al.* (2014), que confirma a influência do consumo de combustíveis para elevar a intensidade desse impacto.

Além disso, 8% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento, à semelhança do que foi já descrito anteriormente.

Figura 45 – Esquema referente à destruição da camada de ozônio (ODP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro

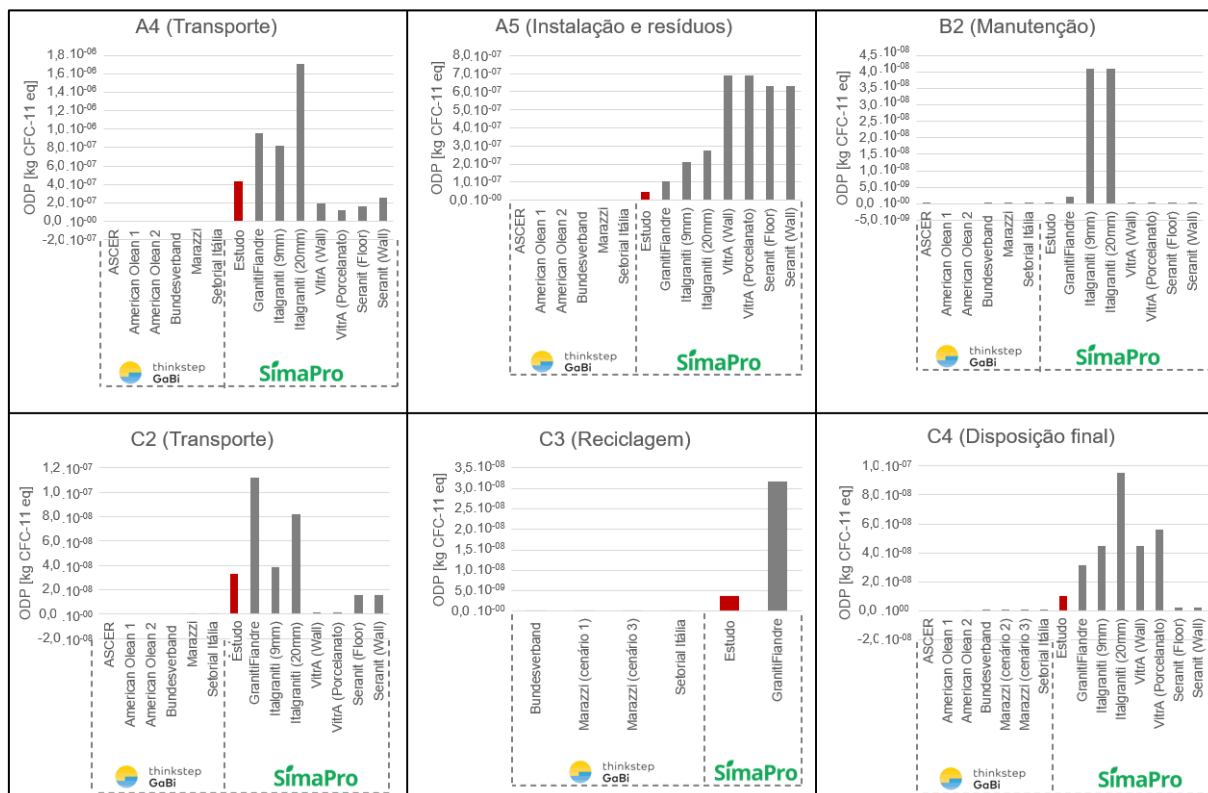


Fonte: Da Autora.

Como pode ser visto na Figura 46, ao comparar os resultados desse estudo com dos demais estudos disponíveis na literatura, se percebe que, no geral, para o impacto de destruição da camada de ozônio, os resultados fornecidos por meio do software GaBi são inferiores aos resultados fornecidos pelo software SimaPro.

Essa tendência também foi percebida em outros impactos, confirmando o descrito na literatura, que afirma que softwares diferentes podem gerar resultados para impactos também diferenciados (HERRMANN e MOLTESEN, 2015), além disso, como descrito anteriormente, outros fatores também podem estar influenciando, são eles, o software, o banco de dados escolhido, os requisitos de qualidade de dados, os objetivos e escopo, o nível tecnológico, etc.

Figura 46 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de destruição da camada de ozônio (ODP) – do portão ao túmulo

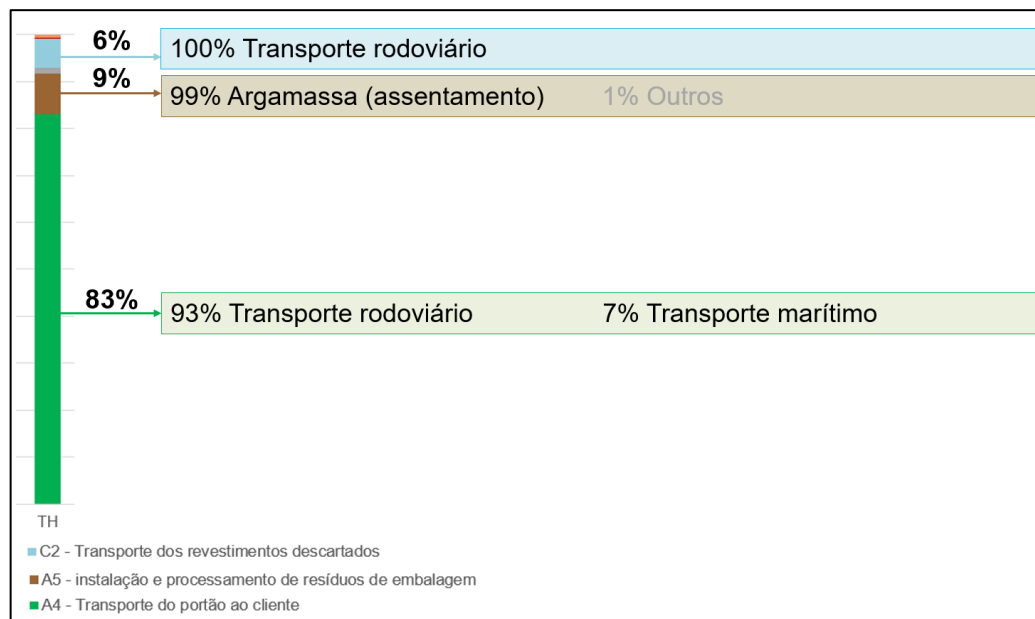


Fonte: Autora (2022).

4.1.2.2.5. Toxicidade humana (TH)

Na Figura 47 se observa que 89% da toxicidade humana é causada pelo transporte, sendo 83% entre a empresa em estudo e o cliente, e 6% entre a obra e o descarte final dos revestimentos, em forma de resíduo pós uso. Avaliando no software, esse impacto do transporte é majoritariamente causado pelas emissões de desgaste.

Figura 47 – Esquema referente à toxicidade humana (TH) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Diferente das emissões relacionadas ao consumo e à queima de combustíveis, consideram-se emissões de desgaste toda geração de resíduos por desgastes (abrasão), como sendo pneus, freios e desgaste da estrada, sendo estes resíduos também considerados como emissões, pois essas partículas acabam sendo liberadas ao meio ambiente.

Esse resultado é coerente com a literatura, que afirma também que o material particulado presente no ambiente é uma substância tóxica ao ser humano (LI, YANG e QIAN, 2012). Vale ressaltar que os estudos de Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021) também identificam que o transporte tem grande influência nesse fator de impacto, pelos mesmos motivos descritos anteriormente.

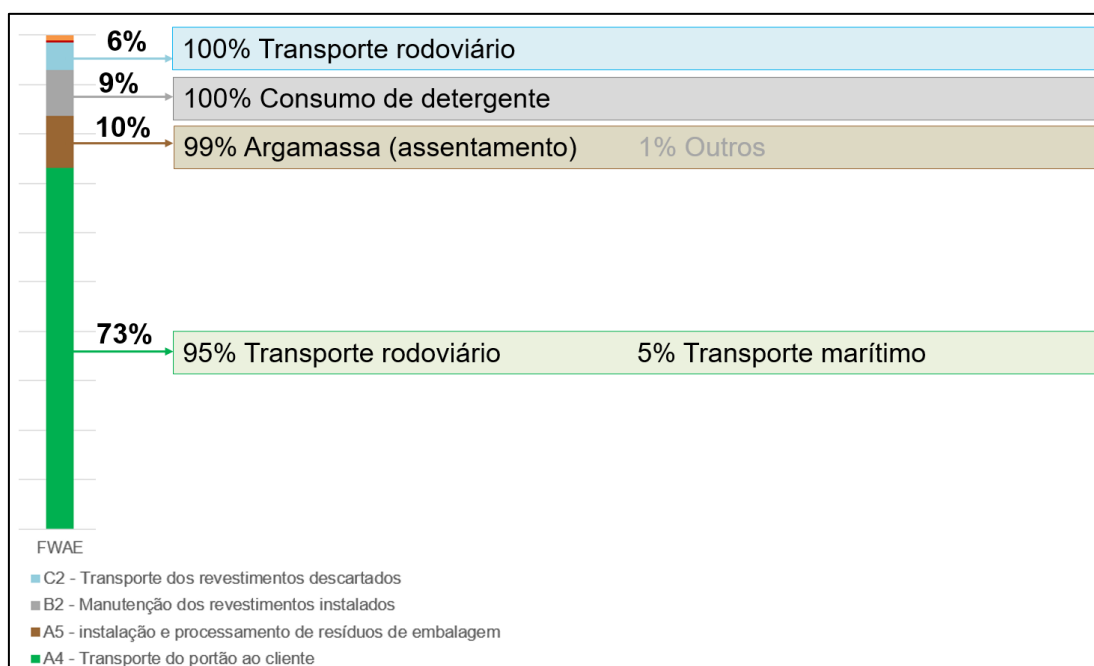
Além disso, 9% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento, pelos mesmos motivos já descritos nas seções anteriores.

4.1.2.2.6. Ecotoxicidade aquática de água doce (FWAE)

Na Figura 48 é possível avaliar que 79% da ecotoxicidade de água doce foi causada pelo transporte, sendo 73% entre a empresa em estudo até o cliente e 6% entre a obra e o descarte final dos revestimentos, em forma de resíduo pós uso. A

influência desse impacto de transporte pode ser dividida em duas categorias, em primeiro lugar as emissões de desgaste e em segundo lugar o consumo de diesel.

Figura 48 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática de água doce (FWAE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Comparando esse resultado com os resultados obtidos de ADPF do berço ao portão se confirma também a influência do consumo de combustíveis nesse impacto, visto que dentro do processo produtivo, o que mais influenciou no impacto foi o consumo de combustíveis para queima e geração de energia térmica, e após o portão a principal influência também foi o consumo de combustíveis, porém dessa vez para o transporte. Além disso, verifica-se que 10% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento.

A influência de 9% na ecotoxicidade foi proveniente do consumo de detergente. Rastreando esse impacto no software, se percebeu que esse impacto foi causado pelo consumo de Dodecanol ($C_{12}H_{26}O$), que é usado na produção do detergente.

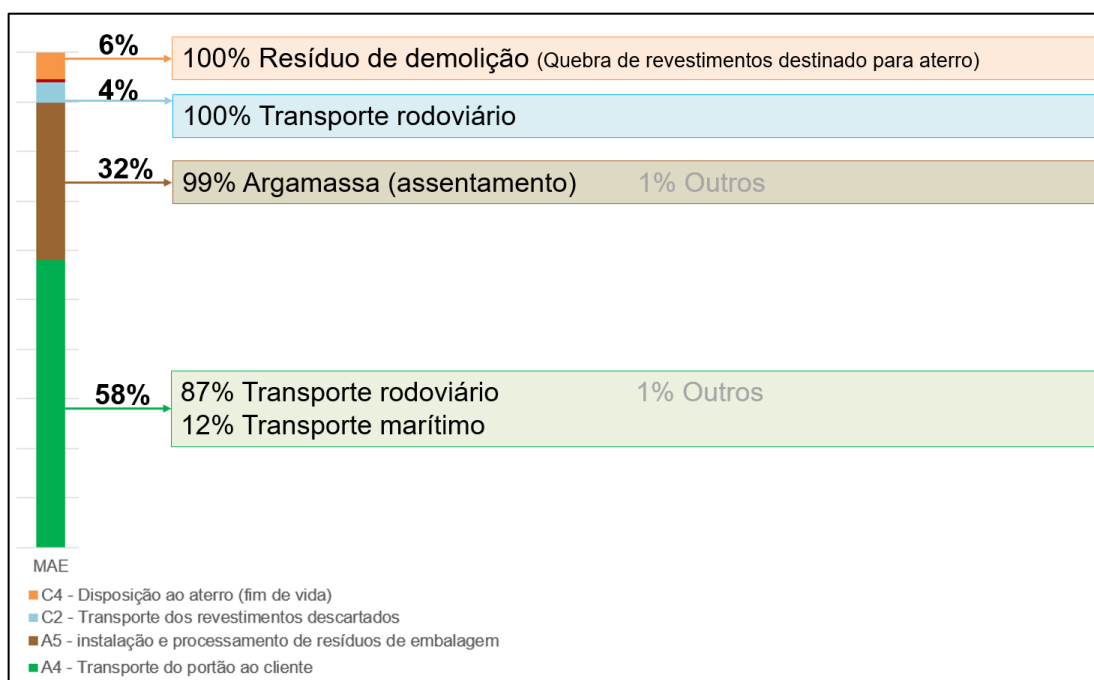
Segundo Belanger, Rawlings e Stackhouse (2018) isso ocorre pois o Dodecanol é um álcool e os álcoois de cadeia curta a longa têm uma gama de ecotoxicidade impulsionada por interações hidrofóbicas com membranas biológicas. O comprimento da cadeia de carbono e os coeficientes de partição octanol:

água são substitutos da hidrofobicidade e estão fortemente relacionados à toxicidade aquática.

4.1.2.2.7. Ecotoxicidade aquática marinha (MAE)

Na Figura 49 se observa que 62% da ecotoxicidade aquática marinha é causada pelo transporte, sendo 58% entre a empresa em estudo e o cliente, e 4% entre a obra e o descarte final dos revestimentos, em forma de resíduo pós uso. A influência desse impacto de transporte pode ser dividida em duas categorias, em primeiro lugar o consumo de diesel e em segundo lugar as emissões de desgaste. Além disso, 32% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento.

Figura 49 – Esquema referente à ecotoxicidade aquática marinha (MAE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



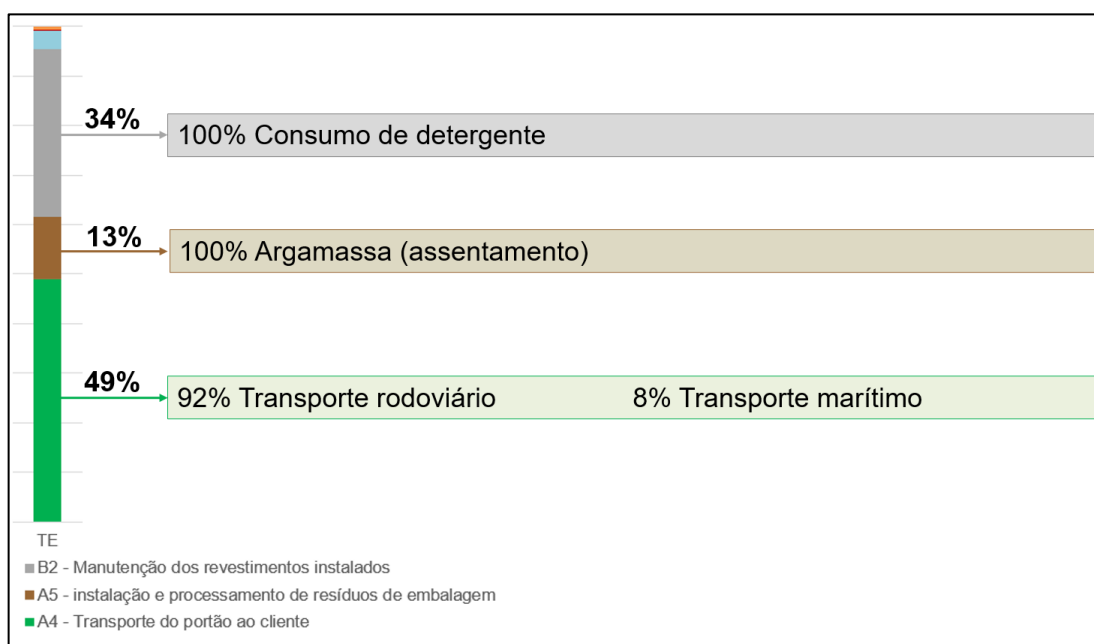
Fonte: Autora (2022).

Os outros 6% de influência nesse impacto são provenientes da destinação dos resíduos de demolição (pós uso) em aterros, o que vem ao encontro ao estudo de Mackenzie *et al.* (2003), no qual comprovou a influência dos aterros na ecotoxicidade.

4.1.2.2.8. Ecotoxicidade terrestre (TE)

Na Figura 50 se avalia que 49% da ecotoxicidade terrestre foi causada pelo transporte dos revestimentos da empresa em estudo ao cliente. A influência desse impacto de transporte pode ser dividida em duas categorias, em primeiro lugar as emissões de desgaste e em segundo lugar o consumo de diesel. Essa influência das emissões de desgaste, em específico as partículas atmosféricas produzidas por sistemas de frenagem dos veículos, também foi confirmada pelo estudo de Volta *et al.* (2020).

Figura 50 – Esquema referente à ecotoxicidade terrestre (TE) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

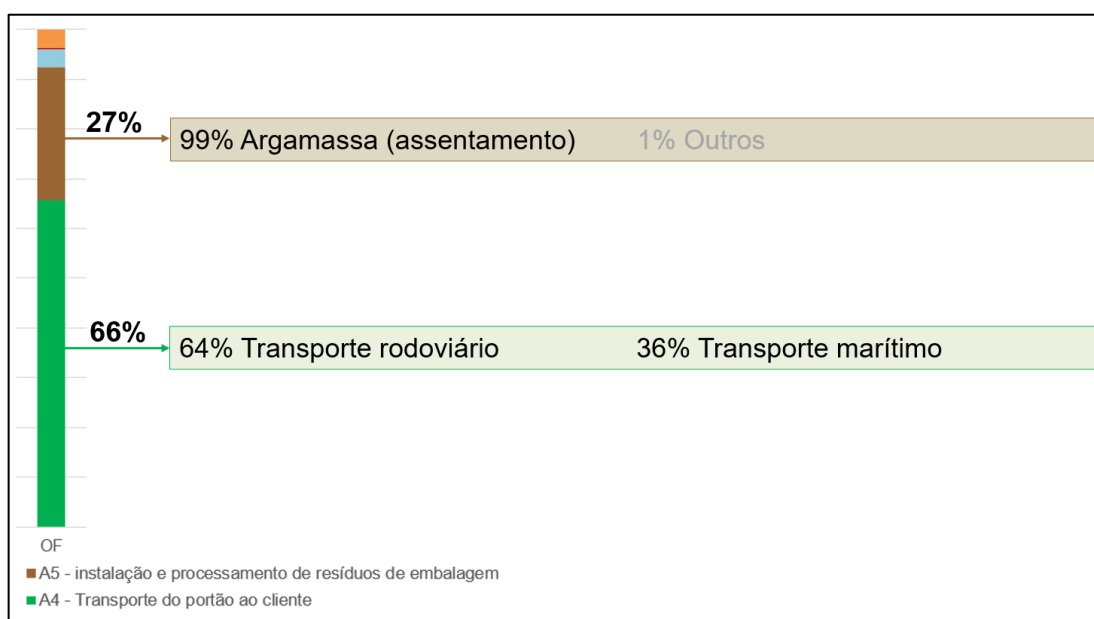
Além disso, 34% dessa ecotoxicidade foi proveniente do consumo de detergente. Rastreando esse impacto no software se percebeu que, da mesma forma que no impacto de ecotoxicidade de água doce (FWAE), esse impacto (TE) também foi causado pelo consumo de Dodecanol ($C_{12}H_{26}O$), usado na produção do detergente.

Por fim, 13% desse impacto é proveniente do consumo de argamassa para assentamento, assim como já descrito nas seções anteriores.

4.1.2.2.9. Oxidação fotoquímica (OF)

Como pode ser observado na Figura 51, a oxidação fotoquímica está sendo principalmente influenciada pelo transporte rodoviário entre a empresa em estudo e o cliente, além do consumo de argamassa para o assentamento dos revestimentos, que tem uma menor influência.

Figura 51 – Esquema referente à oxidação fotoquímica (OF) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

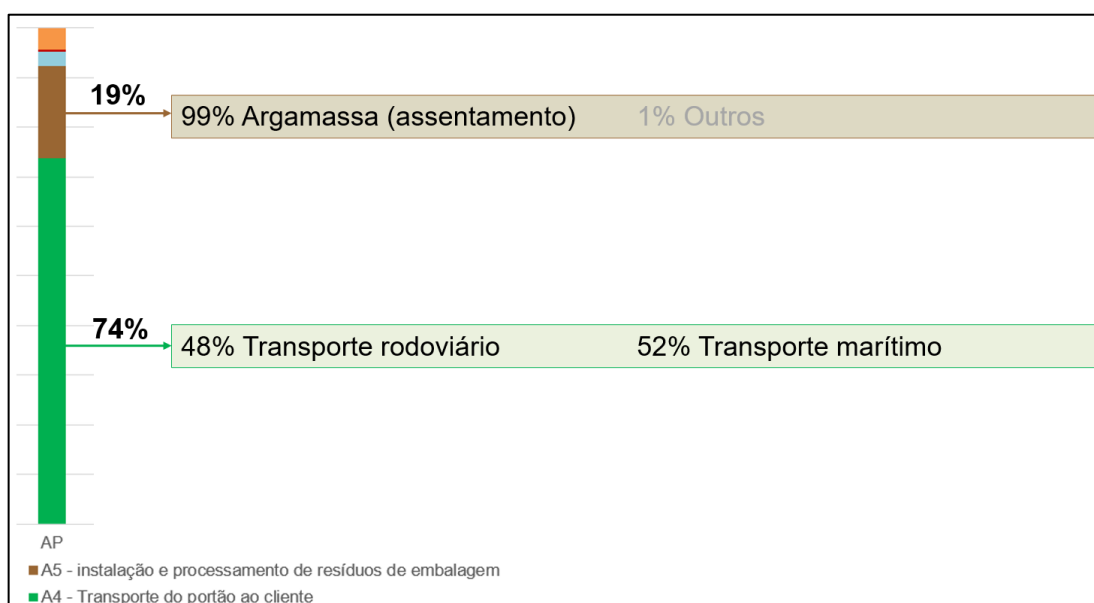
O impacto relacionado ao transporte se mostra muito coerente, uma vez que, na definição dos impactos ambientais, a literatura mostra também que o potencial de formação de ozônio fotoquímico pode ser produzido artificialmente, devido à oxidação fotoquímica de gases emitidos por alguns veículos. Este tipo de transporte produz monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis (COV). Quando a luz solar atinge os COV, eles formam partículas transportadas pelo ar e ozônio troposférico comumente chamado de smog (ITC, 2020; FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021).

Rastreando no software, o impacto do transporte foi causado em primeiro lugar pelo consumo de diesel e em segundo lugar pelas emissões de CO₂ geradas pela queima dos combustíveis, o que já era esperado.

4.1.2.2.10. Acidificação (AP)

Como pode ser visto na Figura 52, o potencial de acidificação está sendo principalmente influenciado pelo transporte rodoviário entre a empresa em estudo e o cliente e também pelo consumo de argamassa, usada no assentamento dos revestimentos.

Figura 52 – Esquema referente à acidificação (AP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



Fonte: Autora (2022).

Como também pode ser observado na Figura 52, o potencial de acidificação está sendo principalmente influenciado pelo transporte rodoviário entre a empresa em estudo e o cliente, e também pelo consumo de argamassa usada no assentamento dos revestimentos.

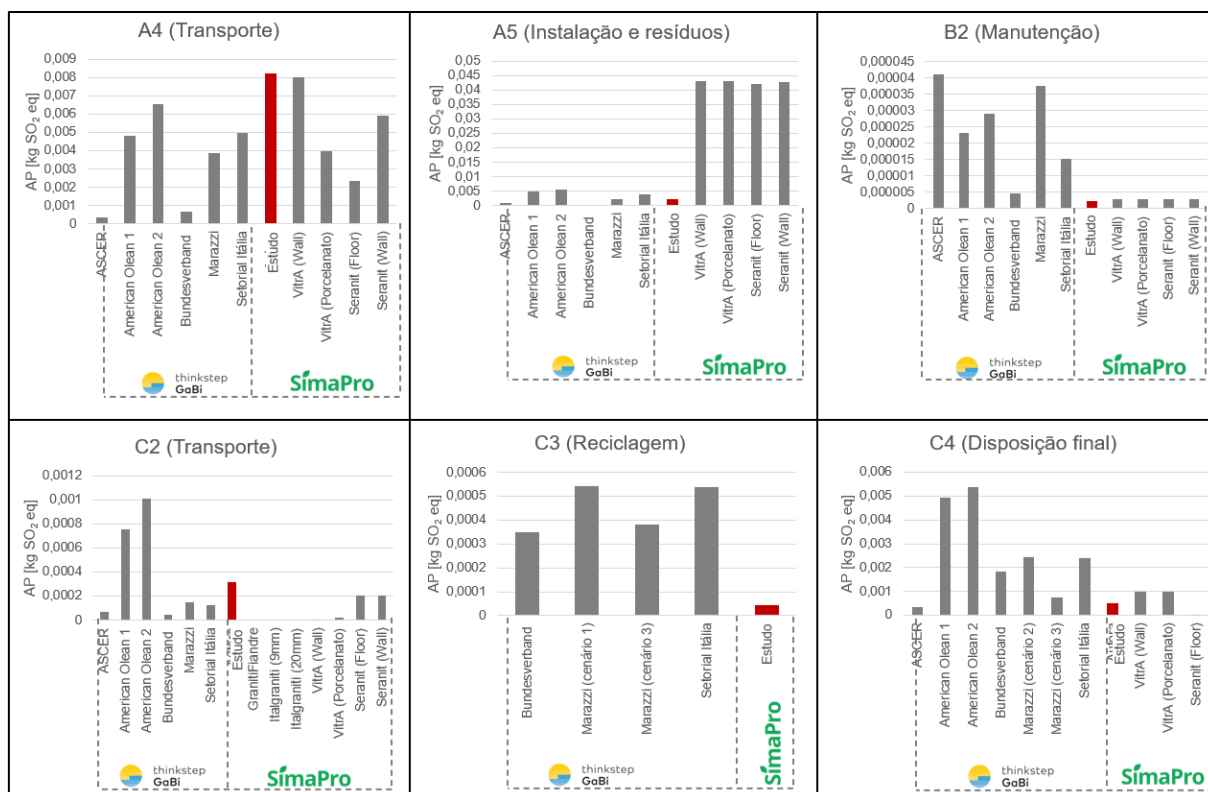
Rastreando no software, o impacto do transporte foi causado majoritariamente pelo consumo de diesel, resultado que também foi encontrado pelo estudo de Hafizan *et al.* (2020). Já o impacto do consumo de argamassa é causado majoritariamente pelo consumo de cimento para a produção da argamassa, seguido do consumo de sílica, energia elétrica e por fim embalagens.

Da mesma forma como todos os impactos causados pelo cimento presente na argamassa, a principal origem dessa influência é a produção do clínquer presente na composição. Rastreando o impacto do clínquer individualmente no software, se

percebeu que ele influencia no potencial de acidificação majoritariamente por meio da emissão de óxidos de nitrogênio durante sua produção. Esse já era um resultado também esperado, visto que na definição dos impactos ambientais a literatura indica que o potencial de acidificação está ligado à deposição ácida de contaminantes acidificantes do meio ambiente, como o SO_2 , NO_x e NH_x . Além disso, as emissões de SO_2 e NO_x também foram as principais contribuições para acidificação no estudo de Pini *et al.* (2014).

A Figura 53 identifica que as principais etapas que influenciam o potencial de acidificação são o transporte de revestimentos, entre a empresa em estudo até seus clientes (módulo A4), e o consumo de argamassa para assentamento (módulo A5). Avaliando esses módulos na Figura 53, se percebe que os resultados estão bem próximos de alguns outros estudos utilizados para comparação.

Figura 53 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de acidificação (AP) – do portão ao túmulo



Fonte: Autora (2022).

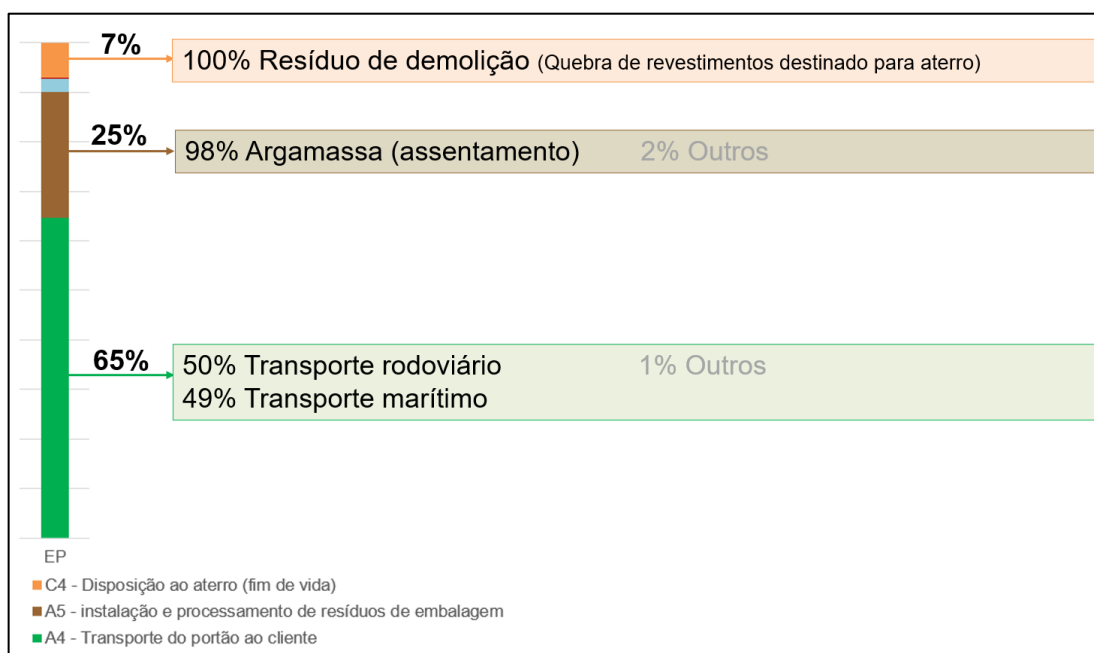
Apesar disso, é possível perceber uma variação de resultados considerável entre os diferentes estudos, isso pode ser justificado pela utilização de diferentes

softwares, como já comentado anteriormente. Além disso, dependendo dos objetivos e escopos definidos inicialmente em cada estudo, os resultados podem variar.

4.1.2.2.11. Eutrofização (EP)

Na Figura 54 é possível verificar que 65% do potencial de eutrofização foi causado pelo transporte. A influência desse impacto de transporte pode ser dividida em duas categorias: em primeiro lugar o consumo de diesel e em segundo lugar as emissões de CO₂ geradas pela queima dos combustíveis. Isso vem ao encontro ao que foi exposto pela literatura em que o potencial de eutrofização é responsável pelo enriquecimento de nutrientes no solo ou na água e esse enriquecimento pode ser devido a emissões poluentes (ITC, 2020; FARINHA; BRITO; VEIGA, 2021).

Figura 54 – Esquema referente à eutrofização (EP) – do portão ao túmulo, obtido a partir dos resultados gerados pelo software SimaPro



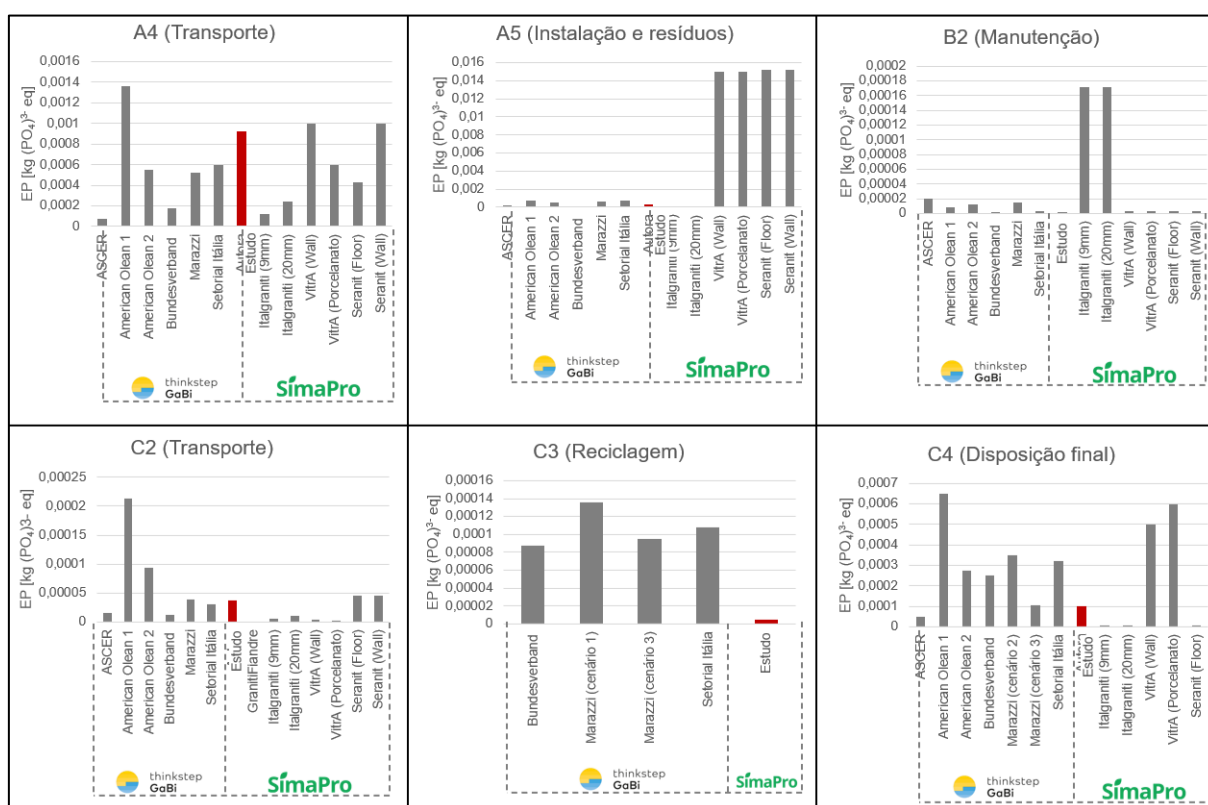
Fonte: Autora (2022).

Esse mesmo resultado foi encontrado no estudo de Pini *et al.* (2014), em que a maior contribuição para o potencial de eutrofização foi provocada pelas emissões devidas ao transporte.

Além disso, 25% desse impacto são provenientes do consumo de argamassa para assentamento, enquanto 7% são provenientes da destinação dos resíduos de demolição (pós uso) em aterros.

Na Figura 54 foi identificado que as principais etapas que influenciam no potencial de acidificação são o transporte de revestimentos entre a empresa em estudo e seus clientes (módulo A4), o consumo de argamassa para assentamento (módulo A5) e a geração de resíduos de demolição, quebra de revestimentos pós uso destinado para aterro (módulo C4). Avaliando esses módulos na Figura 55, percebe-se que os resultados estão bem próximos de alguns outros estudos utilizados para comparação.

Figura 55 – Gráfico comparativo entre diferentes estudos de ACV para resultados de eutrofização (EP) – do portão ao túmulo



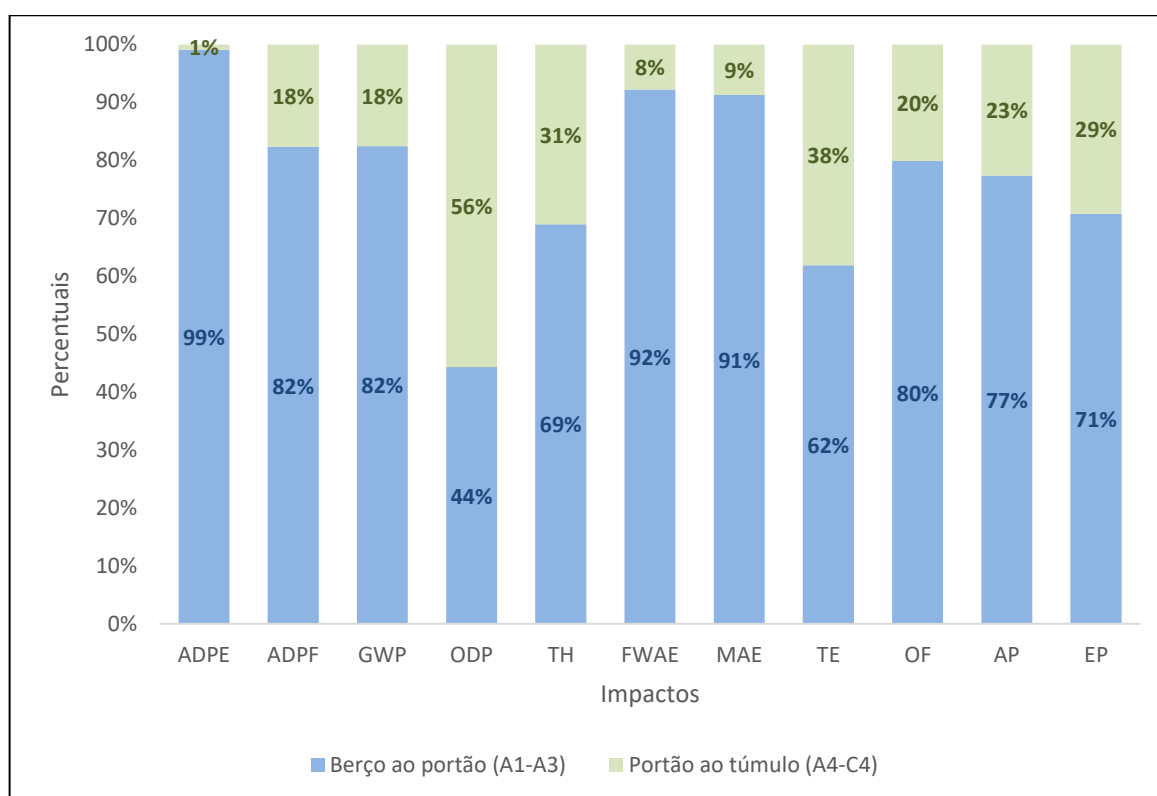
Fonte: Autora (2022).

Apesar disso, da mesma forma que os impactos anteriormente discutidos, é possível perceber uma variação de resultados considerável entre os estudos, o que pode novamente ser justificado pela utilização de diferentes softwares e objetivos e escopo nos estudos.

4.1.2.3. Análise Geral dos Impactos

Nas análises anteriores foram avaliados separadamente os impactos do berço ao portão e do portão ao túmulo, a fim de rastrear melhor os impactos e ter mais domínio em relação aos pontos de melhorias que podem ser adotados para redução desses impactos. Apresenta-se na sequência uma comparação da influência dos impactos de cada uma das diferentes etapas no ciclo de vida completo do revestimento cerâmico. Esse comparativo pode ser visto na Figura 56.

Figura 56 – Gráfico comparativo da influência das etapas do berço ao portão (A1-A3) e do portão ao túmulo (A4-C4) no ciclo de vida completo do revestimento cerâmico



Legenda: ADPE: Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis); ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (recursos fósseis); GWP: Potencial de aquecimento global; ODP: Destruição da camada de ozônio (ODP); TH: Toxicidade humana; FWAE: Ecotoxicidade aquática de água doce; MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha; TE: Ecotoxicidade Terrestre; OF: Oxidação Fotoquímica; AP: Acidificação; EP: Eutrofização.

Fonte: Autora (2022).

Avaliando a Figura 56 se percebe que no geral os módulos correspondentes do berço ao portão, incluindo matérias-primas e processo produtivo, influenciam de forma muito mais significativa nos impactos ambientais, quando comparados com os módulos do portão ao túmulo, com exceção do impacto de destruição da camada de ozônio (ODP).

Para a empresa em estudo este é um resultado satisfatório, visto que os principais impactos estão sob controle da mesma, sendo mais fácil traçar estratégias de melhorias internas e tentar mitigar alguns desses impactos. Esse mesmo resultado também foi obtido por alguns estudos desenvolvidos por Türkmen, Özbilen e Duhbaci (2021), Pini *et al.* (2014) e Ibáñez-forés, Bovea e Simó (2011).

Apesar dos impactos do berço ao portão prevalecerem, foi de suma importância ter realizado o estudo completo do portão ao túmulo, pois possibilitou o conhecimento e domínio de todo o ciclo de vida do produto e seus impactos gerados.

4.1.3. Benefícios e cargas além do limite do sistema de produtos (Módulo D)

O módulo D consiste apenas numa única etapa, ou seja, apenas a declaração das cargas ambientais resultantes de materiais recicláveis, do portão ao túmulo. Em outras palavras, diz respeito apenas aos impactos evitados em virtude da reutilização desses materiais.

Por este motivo, não foram elaborados os esquemas de resultados, tal como foram discutidos nas seções anteriores. Nesse caso se optou por expressar os resultados por meio da Tabela 23, que mostra os valores absolutos de cada impacto, para cada tipo de material e, também, por meio da Figura 54 que mostra a contribuição de cada material para o impacto.

Tabela 23 – Resultados do módulo D (declaração das cargas ambientais resultantes de materiais recicláveis)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Madeira	Revestimento Cerâmico	Plástico	Papelão	Metal
ADPE	kg Sb eq	-1,62.10 ⁻⁰³	-4,67.10 ⁻⁰⁶	-1,60.10 ⁻⁰³	-1,39.10 ⁻⁰⁸	-1,25.10 ⁻⁰⁵	-5,69.10 ⁻¹⁰
ADPF	MJ	-4,52.10 ⁰¹	-1,28.10 ⁰¹	-3,00.10 ⁰¹	-6,28.10 ⁻⁰²	-2,30.10 ⁰⁰	-1,62.10 ⁻⁰⁴
GWP	kg CO ₂ eq	-3,34.10 ⁰⁰	-7,73.10 ⁻⁰¹	-2,37.10 ⁰⁰	-4,57.10 ⁻⁰³	-1,91.10 ⁻⁰¹	-2,02.10 ⁻⁰⁵
ODP	kg CFC-11 eq	-2,92.10 ⁻⁰⁷	-7,86.10 ⁻⁰⁸	-2,04.10 ⁻⁰⁷	-4,84.10 ⁻¹¹	-9,94.10 ⁻⁰⁹	-1,46.10 ⁻¹²
TH	kg 1,4-DB eq	-1,29.10 ⁰⁰	-7,98.10 ⁻⁰¹	-4,04.10 ⁻⁰¹	-6,16.10 ⁻⁰⁴	-8,66.10 ⁻⁰²	-3,61.10 ⁻⁰⁶
FWAE	kg 1,4-DB eq	-1,33.10 ⁻⁰¹	-4,06.10 ⁻⁰²	-7,48.10 ⁻⁰²	-3,22.10 ⁻⁰⁵	-1,74.10 ⁻⁰²	-3,41.10 ⁻⁰⁷
MAE	kg 1,4-DB eq	-1,44.10 ⁰³	-2,27.10 ⁰²	-1,10.10 ⁰³	-2,93.10 ⁰⁰	-1,12.10 ⁰²	-7,74.10 ⁻⁰³
TE	kg 1,4-DB eq	-6,05.10 ⁻⁰³	-1,97.10 ⁻⁰³	-2,01.10 ⁻⁰³	-4,04.10 ⁻⁰⁶	-2,07.10 ⁻⁰³	-2,66.10 ⁻⁰⁸
OF	kg C ₂ H ₄ eq	-1,04.10 ⁻⁰³	-3,89.10 ⁻⁰⁴	-6,07.10 ⁻⁰⁴	-3,60.10 ⁻⁰⁶	-4,18.10 ⁻⁰⁵	-1,02.10 ⁻⁰⁸
AP	kg SO ₂ eq	-1,38.10 ⁻⁰²	-3,73.10 ⁻⁰³	-9,41.10 ⁻⁰³	-2,17.10 ⁻⁰⁵	-6,30.10 ⁻⁰⁴	-7,24.10 ⁻⁰⁸
EP	kg PO ₄ --- eq	-1,84.10 ⁻⁰³	-6,84.10 ⁻⁰⁴	-1,02.10 ⁻⁰³	-2,78.10 ⁻⁰⁶	-1,36.10 ⁻⁰⁴	-7,90.10 ⁻⁰⁹

Legenda: ADPE: Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis); ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (recursos fósseis); GWP: Potencial de aquecimento global; ODP: Destruição da camada de ozônio (ODP); TH: Toxicidade humana; FWAE: Ecotoxicidade aquática de água doce; MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha; TE: Ecotoxicidade Terrestre; OF: Oxidação Fotoquímica; AP: Acidificação; EP: Eutrofização.

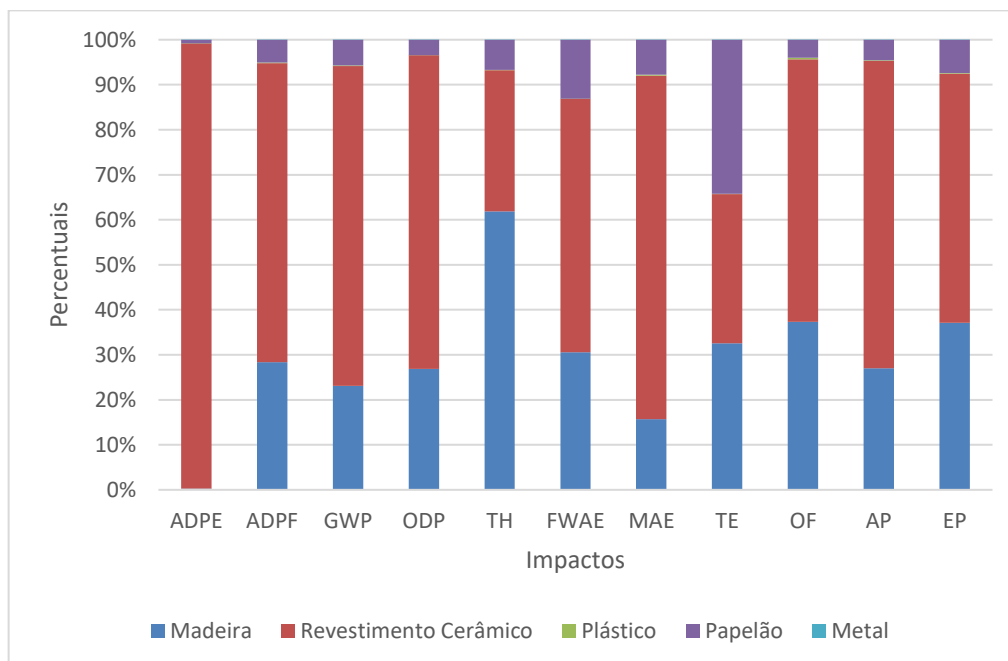
Fonte: Autora (2022).

Como pode ser visto na Tabela 23, os resultados foram expressos em valores negativos, isso ocorre porque se trata na verdade de uma redução de impactos, ou seja, eram materiais que eram considerados resíduos, mas que como são reciclados não representam nenhum impacto ambiental, (como p.ex. madeira, revestimento cerâmico, plástico, papelão e metal). Pode-se assim considerar que este módulo reflete os benefícios da reciclagem e da reutilização dos materiais.

Em termos matemáticos, olhando também para a Eq. 48, os valores se tornam negativos, pois o impacto da utilização primária dos materiais (representado por $E * V$ na equação) é superior ao impacto de reciclagem e da reutilização dos mesmos (representado por $E_{recycled}$ na equação).

Os resultados expostos na Tabela 23 foram transformados em percentuais e estão disponíveis da Figura 57.

Figura 57 – Resultados do módulo D



Legenda: ADPE: Potencial de esgotamento de recursos abióticos (recursos não fósseis); ADPF: Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (recursos fósseis); GWP: Potencial de aquecimento global; ODP: Destruição da camada de ozônio (ODP); TH: Toxicidade humana; FWAE: Ecotoxicidade aquática de água doce; MAE: Ecotoxicidade Aquática Marinha; TE: Ecotoxicidade Terrestre; OF: Oxidação Fotoquímica; AP: Acidificação; EP: Eutrofização.

Fonte: Autora (2022).

Como pode ser observado por meio da Figura 57, para os impactos evitados de toxicidade humana (TH), a principal influência foi a reciclagem e reutilização da madeira utilizada para a produção dos paletes para a embalagem, seguido pela reciclagem e pela reutilização do revestimento cerâmico, do papelão, do plástico e do metal.

Rastreando no software essa influência da madeira na toxicidade humana, foi identificado que o impacto da utilização do material primário está relacionado com o consumo de aglomerado de madeira que constituem o paleta, resultado que também foi identificado no estudo de Alanya-Rosenbaum, Bergman e Gething (2021). Essa origem do impacto pode ser evitada pelo processo de reciclagem e reutilização da madeira, por este motivo, esse material apresentou destaque em relação à toxicidade humana.

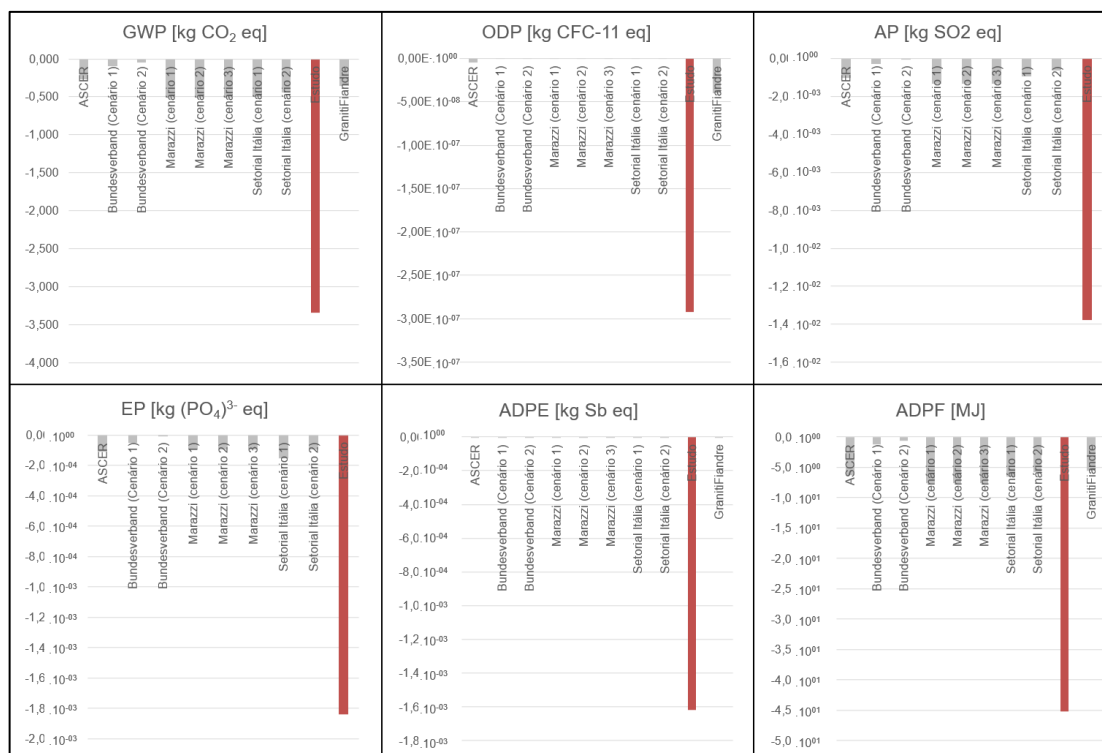
Já para o impacto de ecotoxicidade terrestre (TE), a contribuição da reciclagem e reutilização do papelão, da madeira e do revestimento cerâmico foram bem semelhantes, seguidos pelo plástico e metal.

Com exceção dos impactos de TH e TE, a principal contribuição veio da reciclagem e reutilização do revestimento cerâmico, seguida pela madeira, papelão, plástico e metal. Uma das principais justificativas para a contribuição majoritária da reciclagem do revestimento cerâmico está relacionada ao fato de esse ser o resíduo que foi gerado em maior quantidade, consequentemente, ao ser reciclado e reutilizado, trará maiores benefícios ambientais.

Segundo Douguet e Wagner (2021), o maior benefício da reciclagem dos revestimentos cerâmicos descartados advém de evitar o uso de matérias-primas para fabricar um novo produto, visto que o processo de reciclagem está baseado em triturar o revestimento, fazendo com que esse se torne um material que possa ser incorporado para a produção de um novo.

Como pode ser visto na Figura 58, a empresa em estudo apresentou um destaque em relação aos benefícios ambientais e impactos evitados. Apesar disso, como já comentado anteriormente, esses resultados variam de acordo com as características de cada estudo.

Figura 58 – Gráfico comparativo entre estudos de ACV – módulo D



Fonte: Autora (2022).

Neste caso, com exceção do estudo da ASCER, os demais foram realizados com o SimaPro, o que já elimina a influência de diferentes softwares, porém a definição do objetivo e escopo do estudo e os bancos de dados utilizados podem estar provocando essa diferença entre os resultados, por este motivo, os estudos de ACV não são ferramentas para comparar produtos e serviços (EN 15804:2012+A2 (2019)).

Por meio de todas essas análises dos resultados realizadas no presente estudo, foi possível reforçar e comprovar a importância de um estudo de avaliação do ciclo de vida, para que uma empresa possa conhecer de forma clara e transparente o seu processo produtivo e os seus impactos ambientais, por meio de dados quantitativos. Isso possibilita que as empresas possam agir de forma mais segura, visto que existirão valores numéricos a serem comparados, diferente de outras ferramentas que apresentam apenas resultados qualitativos. Isso se torna de grande valia, para as empresas aprimorarem suas práticas sustentáveis e atenderem às demandas de inovação e do mercado.

5. CONCLUSÃO

Ao finalizar este trabalho, foi possível com êxito traçar o desempenho ambiental por meio da metodologia de avaliação do ciclo de vida das placas cerâmicas produzidas pelo processo via úmida, com base no inventário de dados do processo produtivo de uma empresa brasileira fabricante de revestimentos cerâmicos, desde a etapa de extração de matéria-prima até o descarte final do produto.

Com relação ao levantamento e análise crítica da literatura voltada a essa área do conhecimento, esta etapa possibilitou identificar os avanços de normas, softwares e bancos de dados, entre outras ferramentas que mostram o crescente desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida. Ao avaliar a origem dos estudos, poucos eram do Brasil e poucos retratavam a realidade brasileira do setor cerâmico.

Ao relacionar os estudos da ACV com a indústria de revestimentos cerâmicos, diversos trabalhos apontaram as etapas do processo responsáveis pelos maiores impactos ambientais, que devem ser corrigidos por meio de tomadas de decisão. Alguns estudos mostraram que a etapa mais crítica em relação ao impacto ambiental é a etapa de sinterização. No entanto, também se chegou a outras conclusões que mostraram que o transporte das matérias-primas para as fábricas foi a etapa que causou o maior impacto ambiental ou o apontamento das matérias-primas do esmalte como o principal responsável pelo impacto nas indústrias estudadas.

Desta forma, com o objetivo de aumentar o conhecimento na metodologia de ACV para revestimentos cerâmicos, o presente estudo traçou o desempenho ambiental das placas cerâmicas produzidas pelo processo via úmida, com base no inventário de dados de um processo produtivo de uma empresa brasileira, desde a etapa de extração de matéria-prima até o descarte final do produto.

Para este fim, foram estabelecidos procedimentos metodológicos para a realização do inventário das etapas produtivas. Estes procedimentos envolveram visitas nos parques fabris, mapeamento dos mesmos, definição das informações a serem coletadas e cálculos, até obter o inventário final. Esta metodologia foi essencial para obter os dados dentro de um nível de qualidade requerido.

Deste estudo prático, após realizar o inventário, verificou-se a qualidade dos mesmos, por meio da matriz pedigree, em que em geral todos os dados utilizados no estudo apresentaram uma classificação menor que 1,6, ou seja, pertencem ao nível excelente de qualidade de dados. Com um nível excelente de qualidade de dados se

obteve a segurança para dar início à avaliação dos impactos e à interpretação dos resultados fornecidos, os quais se mostraram coesos quando comparados com a literatura.

Avaliando o estudo no geral, os impactos causados do berço ao portão se mostraram superiores aos impactos causados do portão ao túmulo, com exceção do impacto de destruição da camada de ozônio. Para a empresa em estudo esse é um resultado satisfatório, visto que os principais impactos estão sob controle da mesma, sendo mais fácil traçar estratégias de melhorias internas a fim de mitigar alguns desses impactos ambientais. Por meio de um estudo mais aprofundado, foi possível concluir que as principais influências dos impactos do berço ao portão estão relacionados com o consumo de combustíveis para geração de energia térmica nas etapas de atomização, secagem e queima, consumo de matérias-primas para a produção do revestimento (massa, engobe e esmalte), consumo de materiais de embalagem, transporte das matérias-primas até à empresa e emissões atmosféricas principalmente na etapa de produção do pó atomizado.

Ainda avaliando a etapa do berço ao portão, é possível perceber que a produção da massa cerâmica é a principal influência da maioria dos impactos, porém isso não ocorreu com a categoria de ADPE, na qual o impacto da cobertura (engobe e esmalte) se mostrou superior. Por meio dessa análise, é possível concluir que em um estudo de ACV os impactos não são diretamente proporcionais ao conteúdo do produto, visto que nos revestimentos cerâmicos da empresa em estudo a camada de cobertura representa cerca de 4% do peso, enquanto a massa cerâmica representa cerca de 96%.

Em relação às análises do portão ao túmulo, conclui-se que as principais influências foram o transporte dos revestimentos cerâmicos do portão da fábrica até ao cliente e o consumo de argamassa para assentamento, devido ao cimento presente em sua composição.

O módulo D mostrou os benefícios e impactos evitados pela reciclagem e reutilização dos resíduos gerados do portão ao túmulo. Os resultados permitiram identificar que, nesse módulo, a principal contribuição advém da reciclagem e reutilização do revestimento cerâmico, seguida pela madeira, papelão, plástico e metal. Essa elevada contribuição da reciclagem do revestimento cerâmico pode estar relacionada com o fato de que esse foi o principal resíduo gerado do portão ao túmulo

pela empresa em estudo, fazendo com que o seu processo de reutilização evite consideravelmente o consumo de novas matérias-primas.

Com relação aos softwares estudados e ao aplicado, percebeu-se que o software SimaPro é uma ferramenta na qual as informações estão claras e transparentes, tornando as análises de verificações mais ágeis e fáceis. Com isso, foi possível confirmar que este software é adequado para o estudo de avaliação de ciclo de vida realizado. Não sendo possível afirmar o mesmo para os demais softwares, visto que estes não foram testados no presente trabalho, apenas comparados por meio da literatura, percebendo-se que na maioria das vezes os resultados obtidos pelo GaBi eram inferiores quando comparados ao SimaPro. Porém, não somente o software deve ser avaliado em um estudo, mas também o banco de dados escolhido, a categoria de avaliação de impacto, os requisitos de qualidade de dados, os objetivos e escopo, o nível tecnológico, etc.

Durante a elaboração deste estudo foi analisado que alguns bancos de dados disponíveis no software não representam a realidade da indústria em estudo, por isso, bancos de dados como a água tratada na ETA da empresa em estudo, tratamento das quebras de revestimentos cerâmicos desviadas do processo e trituradas para retornar ao processo, impacto dos fornecedores de matérias-primas de cobertura e frita representativa para a empresa em estudo foram criados e poderão ser disponibilizados futuramente para consulta de todos usuários licenciados do SimaPro, podendo ser utilizados para estudos de ACVs de outras empresas cerâmicas, apresentando um diferencial, visto que ainda há poucos bancos de dados brasileiros.

Com isso, o trabalho se mostrou inédito em relação à obtenção de uma avaliação do ciclo de vida, do berço ao túmulo, com dados primários de uma indústria de revestimentos cerâmicos brasileira, englobando todas as suas unidades produtivas e produtos. Por estes motivos, a etapa de inventário, isto é, coleta dos dados, se mostrou a mais desafiadora, devido ao alto número de informações coletadas em toda a cadeia produtiva do revestimento cerâmico, desde o berço ao túmulo do produto.

Desta forma, entende-se que o presente trabalho não só contribui com o fornecimento de dados nacionais de inventário de ciclo de vida de revestimentos cerâmicos, mas também com uma detalhada avaliação do impacto ambiental dos materiais e processos inclusos com a produção do revestimento.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Continuação deste estudo com dados ao longo dos anos, a fim de avaliar o comportamento dos impactos, definindo áreas de atuação para a mitigação dos mesmos;
- Realizar o estudo de ACV individual para cada unidade fabril, possibilitando a comparar a relação dos impactos ambientais do produto com as particularidades de cada unidade;
- Realizar o estudo de ACV individual para cada grupo de absorção de produto, possibilitando a verificação de qual a tipologia que possui a maior contribuição para os impactos ambientais;
- Realizar o estudo de ACV individual por linha de produção, tornando possível avaliar a influência de equipamentos e particularidades de cada linha nos impactos;
- Realizar um estudo de ACV relacionado com a substituição de certas matérias-primas, que mostraram maior contribuição nos impactos ambientais neste estudo, mostrando de forma quantitativa os benefícios ambientais destas alterações;
- Realizar um estudo de ACV relacionado à substituição dos combustíveis que possuíram maiores influências nos impactos verificados neste trabalho, por combustíveis limpos;
- Mostrar por meio do estudo da ACV o benefício de aumentar a reutilização e reciclagem de resíduos;
- Contribuir com os dados fornecidos pela ACV para elaborar inventário de gás de efeito estufa (GEE).

REFERÊNCIAS

ABIPLAST - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. (org.). ESTUDO APONTA QUE 23,1% DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO FORAM RECICLADOS EM 2020 NO BRASIL. 2021. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/noticias/estudo-aponta-que-231-dos-residuos-plasticos-pos-consumo-foram-recicladados-em-2020-no-brasil/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ABNT NBR ISO 14040, 2014. ABNT NBR ISO 14040. Gestão Ambient. - Avaliação do ciclo vida - Princípios e Estrut.

ABNT NBR ISO 14044, 2009. NBR ISO 14044. Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações. ABNT.

ACV BRASIL; BRASKEM. Avaliação do Ciclo de Vida comparativa entre Copos Descartáveis e Copos Reutilizáveis. São Paulo, 2015. 81 p. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/images/Copos-200-mL-ACV-Completo.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2020

AESP FGV. Programa Brasileiro GHG Protocol: ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (gee). Ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE). 2021. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 14 dez. 2021.

ALANYA-ROSENBAUM, S.; BERGMAN, R.D.; GETHING, B.. Assessing the life-cycle environmental impacts of the wood Palet sector in the United States. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 320, p. 128726, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128726>.

ALMEIDA, Marisa A. et al. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION FOR CERAMIC TILE. Energy For Sustainability, Coimbra, set. 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/el700807/Downloads/Efs2013.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

ALMEIDA, Marisa A. et al. Environmental product declaration in ceramic materials as sustainability tool. Lcm 2011, Towards Life Cycle Sustainability Management, Berlim, v. 0, n. 0, p.28-37, jan. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255483319_Environmental_product_declaration_in_ceramic_materials_as_sustainability_tool>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ALMEIDA, Marisa A. et al. Environmental product declaration in ceramic materials as sustainability tool. Lcm 2011, Towards Life Cycle Sustainability Management, Berlim, v. 0, n. 0, p.28-37, jan. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255483319_Environmental_product_declaration_in_ceramic_materials_as_sustainability_tool>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ALMEIDA, Marisa Isabel; DIAS, Ana Cláudia; DEMERTZI, Martha; ARROJA, Luís. Contribution to the development of product category rules for ceramic bricks. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 92, p. 206-215, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.073>.

ALMEIDA, Marisa Isabel; DIAS, Ana Cláudia; DEMERTZI, Martha; ARROJA, Luís. Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 131, p. 583-593, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.131>.

AMERICAN OLEAN. Environmental Product Declaration: floor tile manufactured. Dickson (Tn): Nsf International, 2019. 20 p. Disponível em: <https://info.nsf.org/Certified/Sustain/ProdCert/EPD10202.pdf>. Acesso em: 26 maio 2022.

Anfacer, 2022. ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica [WWW Document]. URL <https://www.anfacer.org.br/> (accessed 7.16.20).

ANFACER. Avaliação do Ciclo de Vida: placas cerâmicas para revestimento [média nacional]. Brasil: Apexbrasil, 2015. 43 p. Disponível em: <https://www.iniciativaanfacer.com.br/central-de-informacoes>. Acesso em: 26 maio 2022.

ARENA, Marika; AZZONE, Giovanni; CONTE, Antonio. A streamlined LCA framework to support early decision making in vehicle development. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 41, p. 105-113, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.031>.

ASCER. Declaración Ambiental de Producto: recubrimientos cerámicos españoles. Espanha: Aenor - Globalepd, 2019. 17 p. Disponível em: https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalEPD_002_042_ESP.PDF. Acesso em: 26 maio 2022.

ASDRUBALI, Francesco; BALDASSARRI, Catia; FTHENAKIS, Vasilis. Life cycle analysis in the construction sector: guiding the optimization of conventional italian buildings. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 64, p. 73-89, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.018>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13816. Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia: Abnt. 1997 ABNT, 1997a. NBR 13816

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13817. Placas cerâmicas para revestimento - Classificação: Abnt. 1997. ABNT, 1997b. NBR 13817.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13006. Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação. 2020: Abnt.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009: Abnt. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: Abnt. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 15463. Placas cerâmicas para revestimento — Porcelanato. Abnt. 2013

BAAN, Laura de; MUTEL, Christopher L.; CURRAN, Michael; HELLWEG, Stefanie; KOELLNER, Thomas. Land Use in Life Cycle Assessment: global characterization factors based on regional and global potential species extinction. *Environmental Science & Technology*, [S.L.], v. 47, n. 16, p. 9281-9290, 7 ago. 2013. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es400592q>.

BARBA JUNIOR, Durval João de; GOMES, Jefferson de Oliveira; BORK, Carlos Alberto Schuch. Reliability of the Sustainability Assessment. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 15, p.361-366, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.034>.

BECCALI, Marco; CELLURA, Maurizio; IUDICELLO, Maria; MISTRETTE, Marina. Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 91, n. 7, p. 1415-1428, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.028>.

BELANGER, Scott E.; RAWLINGS, Jane M.; STACKHOUSE, Ricky. Advances in understanding the response of fish to linear alcohols in the environment. *Chemosphere*, [S.L.], v. 206, p. 539-548, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.152>.

BENEDETTO, Luca de; KLEMEŠ, Jiří. The Environmental Performance Strategy Map: an integrated lca approach to support the strategic decision-making process. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 17, n. 10, p. 900-906, jul. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.02.012>.

BETHA, Raghu; BEHERA, Sailesh N.; BALASUBRAMANIAN, Rajasekhar. 2013 Southeast Asian Smoke Haze: fractionation of particulate-bound elements and associated health risk. *Environmental Science & Technology*, [S.L.], v. 48, n. 8, p. 4327-4335, 28 mar. 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es405533d>.

BIRON, Michel. EcoDesign. Material Selection For Thermoplastic Parts, [S.L.], p. 603-653, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-7020-6284-1.00015-5>.

BIRON, Michel. Future Prospects for Thermoplastics and Thermoplastic Composites. *Thermoplastics And Thermoplastic Composites*, [S.L.], p. 1083-1126, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102501-7.00009-6>.

BJÖRKLUND, Anna E.. Survey of approaches to improve reliability in lca. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 64-72, mar. 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978849>.

BJØRN, Anders; OWSIANIAK, Mikołaj; LAURENT, Alexis; MOLIN, Christine; WESTH, Torbjørn Bochsén; HAUSCHILD, Michael Zwicky. Mapping and characterization of LCA networks. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 812-827, 10 nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0524-6>.

BLENGINI, Gian Andrea; CARLO, Tiziana di. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 42, n. 6, p. 869-880, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.009>.

BLUNDO, Davide Settembre; GARCÍA-MUIÑA, Fernando Enrique; PINI, Martina; VOLPI, Lucrezia; SILIGARDI, Cristina; FERRARI, Anna Maria. Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors. *Smart And Sustainable Built Environment*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 53-79, 1 abr. 2019. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-07-2018-0038>.

BORRION, Aiduan Li; KHRAISHEH, Majeda; BENYAHIA, Farid. Environmental life cycle impact assessment of Gas-to-Liquid processes. *Proceedings Of The 3Rd Gas Processing Symposium*, [S.L.], p. 71-77, 2012. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-59496-9.50011-4>.

BOSSLE, Marilia Bonzanini; BARCELLOS, Marcia Dutra de; VIEIRA, Luciana Marques; SAUVÉE, Loïc. The drivers for adoption of eco-innovation. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 113, p. 861-872, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.033>.

BOVEA, María-Dolores; SAURA, Úrsula; FERRERO, Jose Luis; GINER, Josep. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 439-447, 17 jun. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.06.252>.

BRASIL. Lei nº 14.675, de 14 de abril de 2009. Santa Catarina, SC, Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14675_2009_Lei.html. Acesso em: 08 dez. 2021.

BREEDVELD, Leo; TIMELLINI, Giorgio; CASONI, Giorgio; FREGNI, Alberto; BUSANI, Graziano. Eco-efficiency of fabric filters in the Italian ceramic tile industry. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 86-93, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.08.015>.

BUNDESVERBAND. Environmental Product Declaration: ceramic tiles. Berlin: Ibu, 2016. 11 p. Disponível em: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/9256>. Acesso em: 26 maio 2022.

CAGLAYAN, Hasan; CALISKAN, Hakan. Energy, exergy and sustainability assessments of a cogeneration system for ceramic industry. Applied Thermal Engineering, [S.L.], v. 136, p. 504-515, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.064>.

CAMPOS, Lucila M.s.; HEIZEN, Daiane Aparecida de Melo; VERDINELLI, Miguel Angel; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Environmental performance indicators: a study on iso 14001 certified companies. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 99, p. 286-296, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.019>.

CAO, C.. Sustainability and life assessment of high strength natural fibre composites in construction. Advanced High Strength Natural Fibre Composites In Construction, [S.L.], p. 529-544, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100411-1.00021-2>.

CARVALHO, Gabrielly Cristina de Souza; MARQUES, Claudia Scoton A.; LANZINHA, João Carlos Gonçalves. Review of Construction and Demolition Waste management in Municipalities in Brazil and Portugal. *International Journal Of Advanced Engineering Research And Science*, [S.L.], v. 8, n. 7, p. 427-434, 2021. AI Publications. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.87.47>.

CELADES, Irina; GOMAR, Salvador; ROMERO, Fernando; CHAUHAN, Amisha; DELPECH, Bertrand; JOUHARA, Hussam. Acid emissions monitoring needs in ceramic tile industry: challenges derived from new policy trends. *E3S Web Of Conferences*, [S.L.], v. 22, p. 00026, 2017. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20172200026>.

CELLURA, Maurizio; LONGO, Sonia; MISTRETTA, Marina. Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: the case study of an italian tile. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 4697-4705, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.082>.

CEMPRE. (org.). Fique por dentro da reciclagem de resíduos. 2022. Disponível em: <https://cempre.org.br/papel/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

CETESB. Cerâmica Branca e de Revestimento: GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA BRANCA E DE REVESTIMENTO - SÉRIE P+L. São Paulo: 2008. 84 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/ceramica.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

CHAGAS, Henrique Pedrosa; AMATO NETO, Joao. O CENÁRIO BRASILEIRO DA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2012, Bento Gonçalves. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção. Bento Gonçalves: Enegep, 2012. p. 1-9.

CHEN, C.; HABERT, G.; BOUZIDI, Y.; JULLIEN, A.; VENTURA, A.. LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: an application to mineral additions in concrete. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 54,

n. 12, p. 1231-1240, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.001>.

CHEN, Xiaojun; MATTHEWS, H. Scott; GRIFFIN, W. Michael. Uncertainty caused by life cycle impact assessment methods: case studies in process-based lci databases. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 172, p. 105678, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105678>.

CIACCO, Eduardo F.s.; ROCHA, Jose R.; COUTINHO, Aparecido R.. The energy consumption in the ceramic tile industry in Brazil. *Applied Thermal Engineering*, [S.L.], v. 113, p. 1283-1289, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.068>.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011. Resolução nº 436, 26 de Dezembro de 2011. Ministério do Meio Ambiente.

CONDEIXA, Karina; HADDAD, Assed; BOER, Dieter. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: a case study in brazil. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 70, p. 141-147, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.113>.

CONFINDUSTRIA CERAMICA. Environmental Product Declaration: italian ceramic tiles. Itália: Ibu, 2016. 13 p. Disponível em: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/9857>. Acesso em: 26 maio 2022.

CONTARTESI, Flavia; MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo O.. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): uma ferramenta para a redução do impacto ambiental dos revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 30-44, 2019. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.011>.

CPRH. O SETOR CERAMISTA E O MEIO AMBIENTE: Guia prático para o licenciamento ambiental. Recife: 0, 2010. 20 p. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/cartilha%20caramistas;0419;20101123.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2019.

CRAWFORD, Robert H.; BONTINCK, Paul-Antoine; STEPHAN, André; WIEDMANN, Thomas; YU, Man. Hybrid life cycle inventory methods – A review. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 172, p. 1273-1288, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.176>.

CULABA, A.B.; PURVIS, M.R.I.. A methodology for the life cycle and sustainability analysis of manufacturing processes. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 435-445, dez. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526\(99\)00231-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526(99)00231-0).

CURRAN, Michael; BAAN, Laura de; SCHRYVER, An M. de; VAN ZELM, Rosalie; HELLWEG, Stefanie; KOELLNER, Thomas; SONNEMANN, Guido; HUIJBREGTS, Mark A. J.. Toward Meaningful End Points of Biodiversity in Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology*, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 70-79, 3 nov. 2010. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es101444k>.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit) e Comitê Gestor do PAC. MAPA FERROVIÁRIO DE SC. 2015. Disponível em: <https://www.clicrbs.com.br/pdf/8736029.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022

DINCER, Ibrahim; BICER, Yusuf. 1.27 Life Cycle Assessment of Energy. *Comprehensive Energy Systems*, [S.L.], p. 1042-1084, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-809597-3.00134-6>.

DOUGUET, Etienne; WAGNER, Florence. The environmental impact of reuse in the construction sector: fcrbe project. Europe: Interreg, 2021. 23 p.

DREYER, Louise Camilla; NIEMANN, Anne Louise; HAUSCHILD, Michael Z.. Comparison of Three Different LCIA Methods: edip97, cml2001 and eco-indicator 99. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 191-200, jul. 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978471>.

DURAIRAJ, S. Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies. *Corporate Environmental Strategy*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 30-39, fev. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1066-7938\(01\)00141-5](http://dx.doi.org/10.1016/s1066-7938(01)00141-5).

EC/JRC/IES (2010c). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg. Publications Office of the European Union, March 2010, EUR 24708 EN.

ECOINVENT (org.). Dataset. 2021. Disponível em: <https://ecoinvent.org/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

EISLER, Georg; HELLWEG, Stefanie; HUNGERBÜHLER, Konrad. Uncertainty Analysis in Life Cycle Assessment (LCA): case study on plant-protection products and implications for decision making (9 pp + 3 pp). The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 184-192, 28 set. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.09.178>.

EUROPEAN STANDARDS (EN). 15804:2012+A2: Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. Europe, 2019. 78 p.

FARINHA, Catarina; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do. Life cycle assessment. Eco-Efficient Rendering Mortars, [S.L.], p. 205-234, 2021. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818494-3.00008-8>.

FAVA, James A.. Will the Next 10 Years be as Productive in Advancing Life Cycle Approaches as the Last 15 Years? The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 6-8, jan. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.04.003>.

FERRAZ, Paulo Henrique Ribeiro. Estimated cost of transporting construction and demolition waste in Recife, Pernambuco, Brazil. Environmental Management, Santa Maria, v. 24, n. 42, maio 2020. <https://doi.org/10.5902/2236117045262>

FINNVEDCN, Göran; LINDFORS, Lars-Gunnar. On the nordic guidelines for life cycle assessment. The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 45-48, mar. 1996. Springer Science and Business Media LLC.

<http://dx.doi.org/10.1007/bf02978635>Finnveden, G., 2000. On the limitations of life cycle assessment and environmental systems analysis tools in general. *Int. J. Life Cycle Assess.* <https://doi.org/10.1007/BF02979365>

FRISCHKNECHT, R.; BRAUNSCHWEIG, A.; HOFSTETTER, P.; SUTER, P.. Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 159-189, abr. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0195-9255\(99\)00042-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0195-9255(99)00042-6).

FRISCHKNECHT, Rolf. Allocation in Life Cycle Inventory Analysis for Joint Production. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 85-95, mar. 2000. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02979729>.

GABALDÓN-ESTEVAN, D.; CRIADO, E.; MONFORT, E.. The green factor in European manufacturing: a case study of the spanish ceramic tile industry. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 70, p. 242-250, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.018>.

GABI: Software. Software. 2019. Disponível em: <<https://www.gabi-software.com/international/index/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

GARCÍA-MUIÑA, Fernando et al. Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 327, p. 129439, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129439>.

GOMES, Jerônimo Moraes; SALGADO, Ana Luiza Folchini; HOTZA, Dachamir. Life Cycle Assessment of Ceramic Bricks. *Materials Science Forum*, [S.L.], v. 727-728, p. 815-820, ago. 2012. Trans Tech Publications, Ltd.. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.727-728.815>.

GOOGLE MAPS. Google Maps. 2022. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 25 ago. 2022.

GRANITIFIANDRE. Environmental Product Declaration: porcelain stoneware slabs for internal and external walls and floorings countertops - furniture. Itália: International Epd System, 2020. 44 p. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd1439>. Acesso em: 26 maio 2022.

GRUBERT, Emily. Beyond carbon in socioenvironmental assessment: life cycle assessment as a decision support tool for net-zero energy systems. *Energy And Climate Change*, [S.L.], v. 2, p. 100061, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egycc.2021.100061>.

GUINÉE, Jeroen. Handbook on life cycle assessment — operational guide to the ISO standards. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 255-255, set. 2001. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978784>.

GÜNGÖR, Gülşen L. et al. Ink-jet printability of aqueous ceramic inks for digital decoration of ceramic tiles. *Dyes And Pigments*, [S.L.], v. 127, p. 148-154, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.12.018>.

HABERT, Guillaume. A method for allocation according to the economic behaviour in the EU-ETS for by-products used in cement industry. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 113-126, 6 jul. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0464-1>.

HAFIZAN, Che; NOOR, Zainura Zainon; HUSSEIN, Norelyza; SABLİ, Noor Salehan Mohammad. Life cycle assessment of diesel blending production. *Environmental Engineering Research*, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 200297, 22 out. 2020. Korean Society of Environmental Engineering. <http://dx.doi.org/10.4491/eer.2020.297>.

HAMMES, Gabriela; SOUZA, Eduarda Dutra de; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada; MILLAN, Rafael Humberto Rojas; HERAZO, Julio César Mojica. Evaluation of the reverse logistics performance in civil construction. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 248, p. 119212, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119212>.

HAN, Baolong; WANG, Rusong; YAO, Liang; LIU, Hongxiao; WANG, Zhonghang. Life cycle assessment of ceramic façade material and its comparative analysis with three other common façade materials. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 99, p. 86-93, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.032>.

HAUSCHILD, Michael Z. et al. Building a Model Based on Scientific Consensus for Life Cycle Impact Assessment of Chemicals: The Search for Harmony and Parsimony. *9 Environmental Science & Technology*, [s. l], v. 42, n. 19, p. 7032-7037, 2008.

HEIJUNGS, Reinout. A generic method for the identification of options for cleaner products. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 69-81, maio 1994. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90038-8](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(94)90038-8).

HELLWEG, Stefanie; CANALS, Llorenç Milà I. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, [S.L.], v. 344, n. 6188, p. 1109-1113, 6 jun. 2014. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1248361>.

HERRMANN, Ivan T.; MOLTESEN, Andreas. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 86, p. 163-169, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>.

HUANG, Yi; LUO, Jiwen; XIA, Bin. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant – a case study in Guangzhou, China. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 43, p. 113-121, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.013>.

HUIJBREGTS, Mark A. J.; NORRIS, Gregory; BRETZ, Rolf; CIROTH, Andreas; MAURICE, Benoit; VON BAHR, Bo; WEIDEMA, Bo; BEAUFORT, Angeline S. H. de. Framework for modelling data uncertainty in life cycle inventories. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 6, n. 3, maio 2001. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978728>

IBÁÑEZ-FORÉS, V. et al. Assessing the sustainability of Best Available Techniques (BAT): methodology and application in the ceramic tiles industry. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 51, p. 162-176, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.020>.

IBÁÑEZ-FORÉS, Valeria; BOVEA, Maria-Dolores; SIMÓ, Amelia. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 16, n. 9, p. 916-928, 4 ago. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-011-0322-6>.

INGRAO, Carlo; LOGIUDICE, Agata; BACENETTI, Jacopo; KHANEGHAH, Amin Mousavi; SANT'ANA, Anderson S.; RANA, Roberto; SIRACUSA, Valentina. Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. *Food Research International*, [S.L.], v. 76, p. 418-426, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.028>.

INGRAO, Carlo; MATARAZZO, Agata; TRICASE, Caterina; CLASADONTE, Maria Teresa; HUISINGH, Donald. Life Cycle Assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 92, p. 109-120, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.053>.

INGWERSEN, Wesley W.; STEVENSON, Martha J.. Can we compare the environmental performance of this product to that one? An update on the development of product category rules and future challenges toward alignment. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 24, p. 102-108, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.040>.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. (IBU): PCR Guidance-Texts for Building-Related Products and Services - Part B: Requirements on the EPD for ceramic tiles and panels. 1.6 ed. Berlin: Ibu, 2017. 19 p.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V.. (IBU): Product Category Rules for Building-Related Products and Services - Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report. 1.8 ed. Berlin: IBU, 2019. 46 p.

IPIRANGA (Rio de Janeiro). FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ: óleo diesel b original s500. São Cristóvão, 2017. 11 p. Disponível em: <https://www.petroffacil.com.br/admin/arq/produto/1/fispq%20s500.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

ITALGRANITI. Environmental Product Declaration: porcelain stoneware. Itália: International Epd System, 2022. 25 p. Disponível em: IVANICA, Raphaela et al. Development of a life cycle inventory database and life cycle impact assessment of the building demolition stage: a case study in germany. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 338, p. 130631, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130631>.

ITC. CATEGORÍAS DE IMPACTO EN 15804+A2. Espanha: Aice, 2020. 58 p.

JACQUEMIN, Leslie; PONTALIER, Pierre-Yves; SABLAYROLLES, Caroline. Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review. The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 17, n. 8, p. 1028-1041, 3 maio 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0432-9>.

KARUNARATNE, Shiromi; DHARMARATHNA, Dilshi. A review of comprehensiveness, user-friendliness, and contribution for sustainable design of whole building environmental life cycle assessment software tools. Building And Environment, [S.L.], v. 212, p. 108784, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108784>.

KENNEDY, Dale J.; MONTGOMERY, Douglas C.; QUAY, Beth H.. Data quality. The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 1, n. 4, p. 199-207, dez. 1996. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978693>.

KHASREEN, Mohamad; BANFILL, Phillip F.; MENZIES, Gillian. Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: a review. Sustainability, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 674-701, 18 set. 2009. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su1030674>.

KHORASSANI, Sara Mohaddes et al. Life cycle assessment of a ceramic glaze containing copper slags and its application on ceramic tile. *International Journal Of Applied Ceramic Technology*, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 42-54, 4 out. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijac.13382>.

KLEWITZ, Johanna; HANSEN, Erik G.. Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 65, p. 57-75, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>.

KORONEOS, Christopher; DOMPROS, Aris. Environmental assessment of brick production in Greece. *Building And Environment*, [S.L.], v. 42, n. 5, p. 2114-2123, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.006>.

KYLILI, Angeliki; SEDUIKYTE, Lina; FOKAIDES, Paris A.. Life Cycle Analysis of Polyurethane Foam Wastes. *Recycling Of Polyurethane Foams*, [S.L.], p. 97-113, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-51133-9.00009-7>.

LI, Hengchong; YANG, Siyu; QIAN, Yu. Life cycle assessment of coal-based methanol. *Computer Aided Chemical Engineering*, [S.L.], p. 530-534, 2012. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-59507-2.50098-6>.

LIMA, Luanda et al. Sustainability in the construction industry: a systematic review of the literature. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 289, p. 125730, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>.

LIU, Y; GUO, H; MAO, G; YANG, P. A Bayesian hierarchical model for urban air quality prediction under uncertainty. *Atmospheric Environment*, [S.L.], v. 42, n. 36, p. 8464-8469, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.08.018>.

LO, S; MA, H; LO, S. Quantifying and reducing uncertainty in life cycle assessment using the Bayesian Monte Carlo method. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 340, n. 1-3, p. 23-33, 20 mar. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.08.020>.

LOGIUDICE, Agata; INGRAO, Carlo; CLASADONTE, Maria Teresa; TRICASE, Caterina; MBOHWA, Charles. Life cycle assessment for highlighting environmental hotspots in the Sicilian traditional ceramic sector: the case of ornamental ceramic plates. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 142, p. 225-239, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.028>.

LOZANO, Rodrigo. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 25, p. 14-26, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.060>.

MACKENZIE, S. M. et al. Landfill Leachate Ecotoxicity Experiments using *Lemna minor*. *Water, Air, And Soil Pollution: Focus*, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 171-179, 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1023973516564>.

MARAZZI. Environmental Product Declaration: ceramic tiles - glazed porcelain tiles (casiglie's plant). Itália: Ibu, 2016. 14 p.

MARINKOVIĆ, Snežana; CAREVIĆ, Vedran. Comparative studies of the life cycle analysis between conventional and recycled aggregate concrete. *New Trends In Eco-Efficient And Recycled Concrete*, [S.L.], p. 257-291, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102480-5.00010-5>.

MAUÉS, Luiz Maurício; BELTRÃO, Norma; SILVA, Isabela. GHG Emissions Assessment of Civil Construction Waste Disposal and Transportation Process in the Eastern Amazon. *Sustainability*, [S.L.], v. 13, n. 10, p. 5666, 18 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13105666>.

MAY, John R.; BRENNAN, David J.. Application of data quality assessment methods to an LCA of electricity generation. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 8, n. 4, jul. 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978474>.

MEZQUITA, A.; MONFORT, E.; FERRER, S.; GABALDÓN-ESTEVAN, D.. How to reduce energy and water consumption in the preparation of raw materials for

ceramic tile manufacturing: dry versus wet route. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 168, p. 1566-1570, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.082>.

MEZQUITA, Ana; BOIX, Juan; MONFORT, Eliseo; MALLOL, Gustavo. Energy saving in ceramic tile kilns: cooling gas heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, [S.L.], v. 65, n. 1-2, p. 102-110, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.01.002>.

MINGUILLÓN, María Cruz et al. Effect of ceramic industrial particulate emission control on key components of ambient PM10. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 90, n. 8, p. 2558-2567, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.016>.

MONAHAN, J.; POWELL, J.C.. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: a case study using a lifecycle assessment framework. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 179-188, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.005>.

MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; VAQUER, E.; MALLOL, G.; ALVES, H. J.; BOSCHI, A. O.. Consumo de energía térmica y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. *Análisis de las industrias Española y Brasileña. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 275-284, 30 out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3989/cyv.392012>.

MONFORT, E.; MEZQUITA, A.; VAQUER, E.; MALLOL, G.; GABALDÓN-ESTEVEAN, D.. La evolución energética del sector español de baldosas cerámicas. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 111-120, 30 jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3989/cyv.152014>.

MORALES, Michele; MORAGA, Gustavo; KIRCHHEIM, Ana Paula; PASSUELLO, Ana. Regionalized inventory data in LCA of public housing: a comparison between two conventional typologies in southern brazil. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 238, p. 117869, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117869>.

MORALES-MÉNDEZ, Jonathan-David; SILVA-RODRÍGUEZ, Ramón. Environmental assessment of ozone layer depletion due to the manufacture of plastic bags. *Heliyon*, [S.L.], v. 4, n. 12, p. 1-11, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01020>.

MORFINO, Andrea et al. Life cycle assessment comparison between zircon and alumina sand applied to ceramic tiles. *Cleaner Engineering And Technology*, [S.L.], v. 6, p. 100359, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100359>.

MORINI, Antonio Augusto; RIBEIRO, Manuel J.; HOTZA, Dachamir. Early-stage materials selection based on embodied energy and carbon footprint. *Materials & Design*, [s.l.], v. 178, p.107861, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107861>.

MOROPOULOU, Antonia et al. Life cycle analysis of mortars and its environmental impact. *Mrs Proceedings*, [S.L.], v. 895, 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1557/proc-0895-g06-02>.

MOROPOULOU, Antonia et al. Life cycle analysis of mortars and its environmental impact. *Mrs Proceedings*, [S.L.], v. 895, p. 1-7, 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1557/proc-0895-g06-02>.

MUAZU, Rukayya Ibrahim; ROTHMAN, Rachael; MALTBY, Lorraine. Integrating life cycle assessment and environmental risk assessment: a critical review. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 293, p. 126120, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126120>.

NICOLETTI, Giuseppe M; NOTARNICOLA, Bruno; TASSIELLI, Giuseppe. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 283-296, jun. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526\(01\)00028-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526(01)00028-2).

OBRECHT, Tajda Potrč; JORDAN, Sabina; LEGAT, Andraž; SAADE, Marcella Ruschi Mendes; PASSER, Alexander. An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after

refurbishment. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 327, p. 129527, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129527>

ODS. Objetivos de desenvolvimento sustentável. 2020. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 17 dez. 2020

OLIVEIR, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 2015. 124 p.

ORTIZ, Oscar; CASTELLS, Francesc; SONNEMANN, Guido. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on lca. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 28-39, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>.

OTHMAN, Murnira; LATIF, Mohd Talib; MOHAMED, Ahmad Fariz. Health impact assessment from building life cycles and trace metals in coarse particulate matter in urban office environments. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [S.L.], v. 148, p. 293-302, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.034>.

OVIIR, Anni. Life Cycle Assessment (LCA) in the Framework of the Next Generation Estonian Building Standard Building Certification as a Strategy for Enhancing Sustainability. *Energy Procedia*, [S.L.], v. 96, p. 351-362, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.159>.

PAGE, Michael Le. We can tell how much CO2 in air is from burning fossil fuels. *New Scientist*, [S.L.], v. 254, n. 3384, p. 15, abr. 2022. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0262-4079\(22\)00736-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0262-4079(22)00736-9).

PAI, Vibha; ELZARKA, Hazem. Whole building life cycle assessment for buildings: a case study on how to achieve the leed credit. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 297, p. 126501, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126501>.

PAMU, Yashwanth; KUMAR, V.s.s.; SHAKIR, Mohammad Abdul; UBBANA, Hemanjali. Life Cycle Assessment of a building using Open-LCA software. *Materials*

Today: Proceedings, [S.L.], v. 52, p. 1968-1978, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.621>.

PEARSON, Dustin D. et al. Modern sources of environmental ionizing radiation exposure and associated health consequences. *Genome Stability*, [S.L.], p. 603-619, 2021. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-85679-9.00032-5>.

PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano; CARVALHO, Eduardo Viviani de; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 112, p. 514-520, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.142>.

Pereira, S.W., 2004. SIBELI WARMLING PEREIRA ANÁLISE AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE PISOS CERÂMICOS. APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. Florianópolis, SC.

PINI, Martina et al. Life cycle assessment of a large, thin ceramic tile with advantageous technological properties. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 19, n. 9, p. 1567-1580, 22 jun. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-014-0764-8>.

PORTS.COM. Seaports: info, marketplace. 2021. Disponível em: <http://ports.com/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

POTTING, José; BLOK, Kornelis. Life-cycle assessment of four types of floor covering. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 201-213, jan. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0959-6526\(95\)00082-8](http://dx.doi.org/10.1016/0959-6526(95)00082-8).

PRYSHLAKIVSKY, Jonathan; SEARCY, Cory. Life Cycle Assessment as a decision-making tool: practitioner and managerial considerations. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 309, p. 127344, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127344>.

QUÍMICA CREDIE (Brasil). FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO FISPQ: produto: hipoclorito de sódio. Manaus, 2012. 11 p.

Disponível em: <https://micobacterias.ufc.br/wp-content/uploads/2018/09/fispq-hipoclorito-de-sodio.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

RABANI, Mehrdad et al. Life cycle analysis of GHG emissions from the building retrofitting: the case of a norwegian office building. *Building And Environment*, [S.L.], v. 204, p. 108159, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108159>.

REAP, John; ROMAN, Felipe; DUNCAN, Scott; BRAS, Bert. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 374-388, 14 maio 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0009-9>.

REBACV (org.). Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida. 2021. Disponível em: <https://redeacv.org.br/>. Acesso em: 27 jan. 2021.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W.-P.; SUH, S.; WEIDEMA, B.P.; PENNINGTON, D.W.. Life cycle assessment. *Environment International*, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 701-720, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>.

RIBEIRO, Manuel; VENTURA, José Manuel; LABRINCHA, J.A. Adjustment of spray-drying conditions for the production of grains used as water filtration beds. *Industrial Ceramics, Portugal*, v. 20, n. 3, p. 160-164, 1 mar. 2000.

ROS-DOSDÁ, Teresa; CELADES, Irina; MONFORT, Eliseo; FULLANA-I-PALMER, Pere. Environmental profile of Spanish porcelain stoneware tiles. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 23, n. 8, p. 1562-1580, 29 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-017-1377-9>.

ROS-DOSDÁ, Teresa; CELADES, Irina; VILALTA, Laura; FULLANA-I-PALMER, Pere; MONFORT, Eliseo. Environmental comparison of indoor floor coverings. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 693, p. 133519, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.325>.

ROS-DOSDÁ, Teresa; FULLANA-I-PALMER, Pere; MEZQUITA, Ana; MASONI, Paolo; MONFORT, Eliseo. How can the European ceramic tile industry meet the EU's low-carbon targets? A life cycle perspective. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 199, p. 554-564, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.176>.

SERANIT. Environmental Product Declaration: ceramic floor tiles. Turquia: International Epd System, 2020. 12 p. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd675>. Acesso em: 26 maio 2022.

SERANIT. Environmental Product Declaration: ceramic wall tiles. Turquia: International Epd System, 2020. 12 p. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd676>. Acesso em: 26 maio 2022.

SERRANO, J; ABELLÁN, J V; BRUSCAS, G M. Design of a machine to rectify ceramic tiles for laboratory tests. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S.L.], v. 1193, n. 1, p. 012087, 1 out. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1193/1/012087>.

SHU, Zhu; ZHOU, Jun; WANG, Yanxin. A novel approach of preparing press-powders for cleaner production of ceramic tiles. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 18, n. 10-11, p. 1045-1051, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.001>.

SIMAPRO. SimaPro. 2019. Disponível em: <<https://simapro.com/about/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

Soares, S.R., Warmling, S.P., Efigênia, F.B., 2002. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção civil. XXVIII Congr. Interam. Ing. Sanit. y Ambient.

SONNEMANN, Guido W.; SCHUHMACHER, Marta; CASTELLS, Francesc. Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 279-292, maio 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526\(02\)00028-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526(02)00028-8).

SOUZA, Danielle Maia de et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 137, p. 70-82, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>.

SOUZA, Danielle Maia de; LAFONTAINE, Mia; CHARRON-DOUCET, François; BENGGOA, Xavier; CHAPPERT, Benoit; DUARTE, Fernanda; LIMA, Luis. Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 89, p. 165-173, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.029>.

SOUZA, William Jeferson Vieira de; SCUR, Gabriela; HILSDORF, Wilson de Castro. Eco-innovation practices in the brazilian ceramic tile industry: the case of the santa gertrudes and criciúma clusters. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 199, p. 1007-1019, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.098>.

STEELE, K.. Life cycle assessment and environmental profiling of building materials. *Materials For Energy Efficiency And Thermal Comfort In Buildings*, [S.L.], p. 175-192, 2010. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9781845699277.2.175>.

STEPHAN, André; CRAWFORD, Robert H.; MYTTENAERE, Kristel de. Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 55, p. 592-600, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.008>.

SUGIYAMA, Hirokazu; FUKUSHIMA, Yasuhiro; HIRAO, Masahiko; HELLWEG, Stefanie; HUNGERBÜHLER, Konrad. Using Standard Statistics to Consider Uncertainty in Industry-Based Life Cycle Inventory Databases (7 pp). *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 399-405, 31 maio 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2005.05.211>.

SUH, Sangwon; LENZEN, Manfred; TRELOAR, Graham J.; HONDO, Hiroki; HORVATH, Arpad; HUPPES, Gjalt; JOLLIET, Olivier; KLANN, Uwe; KREWITT, Wolfram; MORIGUCHI, Yuichi. System Boundary Selection in Life-Cycle Inventories

Using Hybrid Approaches. Environmental Science & Technology, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 657-664, 18 dez. 2003. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es0263745>.

SURGELAS, F.m.a.. Life cycle analysis of ceramic versus painting materials applied to external walls. Journal For Housing Science, United States, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2010.

TIKUL, Nachawit; SRICHANDR, Panya. Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand. Journal Of The Ceramic Society Of Japan, [S.L.], v. 118, n. 1382, p. 887-894, 2010. Ceramic Society of Japan. <http://dx.doi.org/10.2109/jcersj2.118.887>.

TRIGUERO, Angela; MORENO-MONDÉJAR, Lourdes; DAVIA, María A.. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. Ecological Economics, [S.L.], v. 92, p. 25-33, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.009>.

TULADHAR, Rabin; YIN, Shi. Sustainability of using recycled plastic fiber in concrete. Use Of Recycled Plastics In Eco-Efficient Concrete, [S.L.], p. 441-460, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102676-2.00021-9>.

TÜRKMEN, Burçin Atılğan; ÖZBILEN, Şeyma Karahan; DUHBACđ, Tuba Budak. Improving the sustainability of ceramic tile production in Turkey. Sustainable Production And Consumption, [S.L.], v. 27, p. 2193-2207, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.007>.

TWO SIDE BRASIL. (org.). Reciclagem de Embalagens de Papel e Economia Circular. 2021. Disponível em: <https://twosides.org.br/BR/reciclagem-de-embalagens-de-papel-e-economia-circular/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

UNFCCC. United Nations Climate Change. 2020. Disponível em: <https://unfccc.int/>. Acesso em: 17 dez. 2020

USGBC. U.S. Green Building Council. Disponível em: <https://www.usgbc.org/>. Acesso em: 23 jul. 2021.

VAN STIJN, A.; EBERHARDT, L.C. Malabi; JANSEN, B. Wouterszoon; MEIJER, A.. A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 174, p. 105683, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105683>.

VAN ZELM, Rosalie; PREISS, Philipp; VAN GOETHEM, Thomas; VAN DINGENEN, Rita; HUIJBREGTS, Mark. Regionalized life cycle impact assessment of air pollution on the global scale: damage to human health and vegetation. *Atmospheric Environment*, [S.L.], v. 134, p. 129-137, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.044>.

VITRA. Environmental Product Declaration: porcelain tile. Turquia: International Epd System e Ibu, 2019. 18 p. Disponível em: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/12415>. Acesso em: 26 maio 2022.

VITRA. Environmental Product Declaration: wall tile. Turquia: International Epd System e Ibu, 2019. 18 p. Disponível em: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/12416>. Acesso em: 26 maio 2022.

VOLTA, Anna et al. Ecotoxicological effects of atmospheric particulate produced by braking systems on aquatic and edaphic organisms. *Environment International*, [S.L.], v. 137, p. 105564, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.105564>.

WANG, C. Y.; WEI, X.; YUAN, H.. Polishing of ceramic tiles. *Materials And Manufacturing Processes*, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 401-413, 27 jun. 2002. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1081/amp-120005385>.

WEIDEMA, Bo Pedersen; WESNÆS, Marianne Suhr. Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 4, n. 3-4, p. 167-174, jan. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526\(96\)00043-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526(96)00043-1).

WEIDEMA, Bo. Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assessment. *Journal Of Industrial Ecology*, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 11-33, jun. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1162/108819800300106366>.

WEN, Thong Jia; SIONG, Ho Chin; NOOR, Z.Z.. Assessment of embodied energy and global warming potential of building construction using life cycle analysis approach: case studies of residential buildings in Iskandar Malaysia. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 93, p. 295-302, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.002>.

XU, Changqing; JIA, Mingyi; XU, Ming; LONG, Ying; JIA, Haifeng. Progress on environmental and economic evaluation of low-impact development type of best management practices through a life cycle perspective. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 213, p. 1103-1114, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.272>.

YE, Liping; HONG, Jinglan; MA, Xiaotian; QI, Congcong; YANG, Donglu. Life cycle environmental and economic assessment of ceramic tile production: a case study in China. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 189, p. 432-441, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.112>.

ZANELLI, Chiara; CONTE, Sonia; MOLINARI, Chiara; SOLDATI, Roberto; DONDI, Michele. Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 168, p. 105289, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105289>.

ZHANG, Xihong; BISWAS, Wahidul K.. Development of eco-efficient bricks – A life cycle assessment approach. *Journal Of Building Engineering*, [S.L.], v. 42, p. 102429, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102429>.

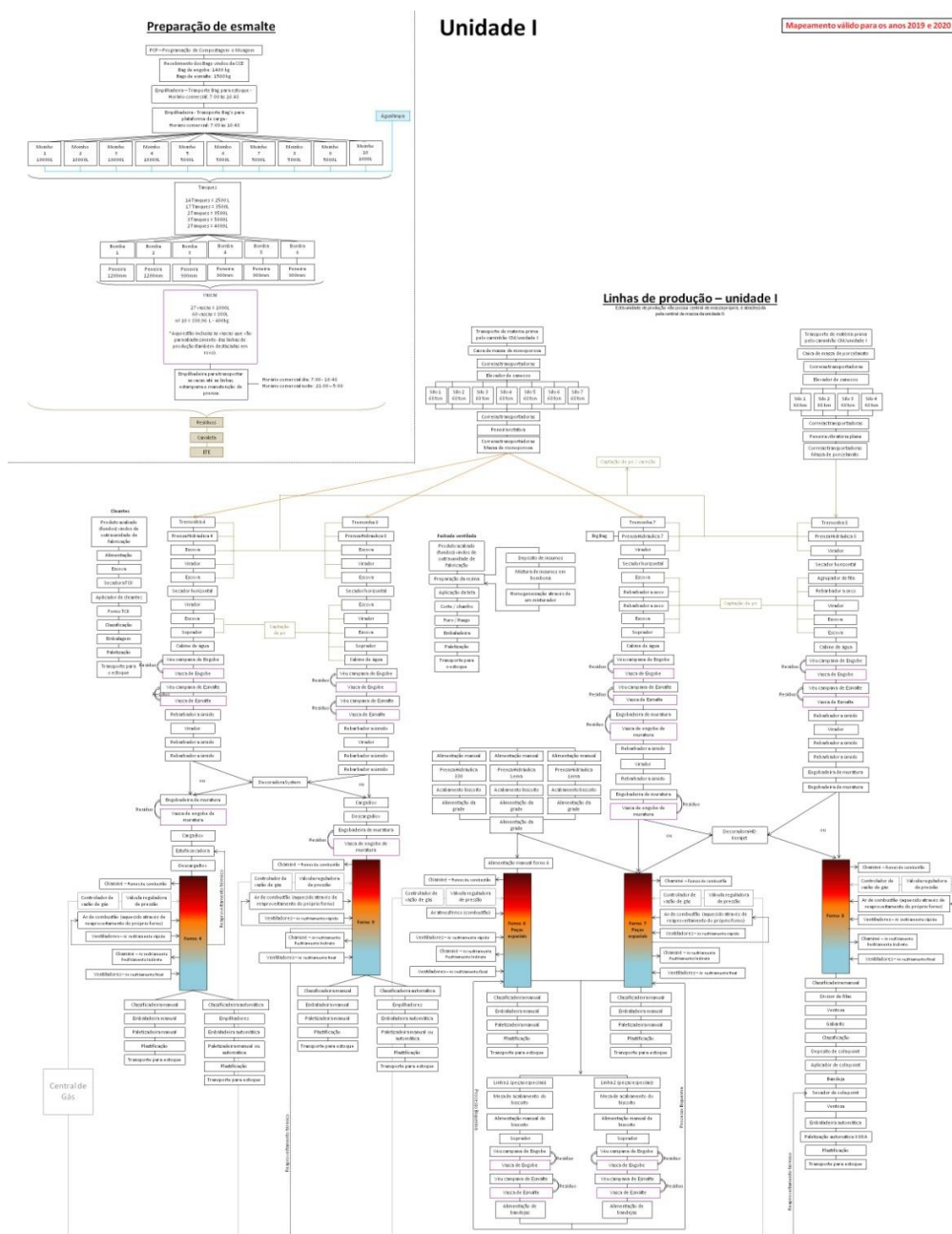
ANEXO (S)

ANEXO A – MATERIAIS EXTRAS

A.1 MAPEAMENTO DAS UNIDADES PRODUTIVAS

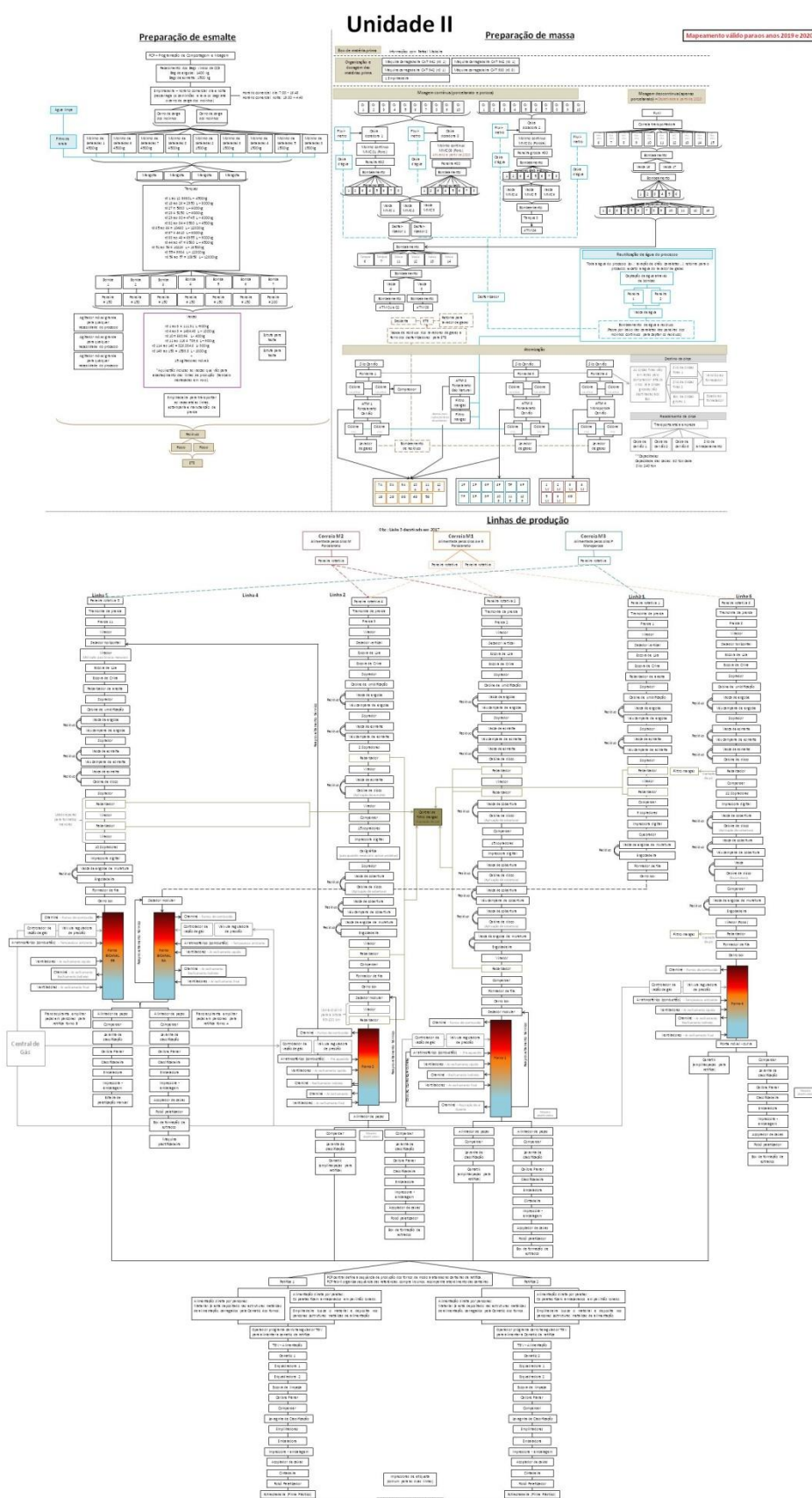
Aqui serão inseridos os mapeamentos das 5 unidades produtivas da empresa estudada, conforme item 3.2.1.

Figura 59 - Mapeamento da unidade produtiva I



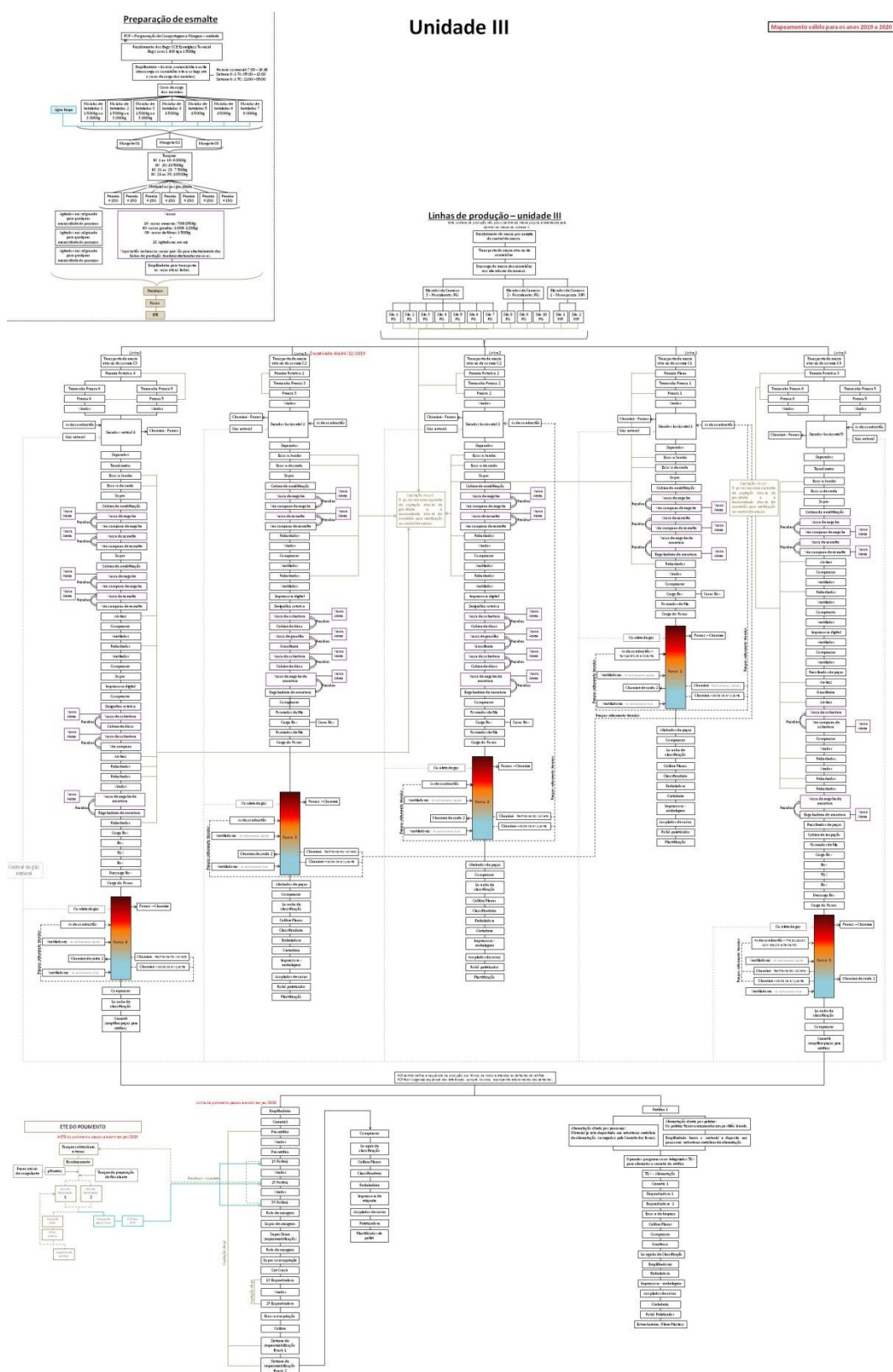
Fonte: Autora (2022).

Figura 60 - Mapeamento da unidade produtiva II



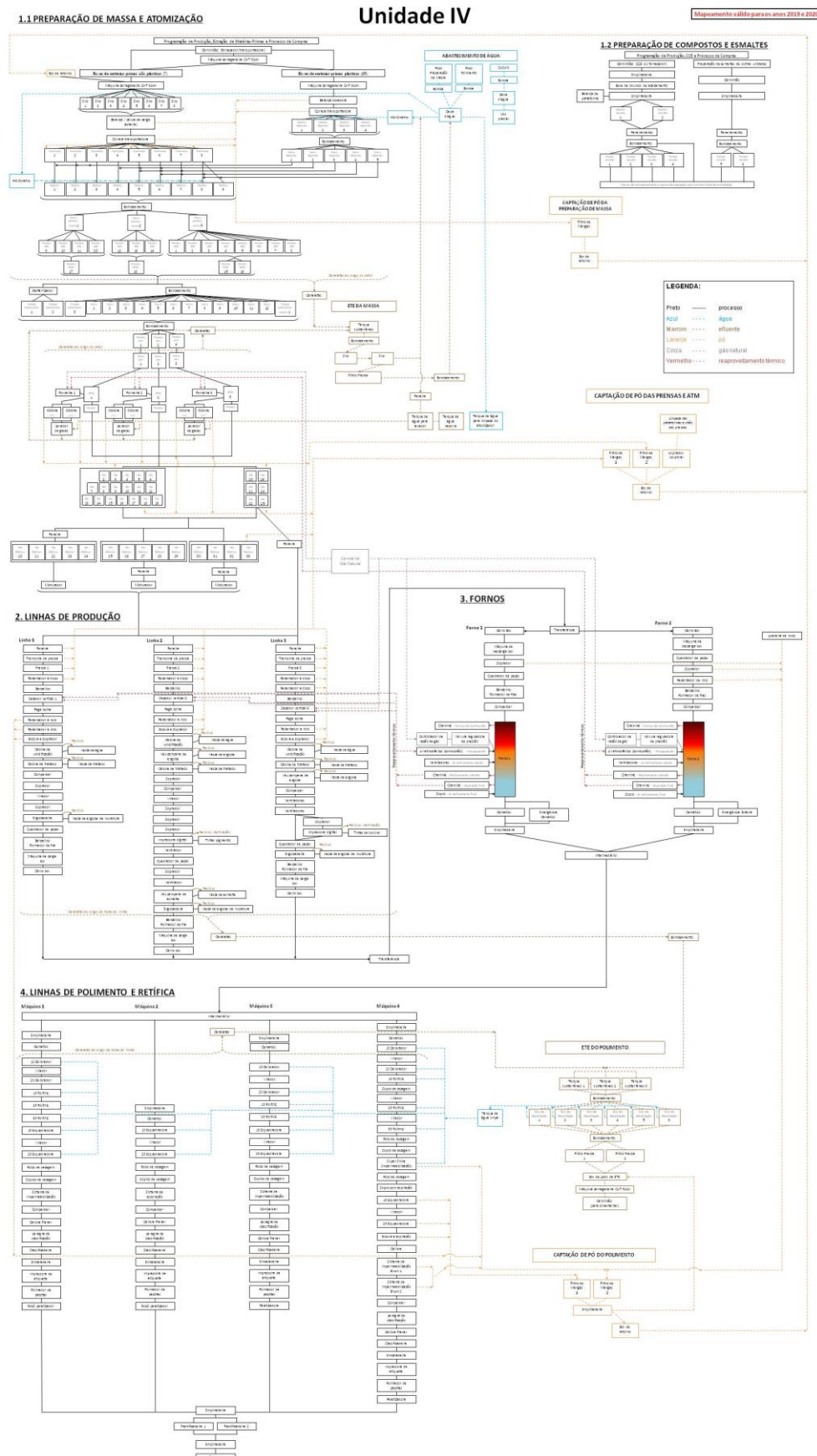
Fonte: Autora (2022).

Figura 61 - Mapeamento da unidade produtiva III



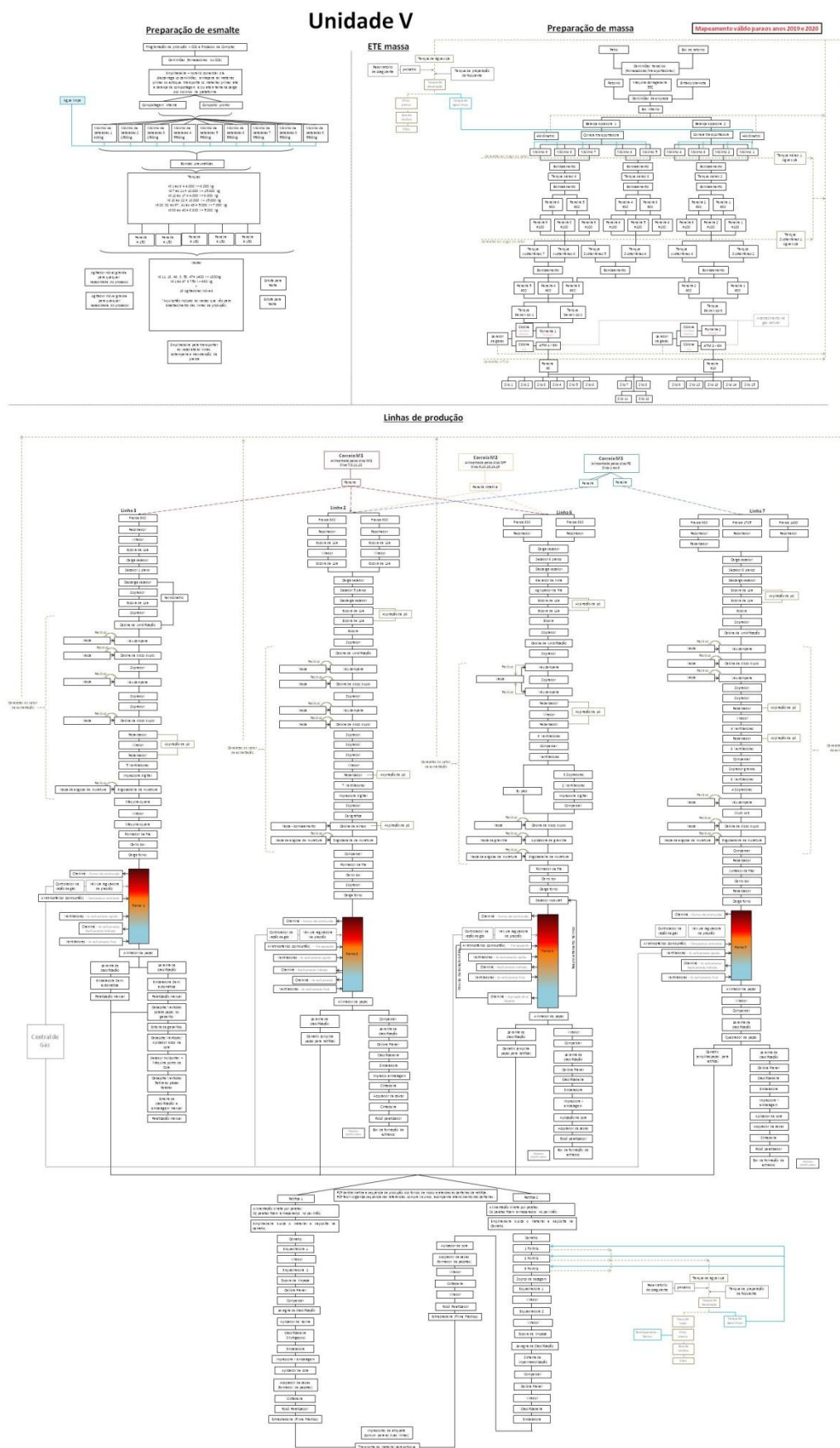
Fonte: Autora (2022).

Figura 62 - Mapeamento da unidade produtiva IV



Fonte: Autora (2022).

Figura 63 - Mapeamento da unidade produtiva V



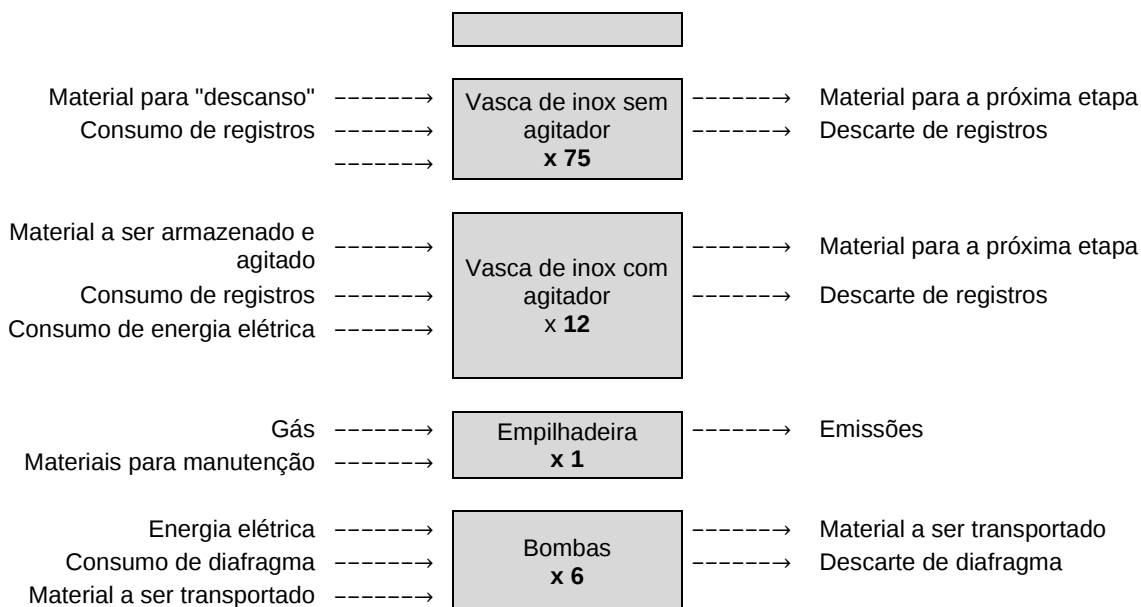
Fonte: Autora (2022).

A.2 RELATÓRIOS DE ENTRADAS E SAÍDAS

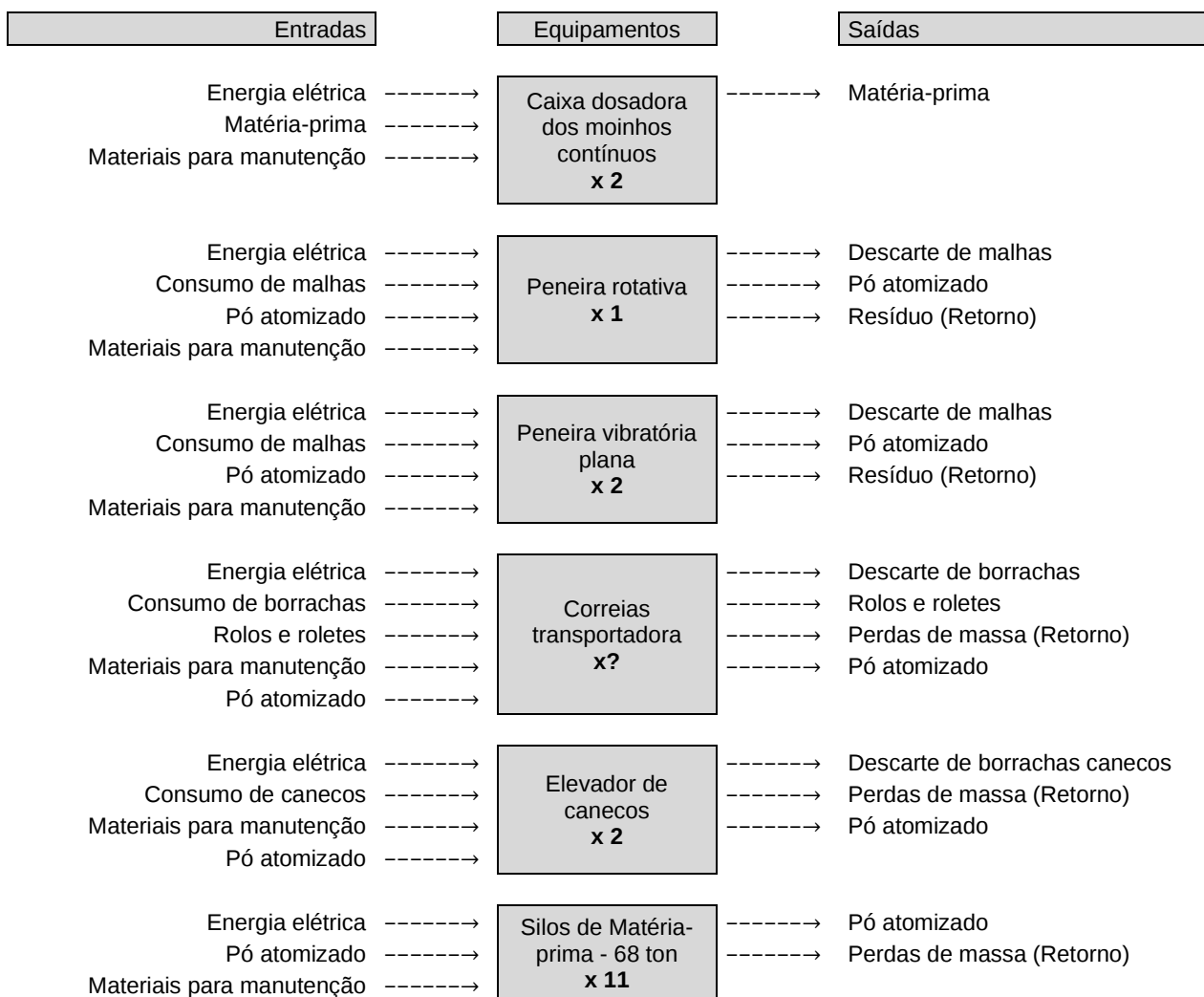
Aqui serão inseridos os relatórios de entradas e saídas das 5 unidades produtivas da empresa estudada, divididas pelas etapas de produção, conforme item 3.2.2.

Tabela 24 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva I

PREPARAÇÃO DE ESMALTES		
Entradas	Equipamentos	Saídas
Consumo de Eixos ----->	Moinhos 10.000L x 4	-----> Resíduos
Consumo de Polias ----->		-----> Descarte de revestimento do moinho
Energia Elétrica ----->		-----> Material moído
Materiais para manutenção ----->		-----> Descarte de polias
Bolas de Alumina ----->		-----> Descarte de tampas
Tampas de borrachas grandes e pequenos ----->		-----> Descarte de pinos
Pinos ----->		
Revestimento do moinho ----->		
Água ----->		
Matérias-primas ----->		
Consumo de Eixos ----->	Moinhos 5.000L x 6	-----> Resíduos
Consumo de Polias ----->		-----> Descarte de revestimento do moinho
Energia Elétrica ----->		-----> Material moído
Materiais para manutenção ----->		-----> Descarte de polias
Bolas de Alumina ----->		-----> Descarte de tampas
Tampas de borrachas grandes e pequenos ----->		-----> Descarte de pinos
Pinos ----->		
Revestimento do moinho ----->		
Água ----->		
Matérias-primas ----->		
Material para armazenamento ----->	Tanques x 38	-----> Material armazenado para a próxima etapa
Consumo de energia elétrica ----->		-----> Descarte de redutores
Consumo de redutores ----->		-----> Descarte de correias
Consumo de correias ----->		
Material para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Peneiras x 6	-----> Descarte de malhas
Consumo de malhas ----->		-----> Água
Consumo de borracha de vedação ----->		-----> Resíduo (Retorno)
Materiais para manutenção ----->		-----> Material peneirado
Material a ser peneirado ----->		



ARMAZENAMENTO DE MATÉRIA-PRIMA

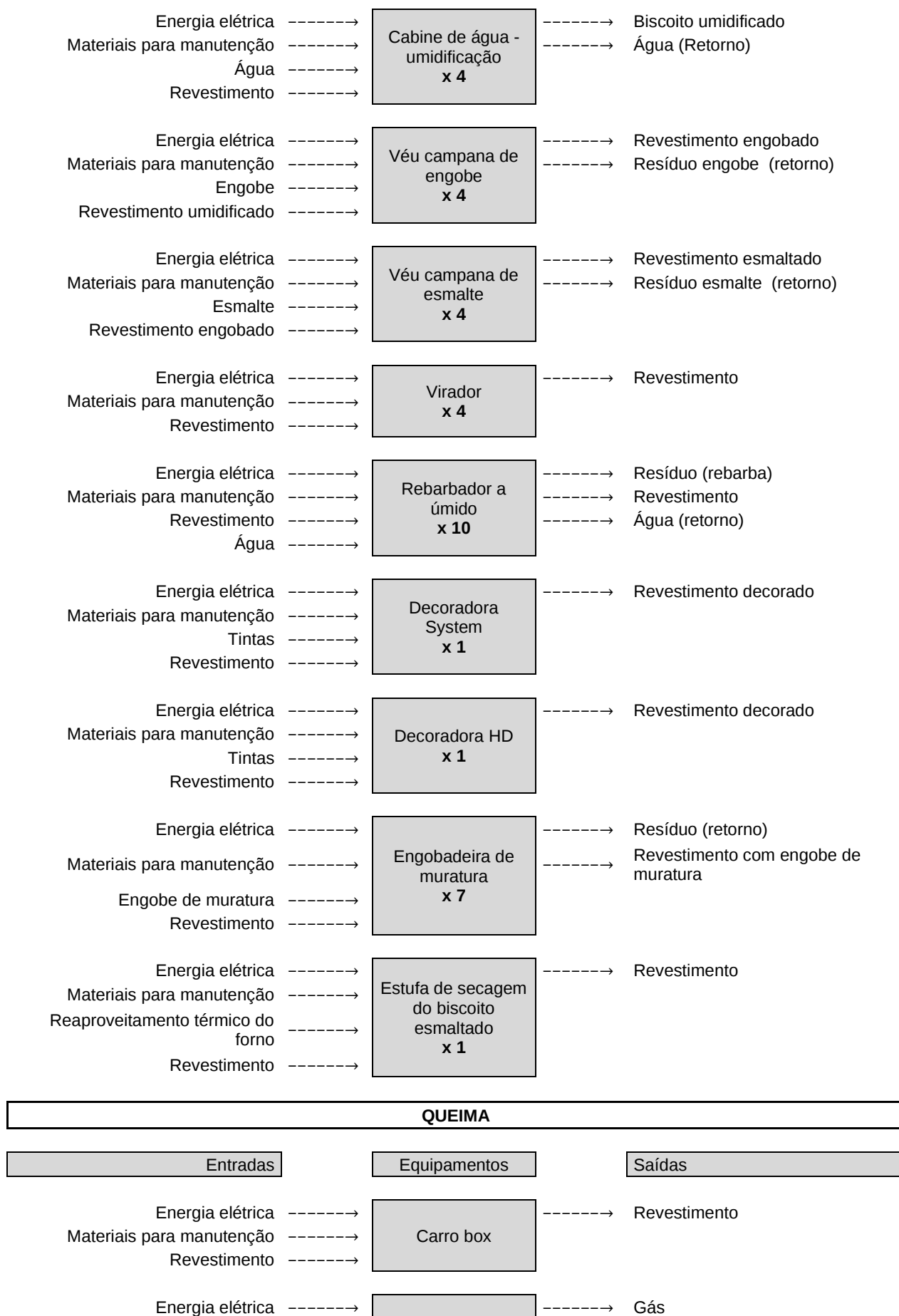


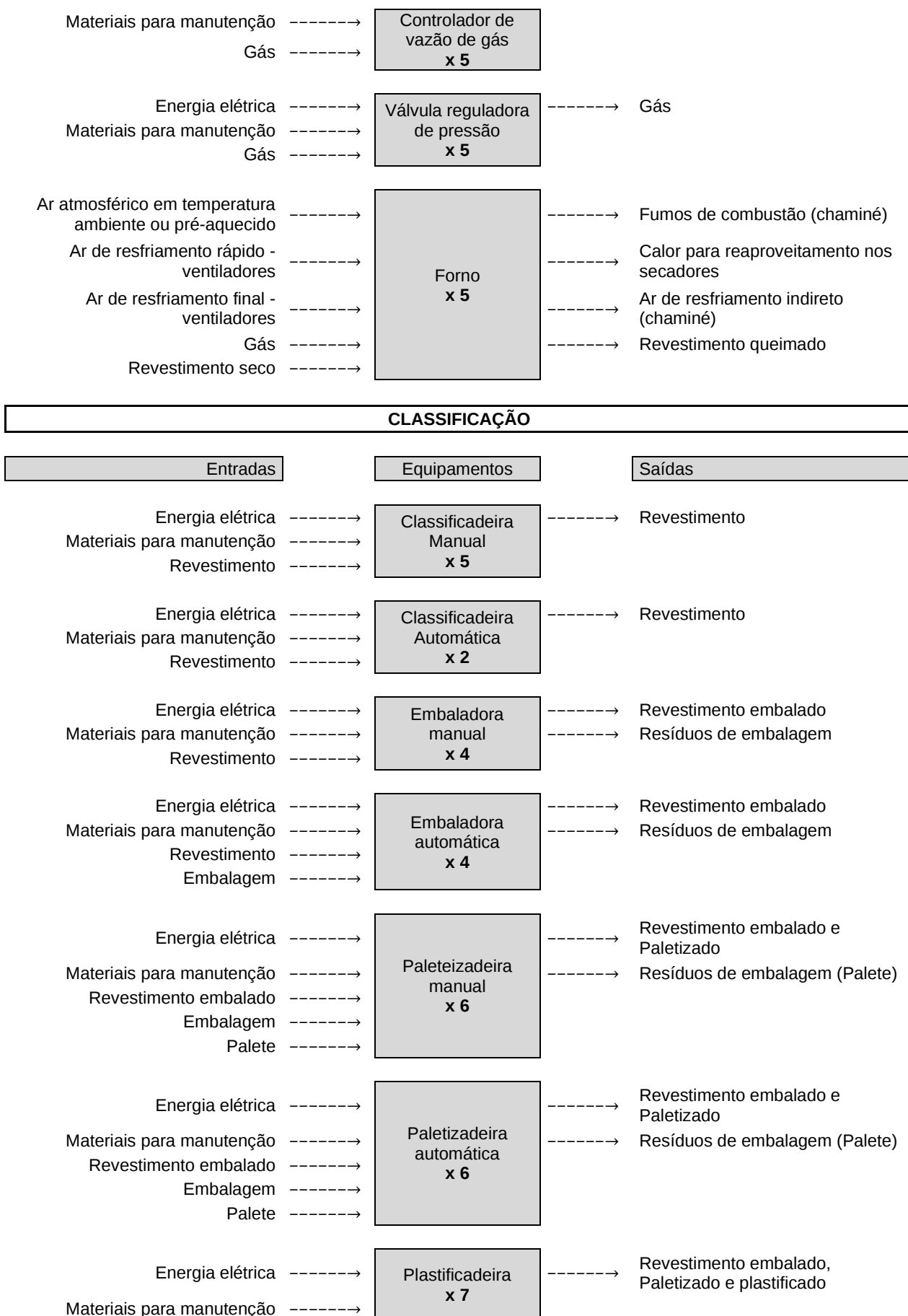
PRENSAGEM

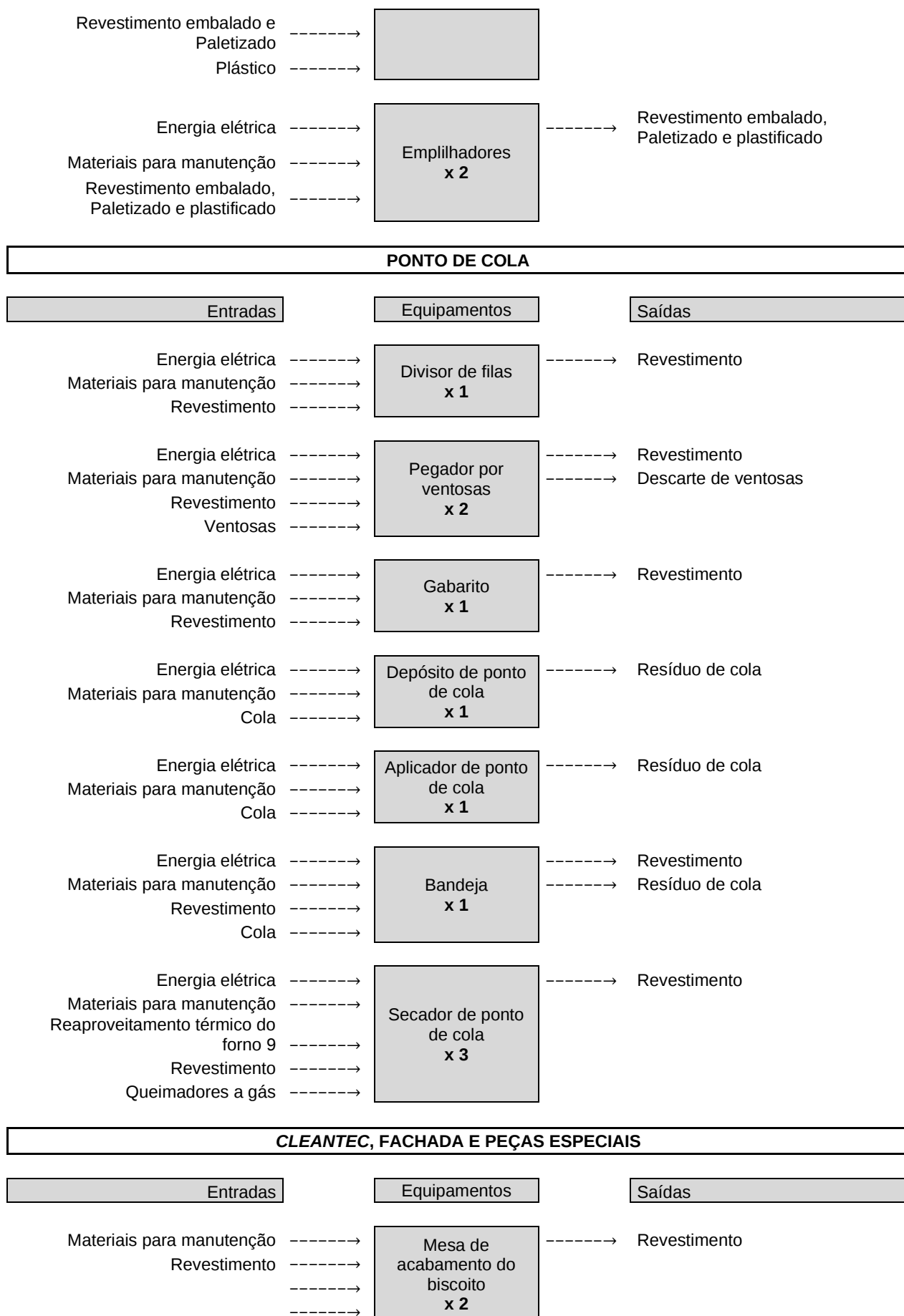
Entradas	Equipamentos	Saídas
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Pó atomizado peneirado ----->	Tremonha x 7	Pó atomizado -----> Resíduo (Retorno) ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Pó atomizado peneirado -----> Consumo de big bags ----->	Big bag x 1	Pó atomizado -----> Resíduo (Retorno) -----> Descarte de big bags ----->
Pó atomizado -----> Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Consumo de estampos ----->	Prensa x 4	Descarte de estampos -----> Revestimento prensado ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento prensado ----->	Virador x 7	Revestimento prensado ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Combustível -----> Revestimento prensado ----->	Secador horizontal x 3	Revestimento seco ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento seco -----> Consumo de escovas ----->	Escova x 11	Descarte de escovas -----> Revestimento escovado -----> Resíduo de pó ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento escovado ----->	Rebarbador a seco x 3	Resíduo (rebarba) -----> Revestimento ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Soprador x 3	Revestimento ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Grade de alimentação x 1	Revestimento ----->
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Agrupador de fila x 1	Revestimento ----->
Energia elétrica -----> Consumo de mangas -----> Pó ----->	Filtro mangas - captação de pó x 3	Emissões -----> Descarte de mangas -----> Pó - resíduo (Retorno) ----->

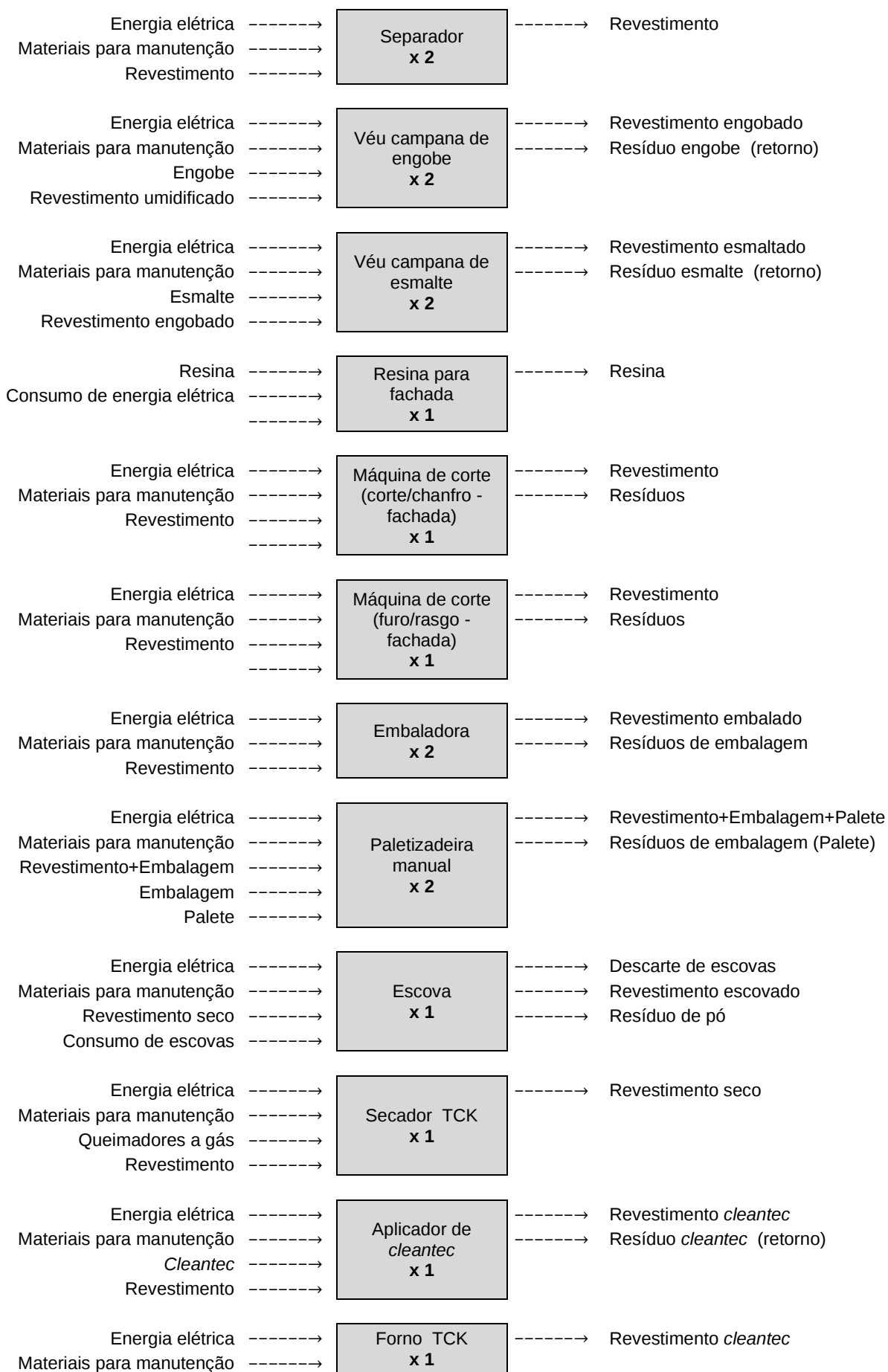
ESMALTAÇÃO

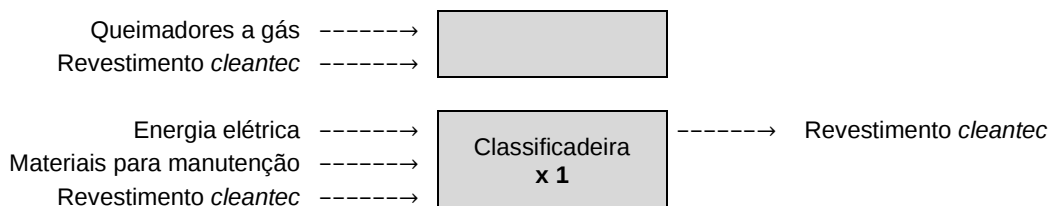
Entradas	Equipamentos	Saídas
----------	--------------	--------







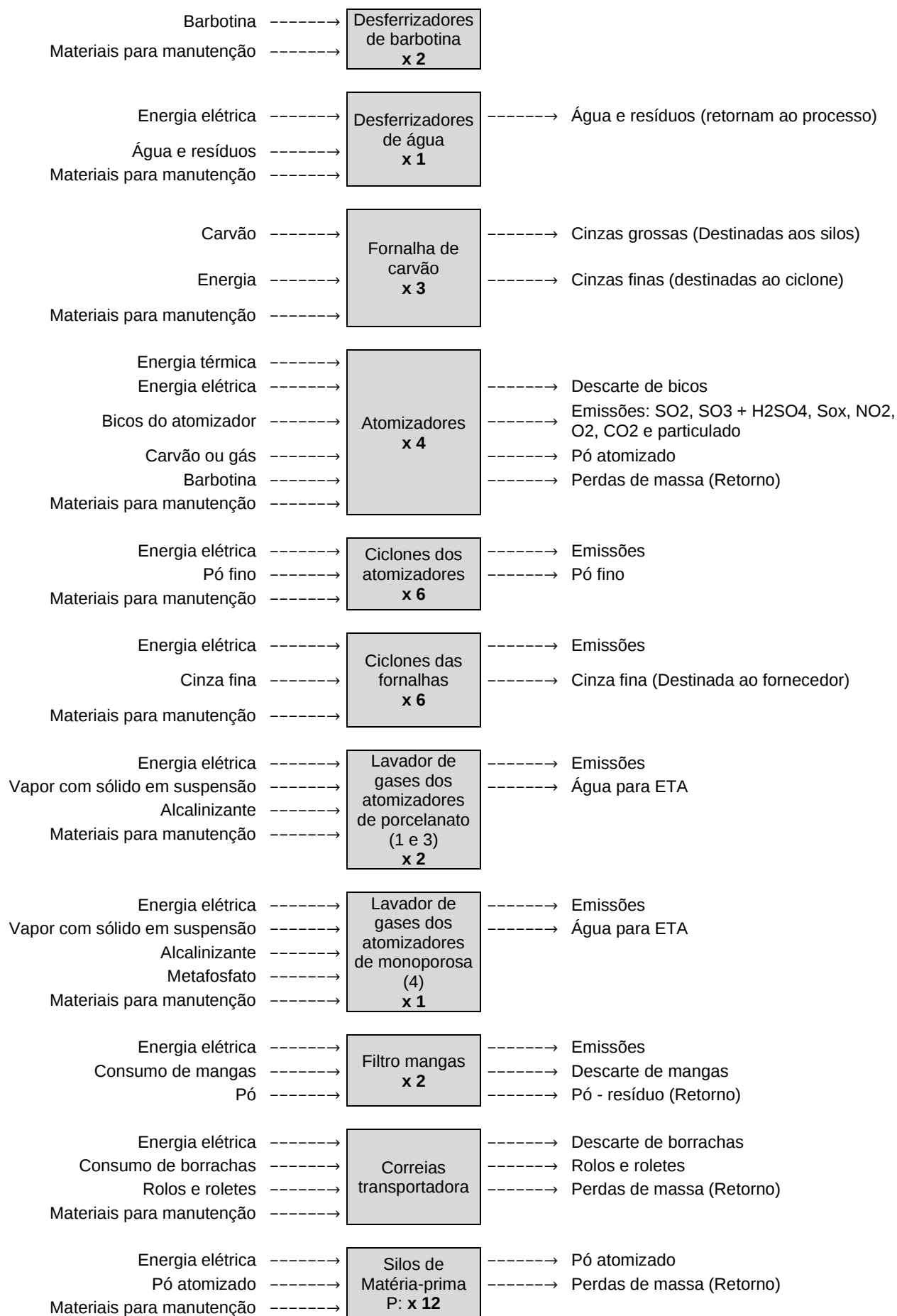


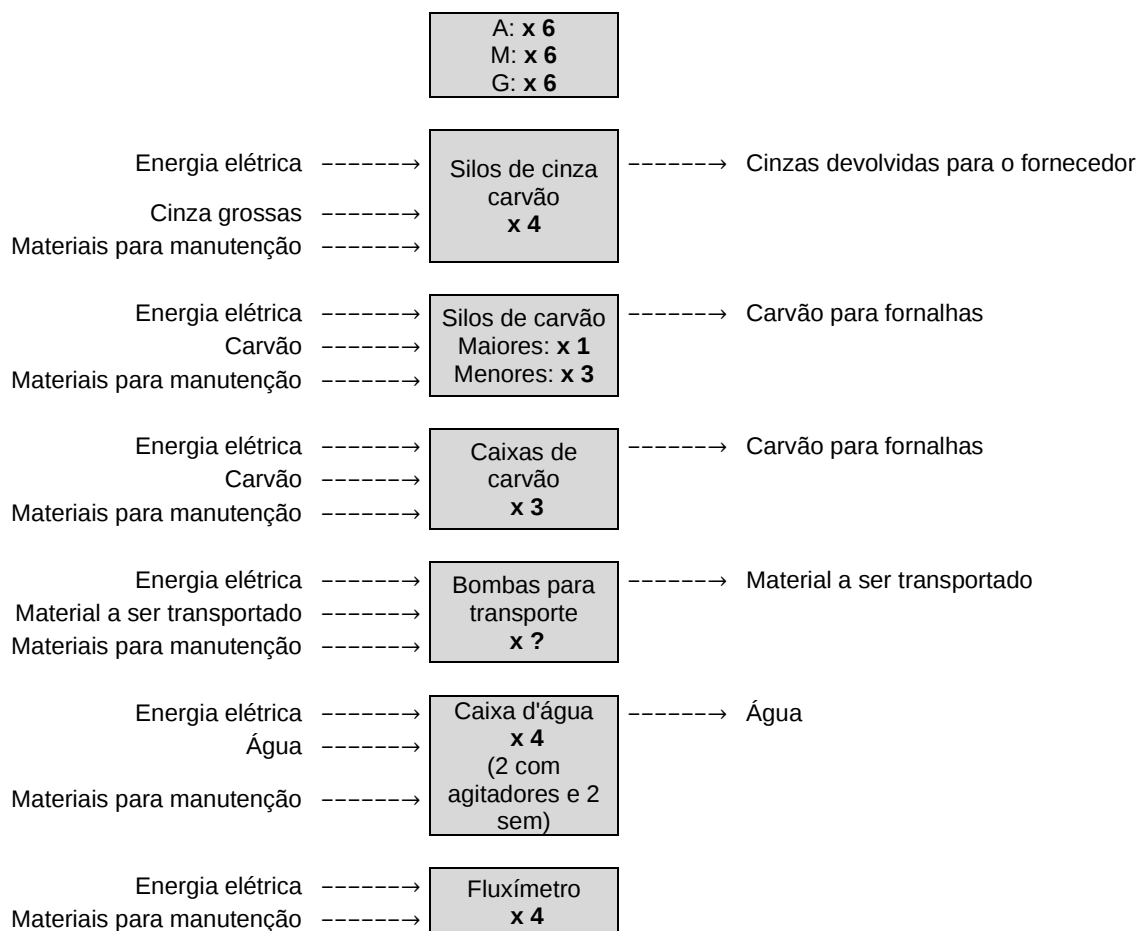


Fonte: Autora (2022).

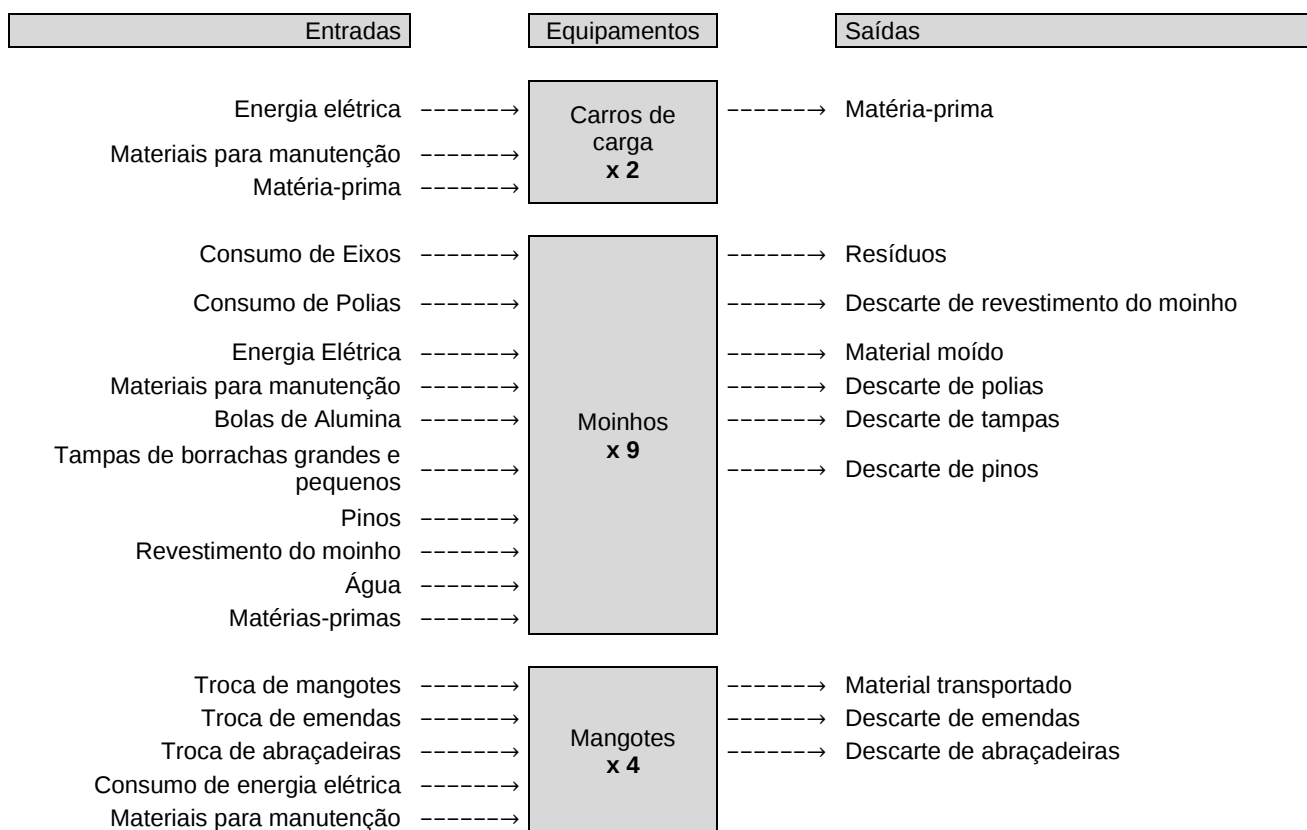
Tabela 25 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva II

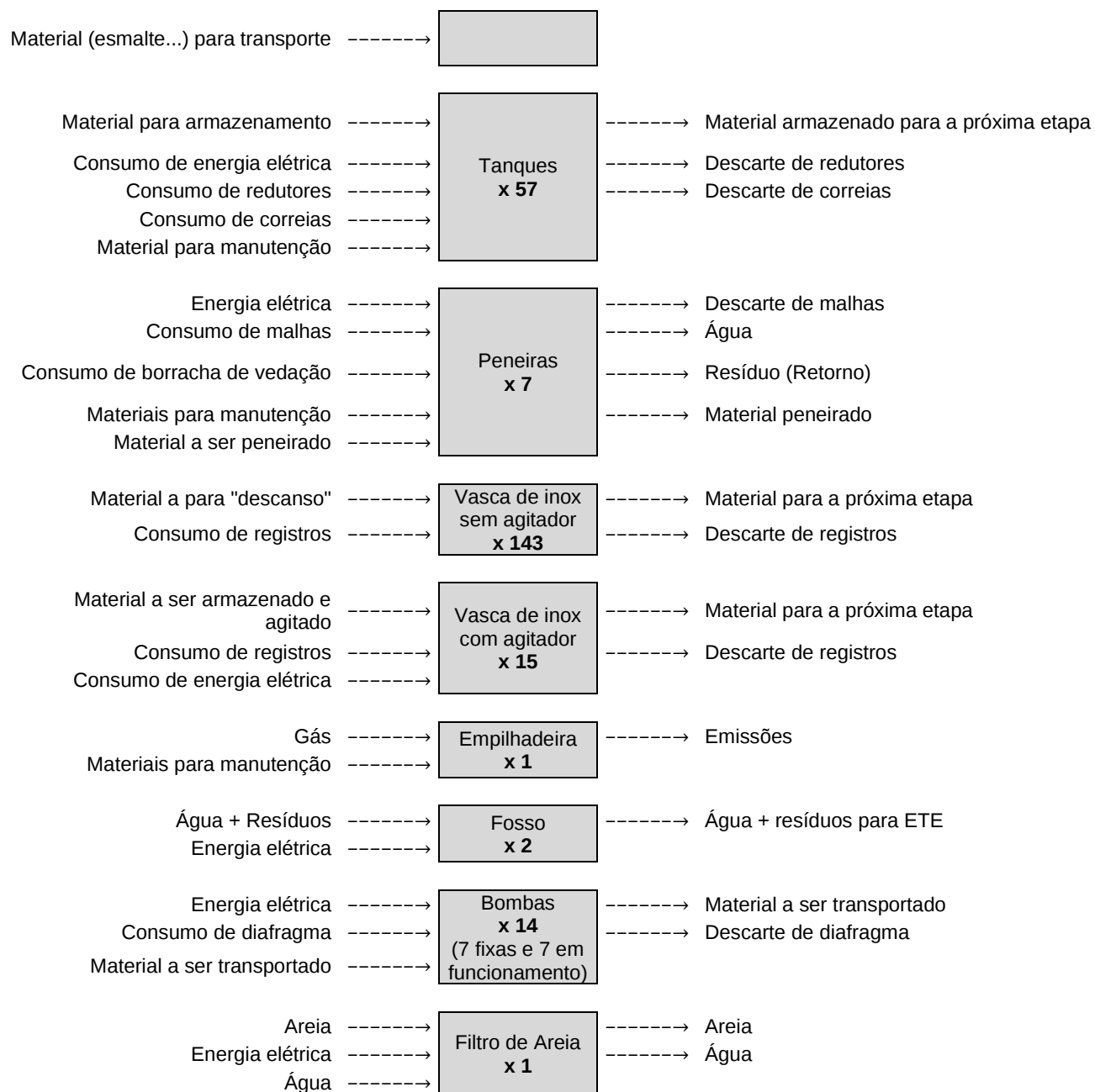
PREPARAÇÃO DE MASSA		
Entradas	Equipamentos	Saídas
Combustível ----->	Máquina carregadeira x 4	Emissões (queima do combustível) ----->
Materiais para manutenção ----->		Matéria-prima ----->
Matéria-prima ----->		
Gás ----->	Empilhadeira x 1	Emissões ----->
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Caixa dosadora dos moinhos contínuos x 23	Matéria-prima ----->
Matéria-prima ----->		
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Moinhos Contínuos: x 3 Descontínuos: x 10	Resíduos - Descarte (bolas, ferro, pedras...) ----->
Bolas ----->		Descarte de revestimento do moinho ----->
Revestimento do moinho ----->		Barbotina ----->
Matéria-prima, água e silicato ----->		
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Peneiras de barbotina x 47	Descarte de malhas ----->
Consumo de malhas ----->		Barbotina ----->
Barbotina ----->		Resíduo (Retorno) ----->
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Peneiras de água x 2	Descarte de malhas ----->
Consumo de malhas ----->		Água ----->
Água ----->		Resíduo (Retorno) ----->
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Vascas de barbotina x 15	Barbotina ----->
Barbotina ----->		
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	Vascas de água x 2	Água (retorno) ou Resíduos (ETA) ----->
Água ou resíduos ----->		
Materiais para manutenção ----->		
Energia elétrica ----->	[]	Barbotina ----->



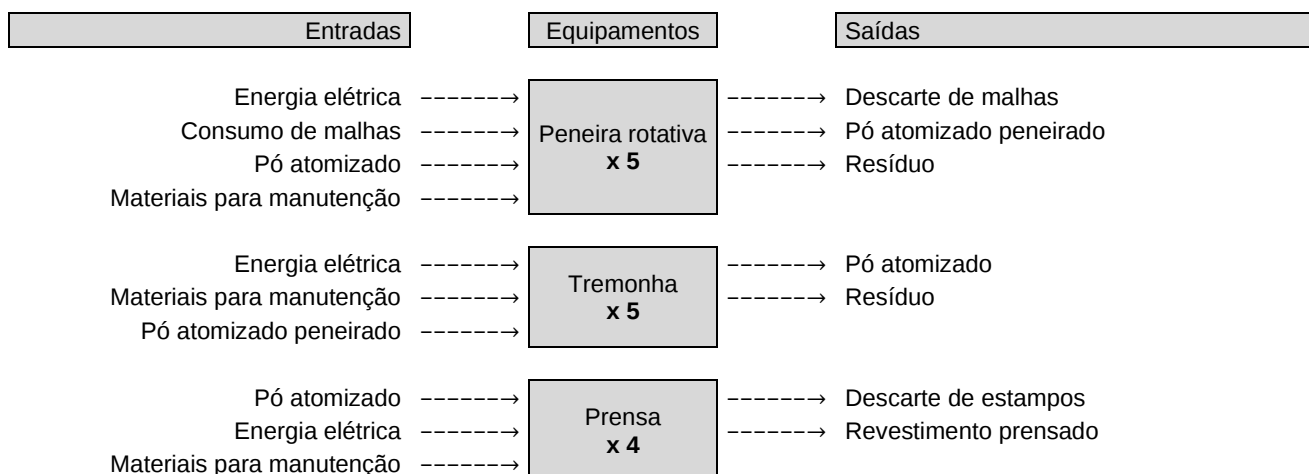


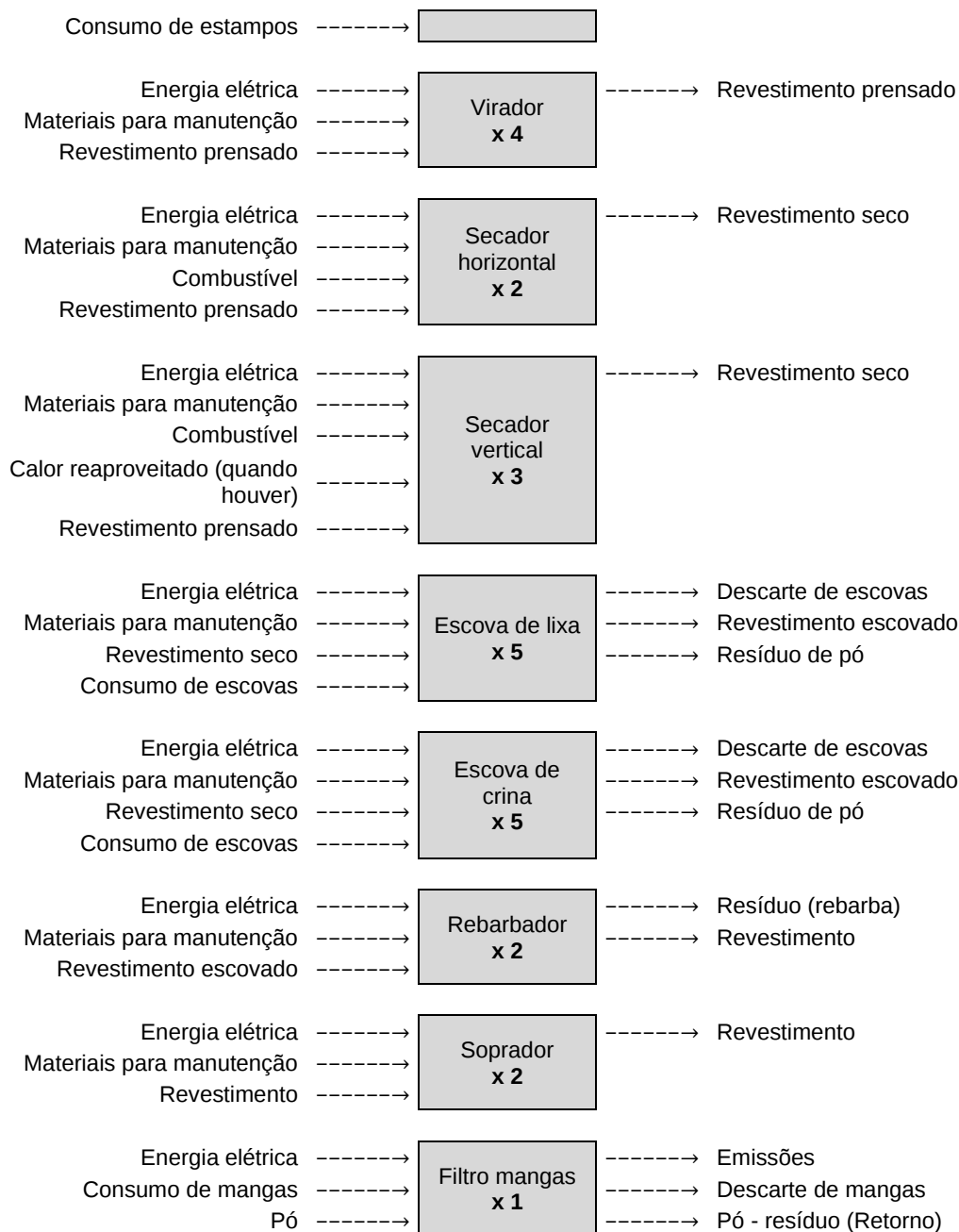
PREPARAÇÃO DE ESMALTE



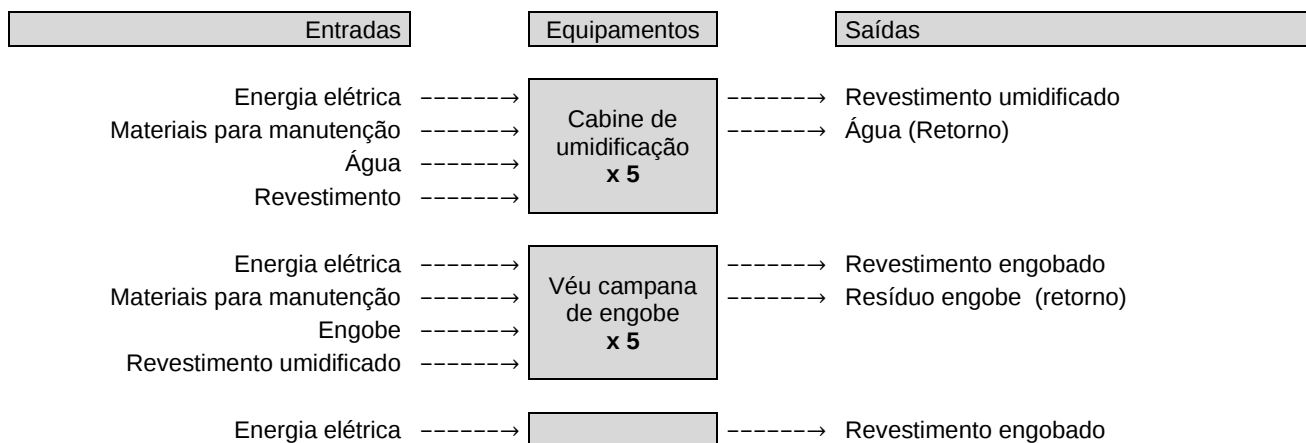


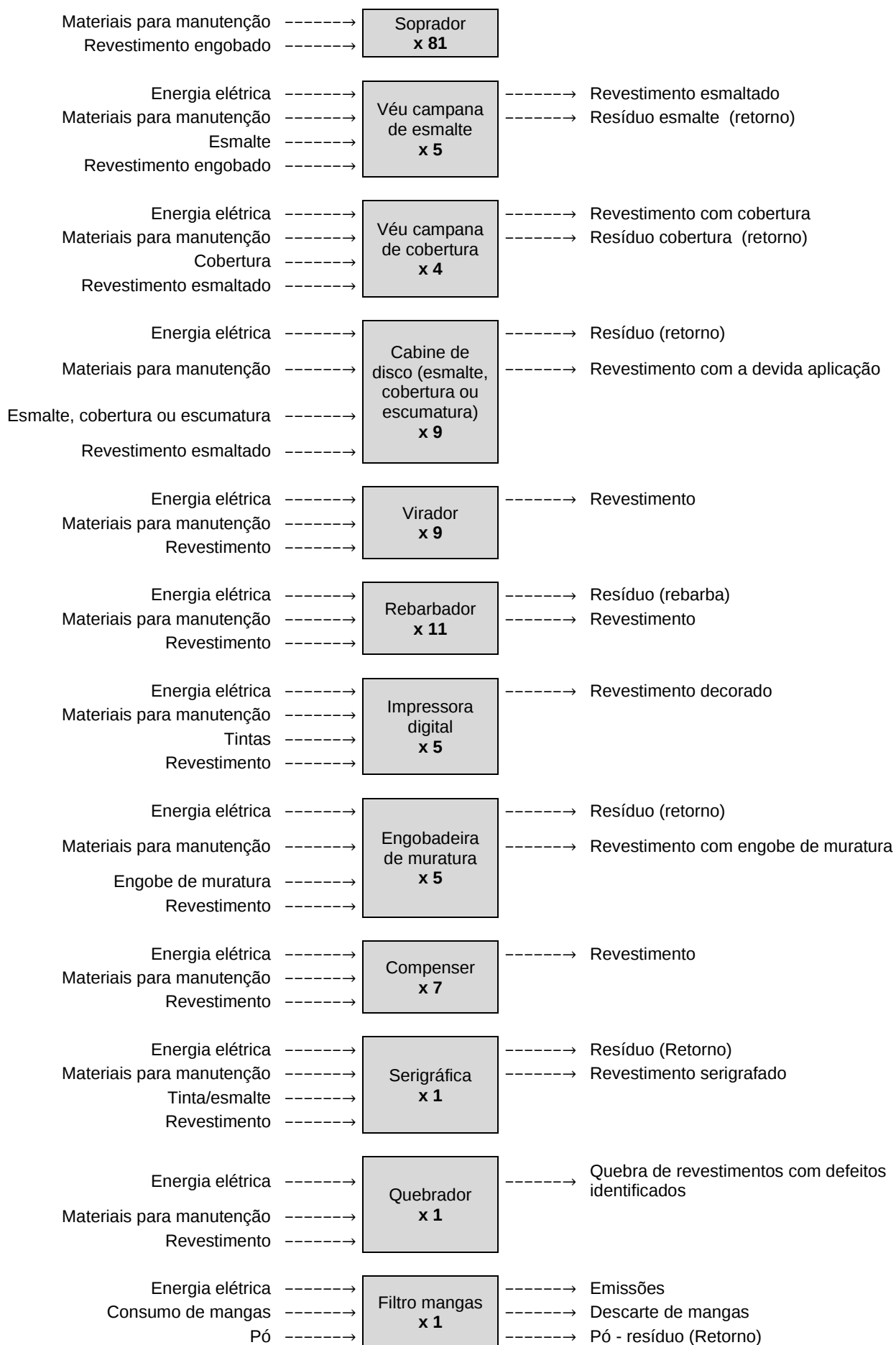
PRENSAGEM

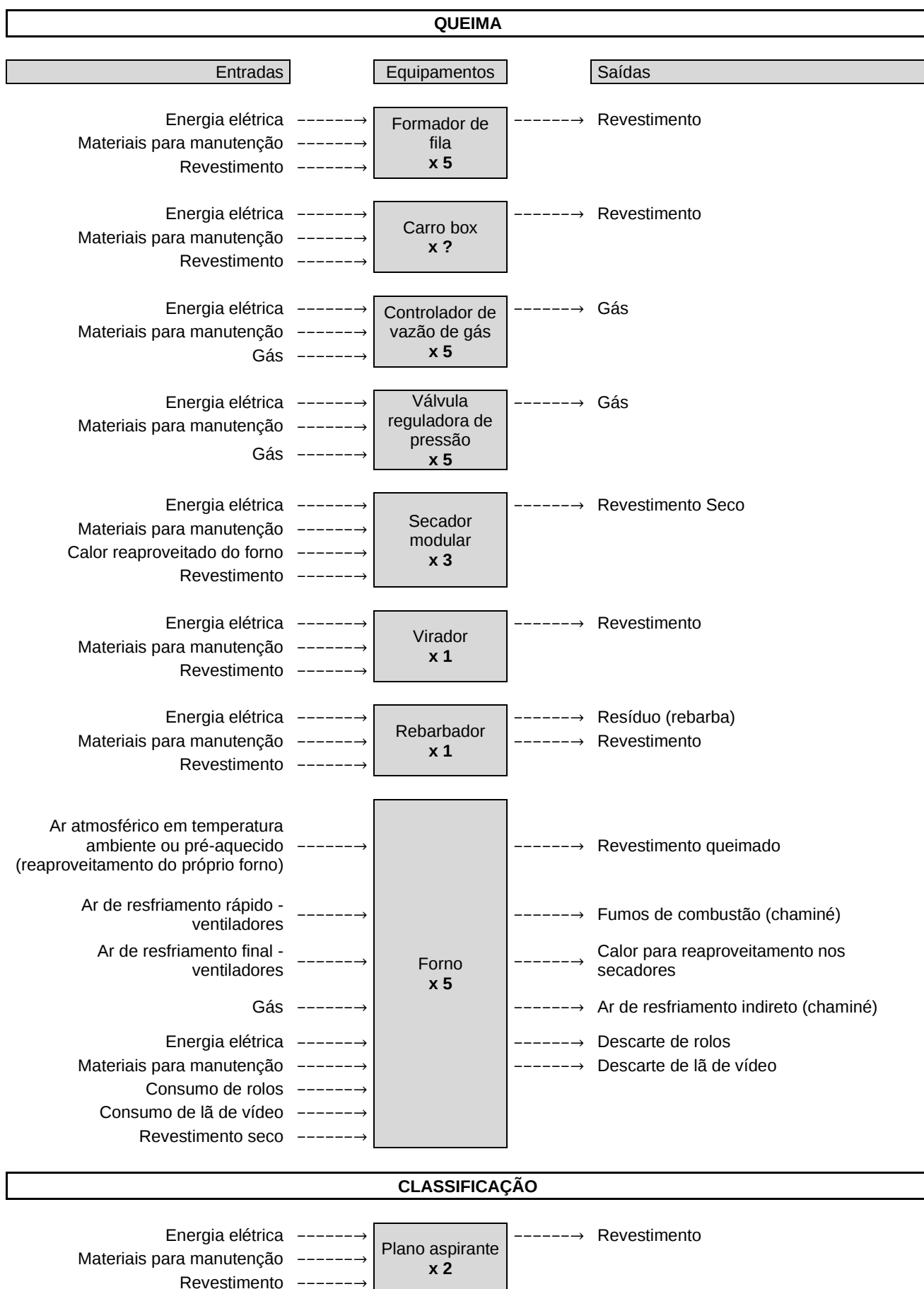


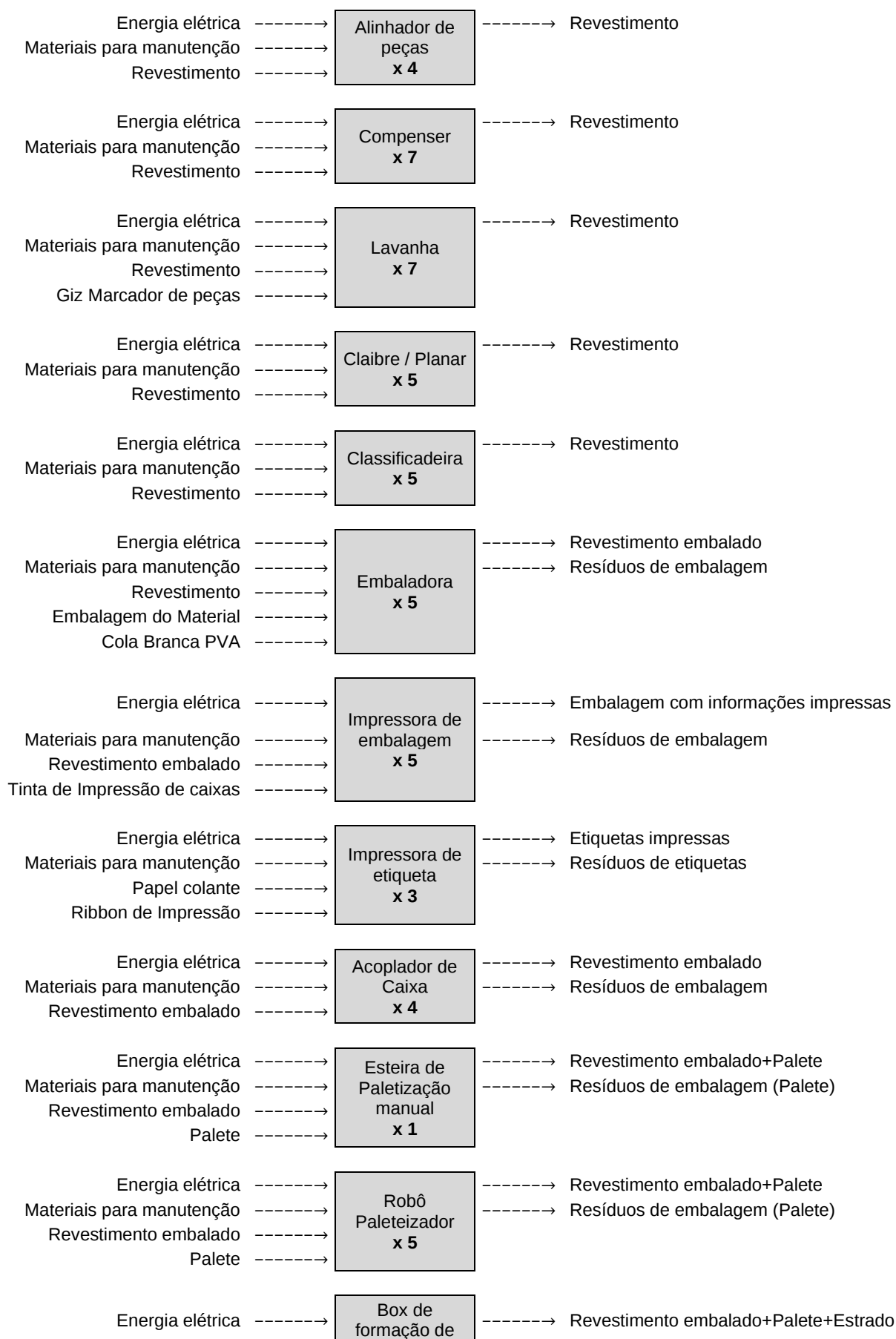


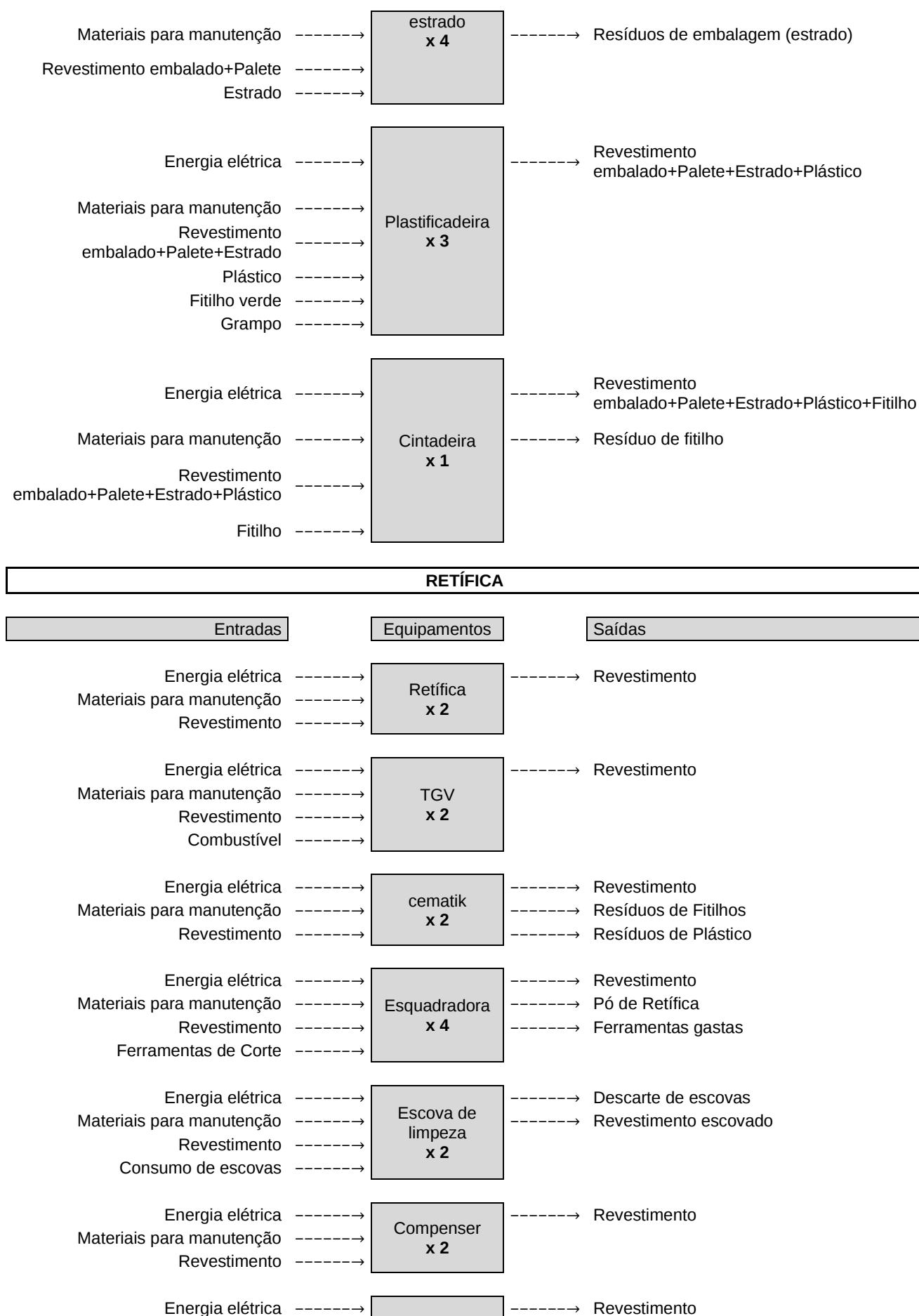
ESMALTAÇÃO

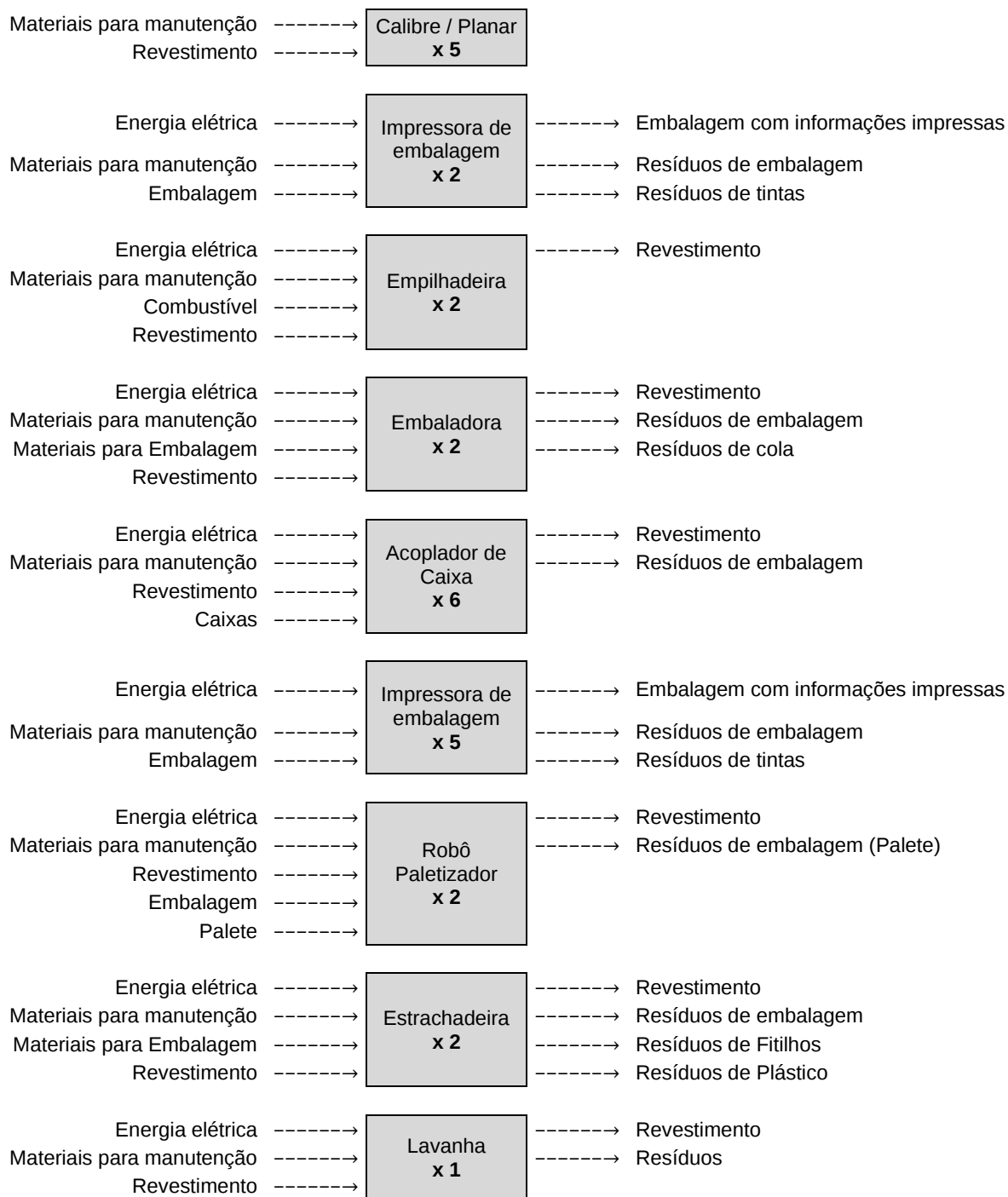








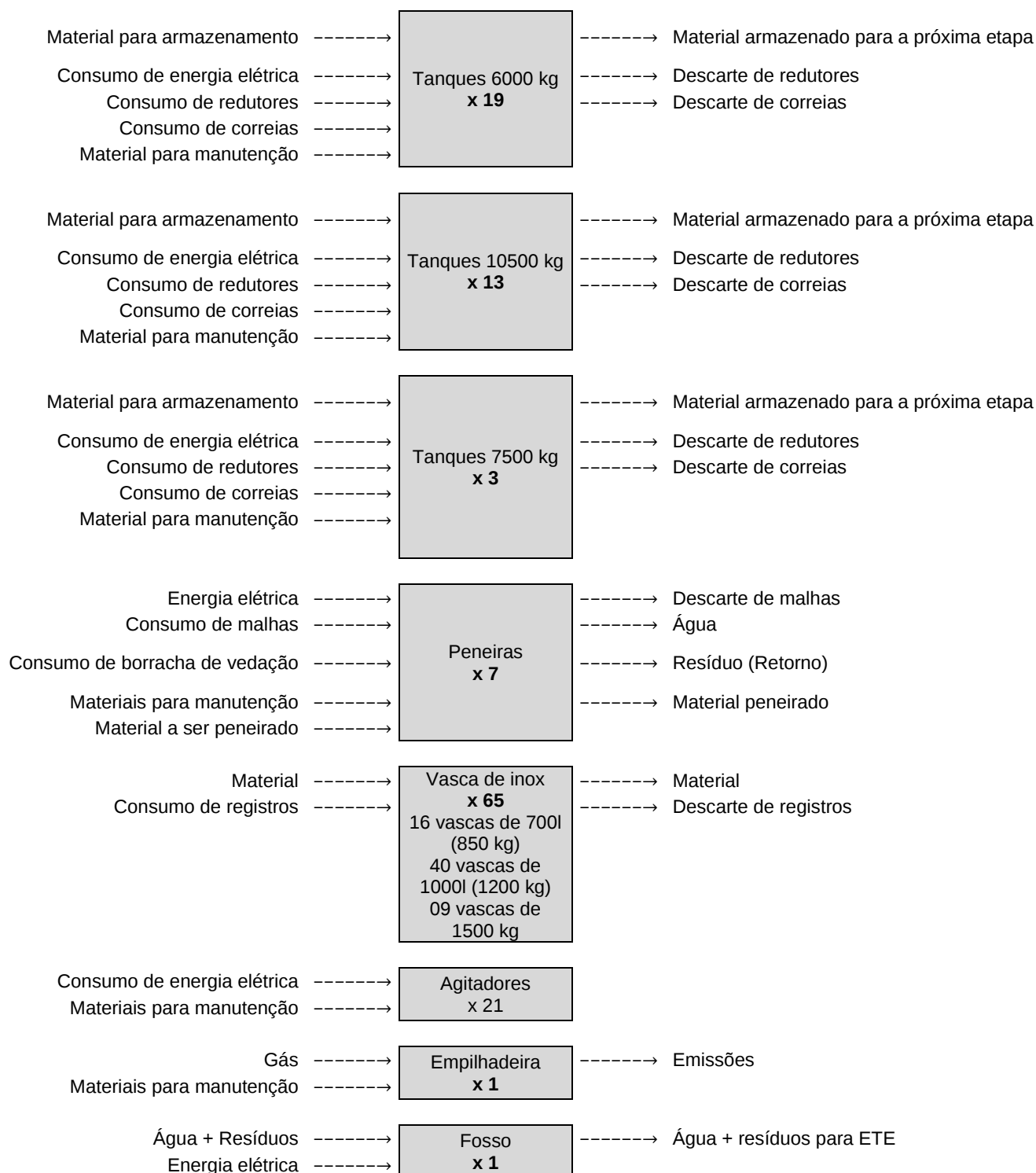




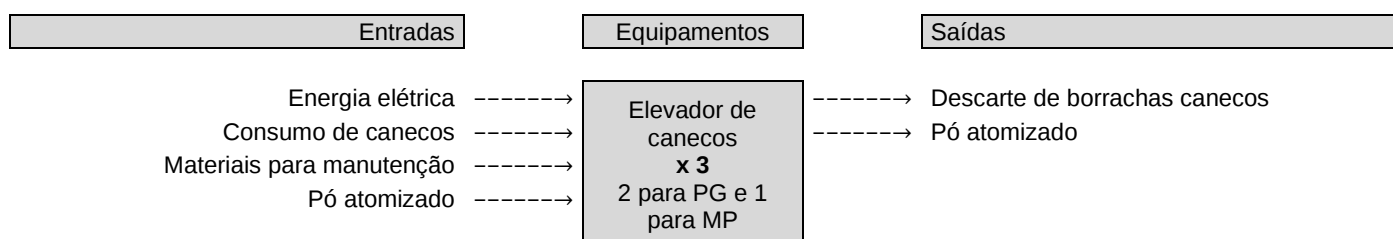
Fonte: Autora (2022).

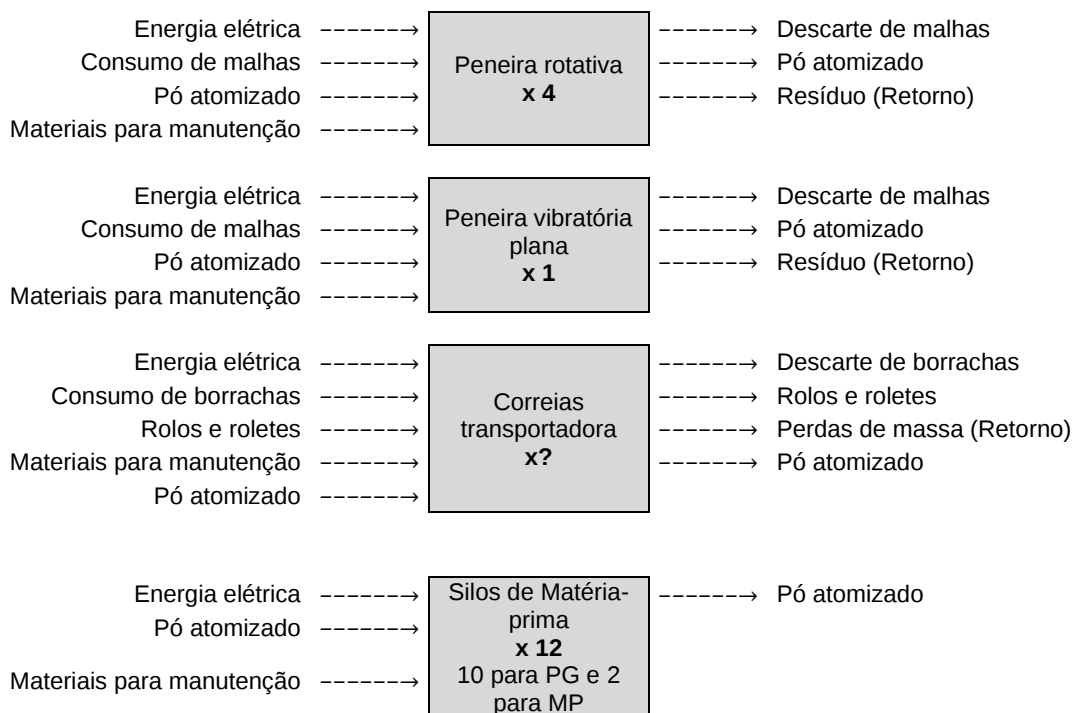
Tabela 26 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva III

PREPARAÇÃO DE ESMALTE		
Entradas	Equipamentos	Saídas
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Matéria-prima ----->	Carros de carga x 21	Matéria-prima
Consumo de Eixos -----> Consumo de Polias -----> Energia Elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Bolas de Alumina -----> Tampas de borrachas grandes e pequenos -----> Pinos -----> Revestimento do moinho -----> Água -----> Matérias-primas ----->	Moinhos de bateladas 3000 kg x 3	Resíduos -----> Descarte de revestimento do moinho -----> Material moído -----> Descarte de polias -----> Descarte de tampas -----> Descarte de pinos ----->
Consumo de Eixos -----> Consumo de Polias -----> Energia Elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Bolas de Alumina -----> Tampas de borrachas grandes e pequenos -----> Pinos -----> Revestimento do moinho -----> Água -----> Matérias-primas ----->	Moinhos de bateladas 4500 kg x 3	Resíduos -----> Descarte de revestimento do moinho -----> Material moído -----> Descarte de polias -----> Descarte de tampas -----> Descarte de pinos ----->
Consumo de Eixos -----> Consumo de Polias -----> Energia Elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Bolas de Alumina -----> Tampas de borrachas grandes e pequenos -----> Pinos -----> Revestimento do moinho -----> Água -----> Matérias-primas ----->	Moinhos de bateladas 9000 kg x 1	Resíduos -----> Descarte de revestimento do moinho -----> Material moído -----> Descarte de polias -----> Descarte de tampas -----> Descarte de pinos ----->
Troca de mangotes -----> Troca de emendas -----> Troca de abraçadeiras -----> Consumo de energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Material (esmalte...) para transporte ----->	Mangotes x 3	Material transportado -----> Descarte de emendas -----> Descarte de abraçadeiras ----->

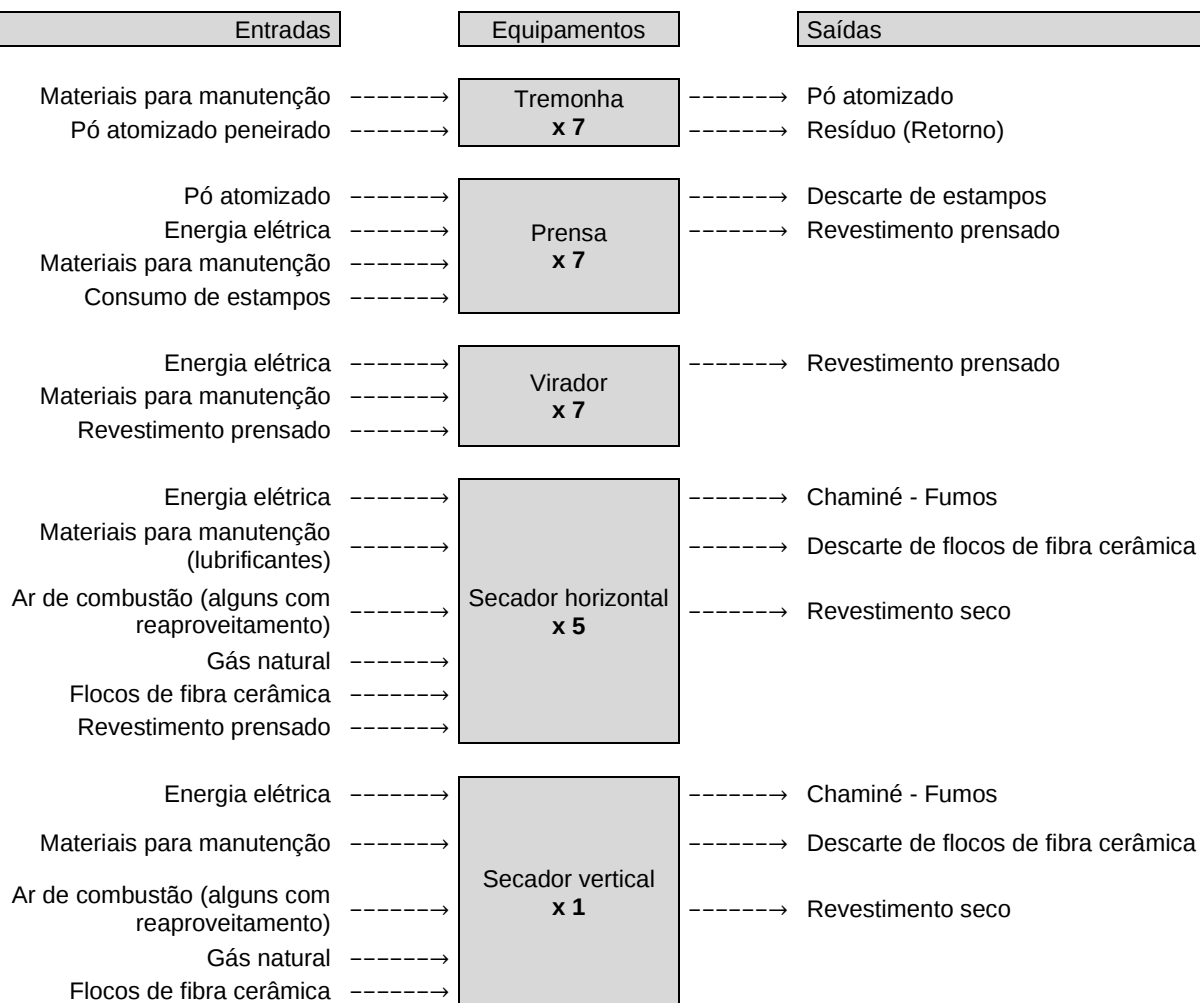


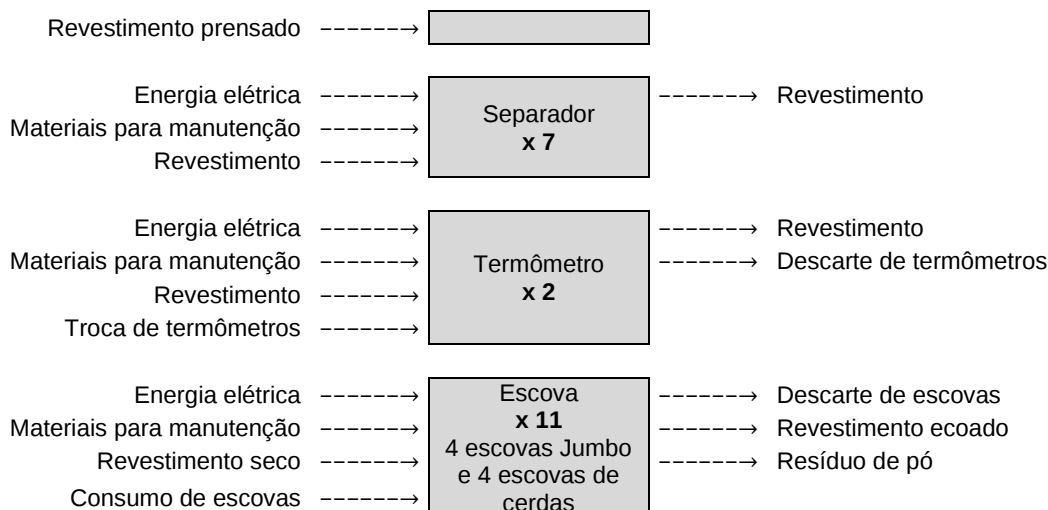
ARMAZENAMENTO DE MATÉRIA-PRIMA



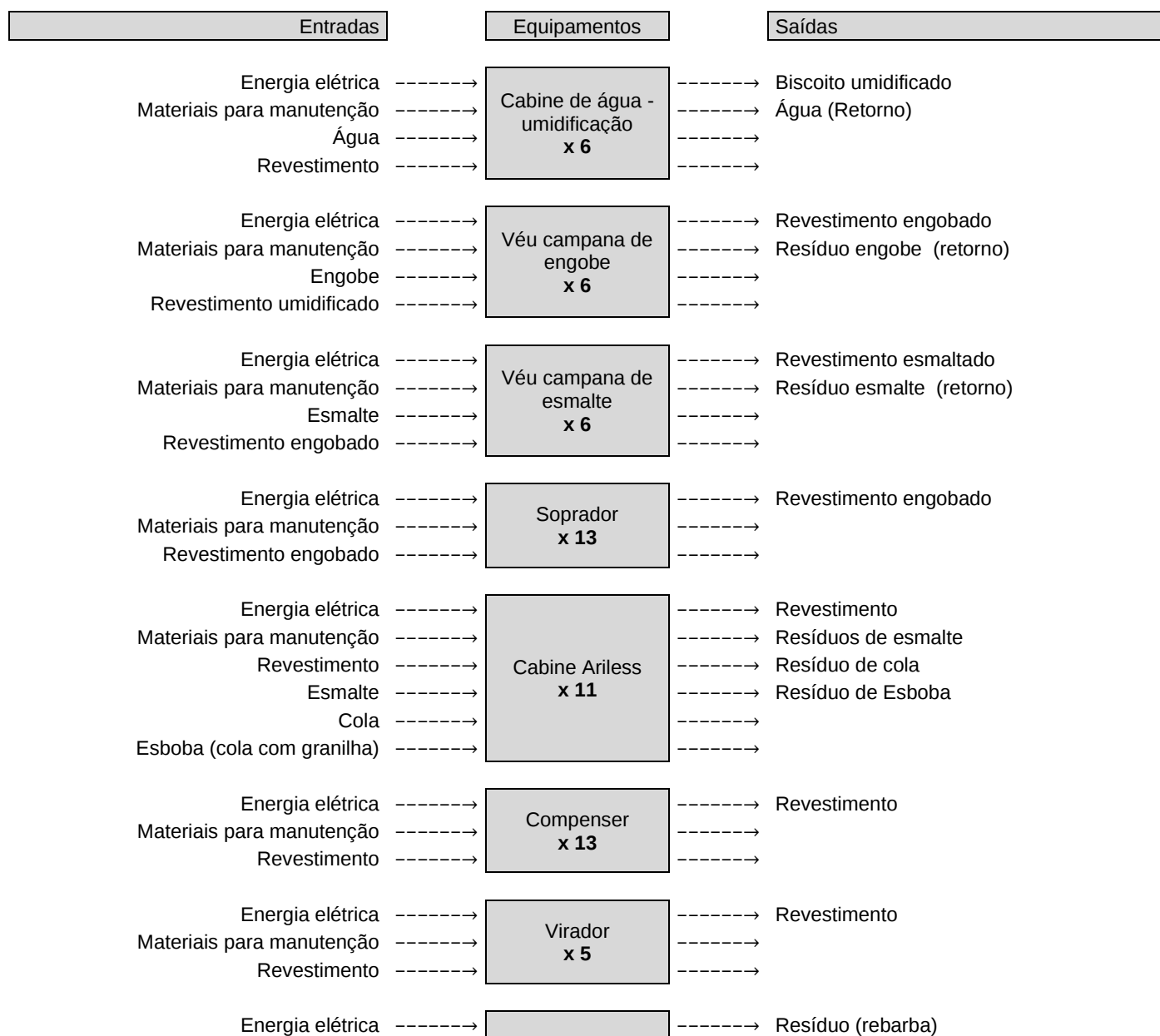


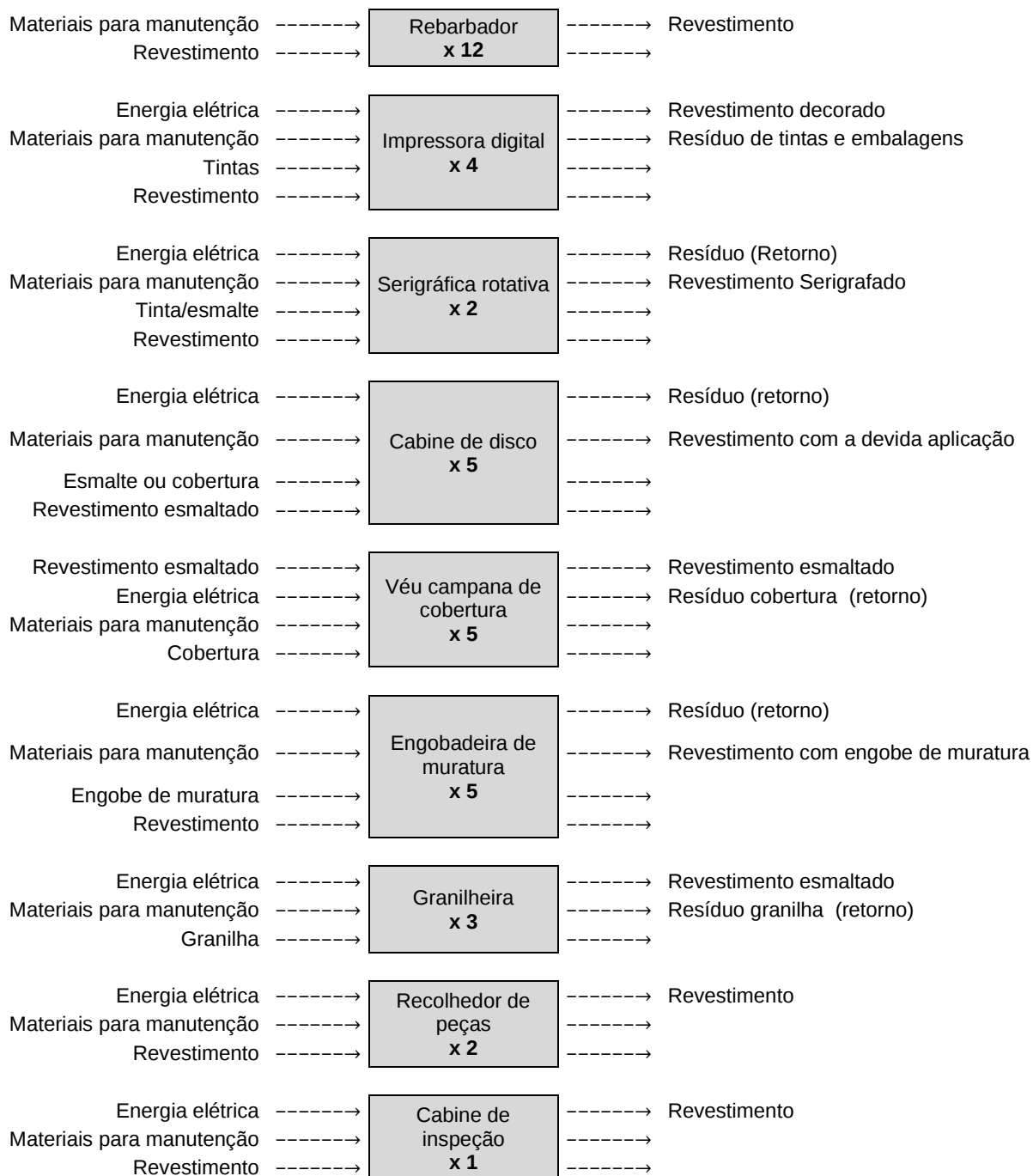
PRENSAGEM



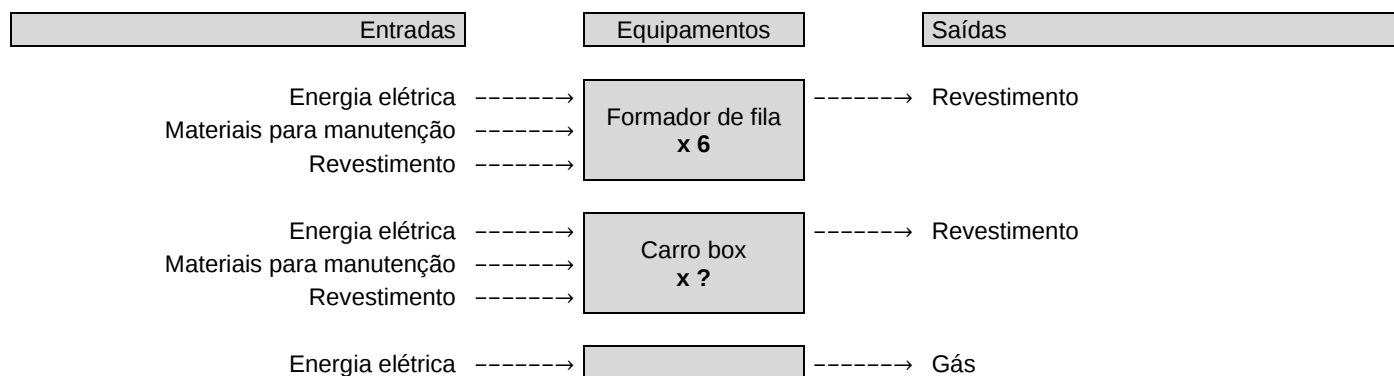


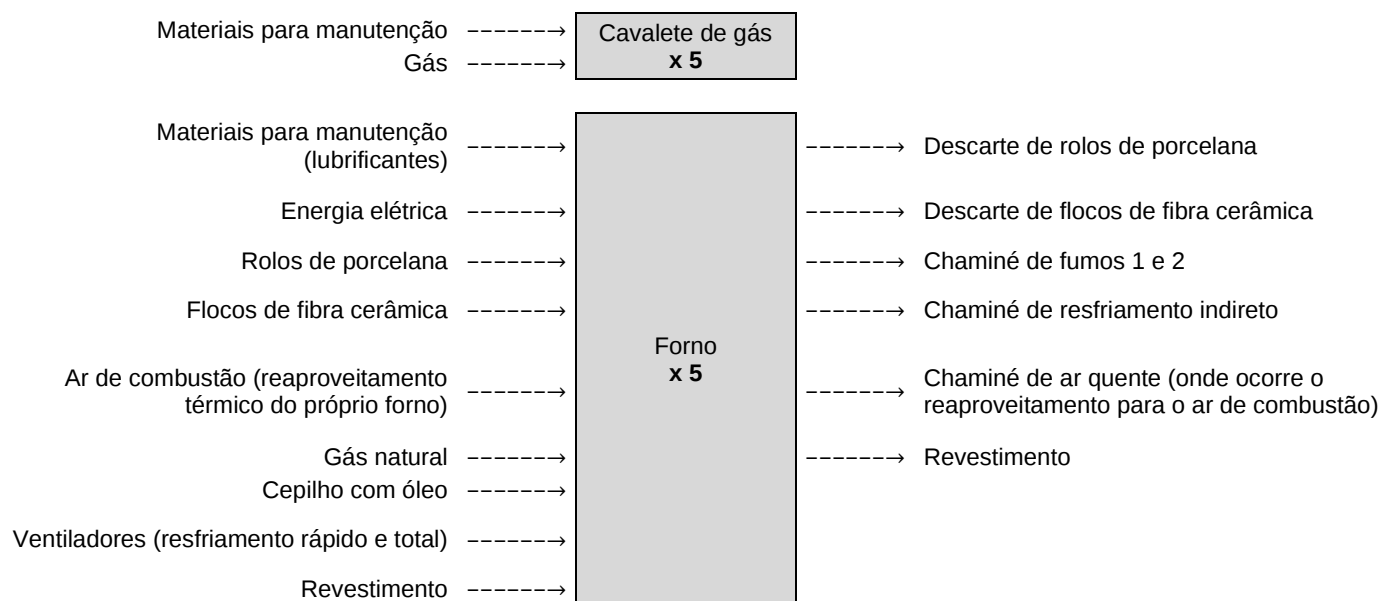
ESMALTAÇÃO



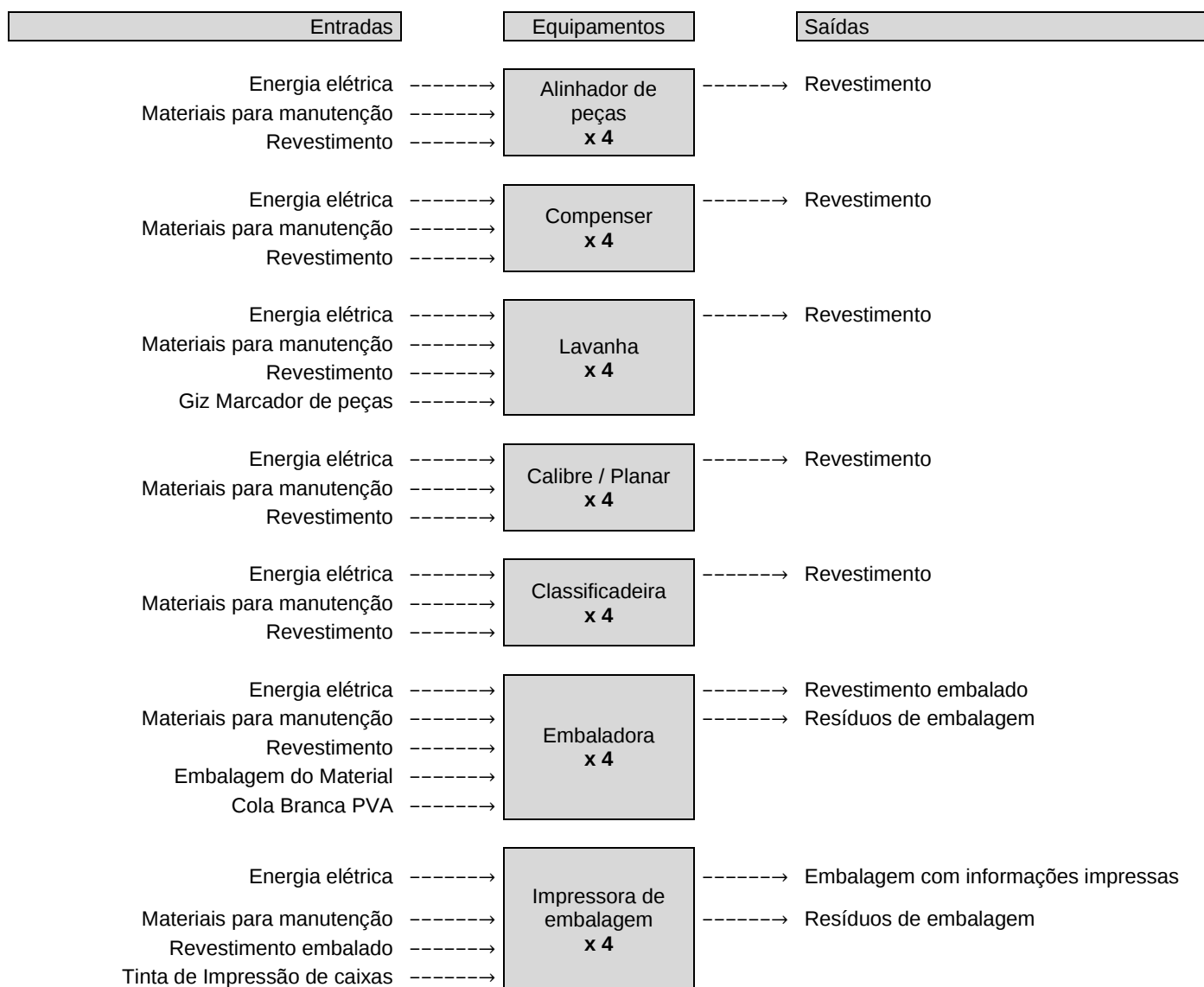


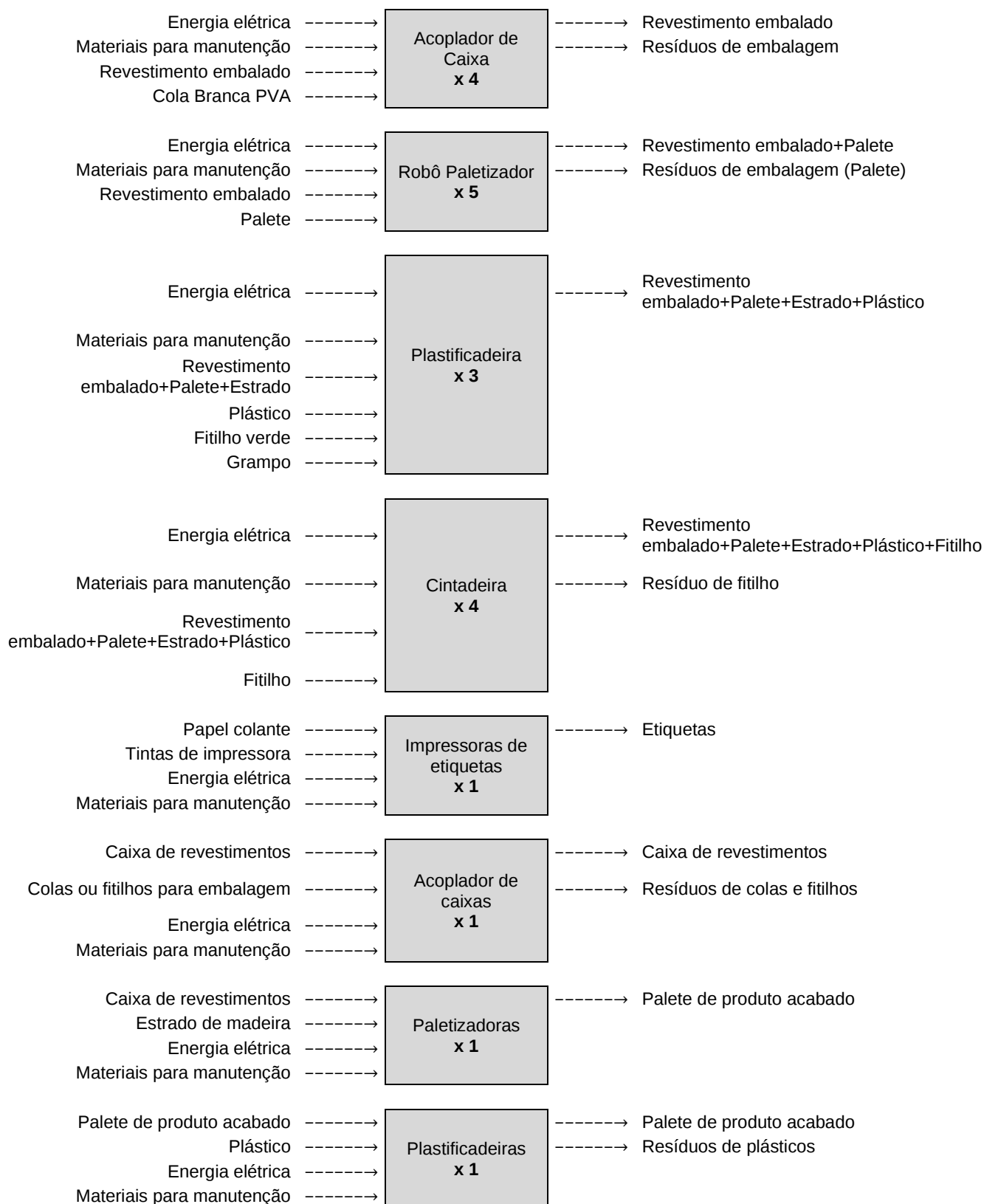
QUEIMA



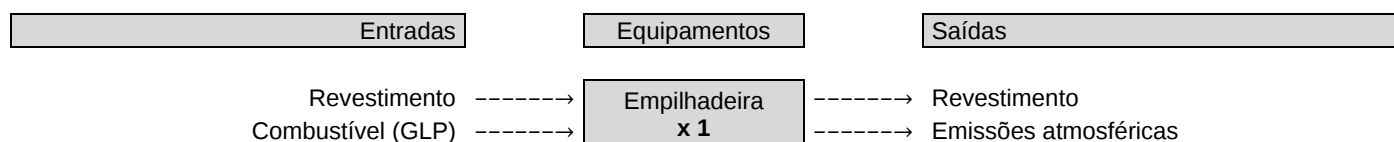


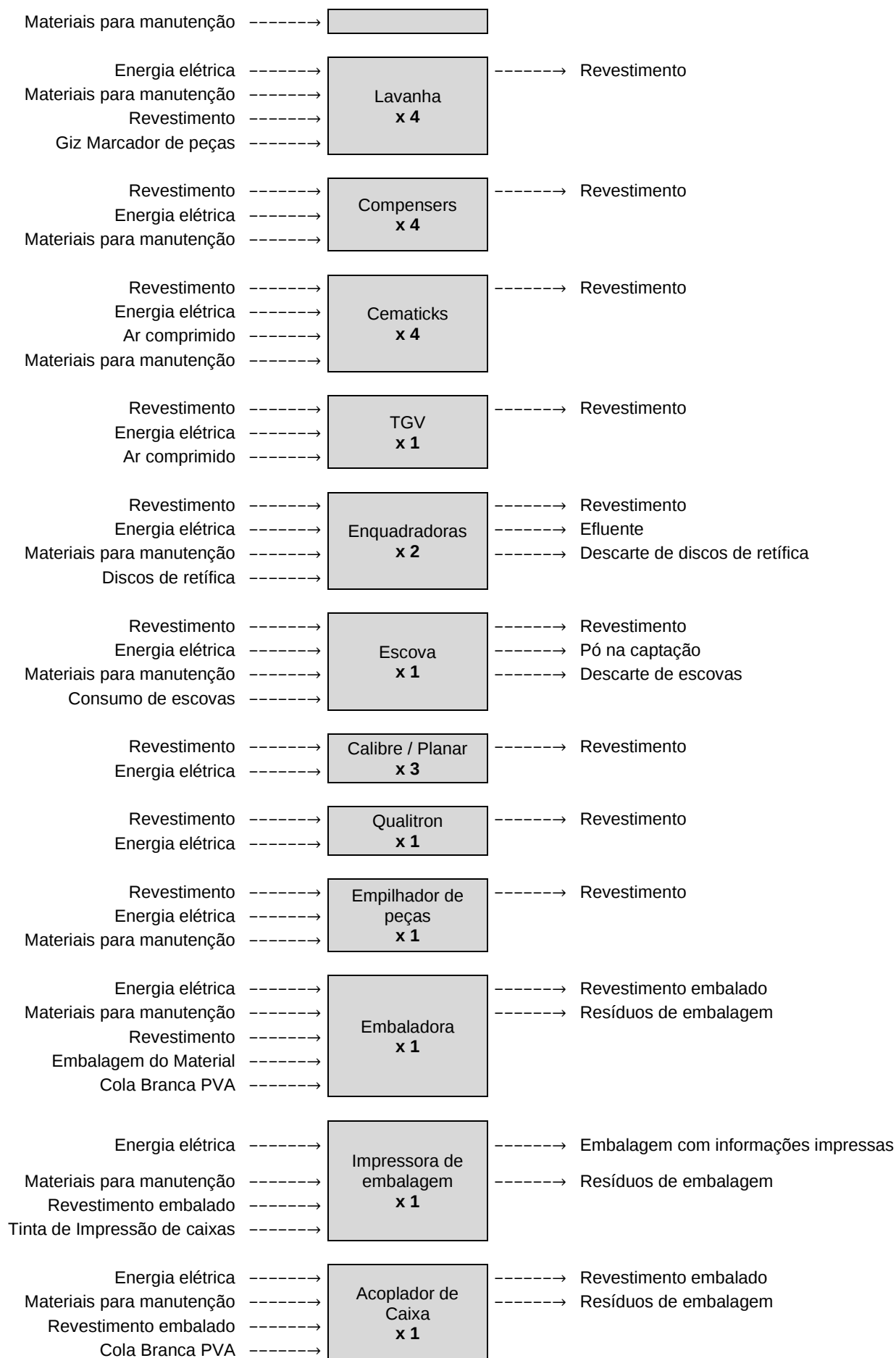
CLASSIFICAÇÃO

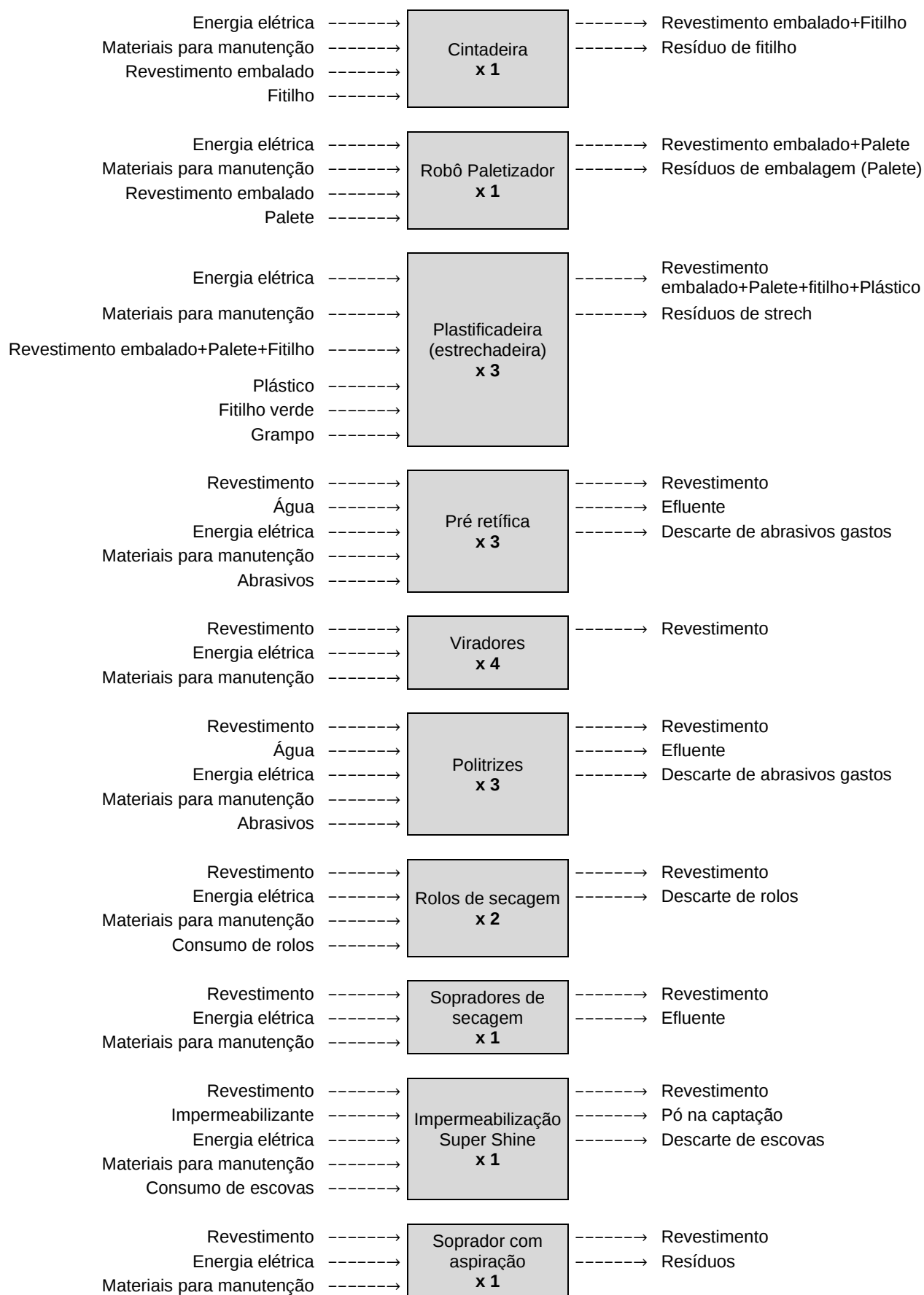


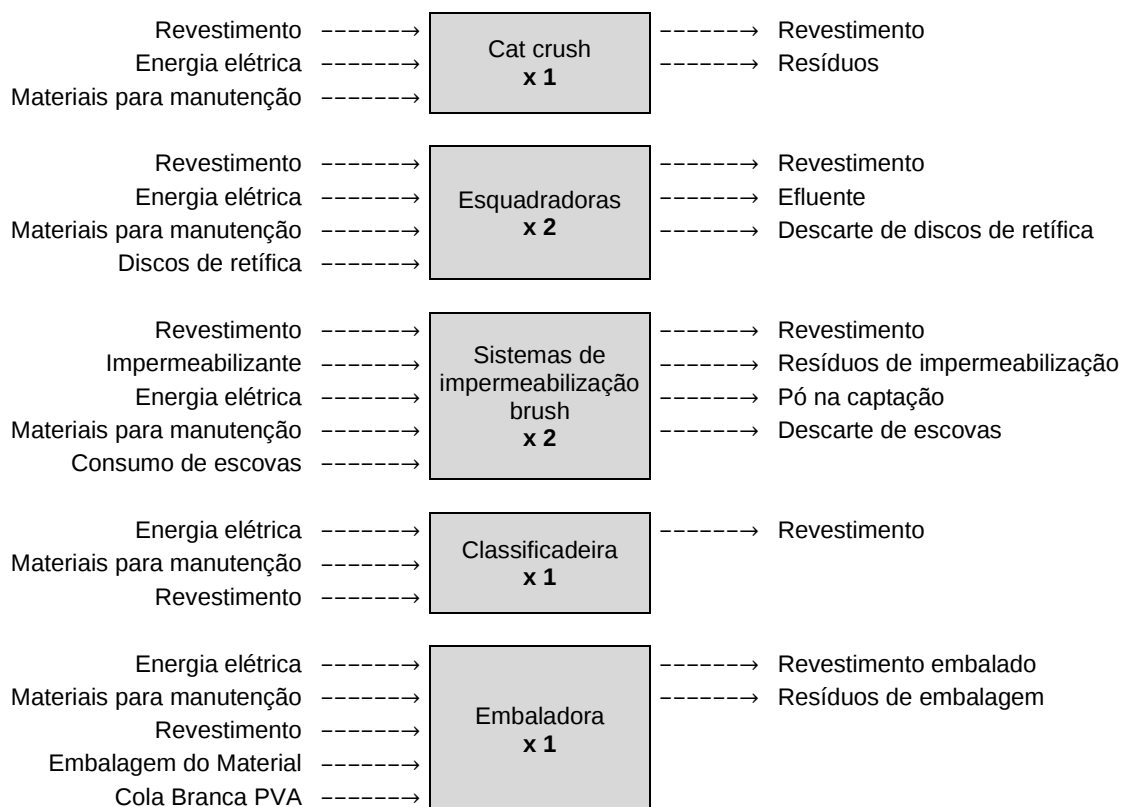


RETÍFICA E POLIMENTO





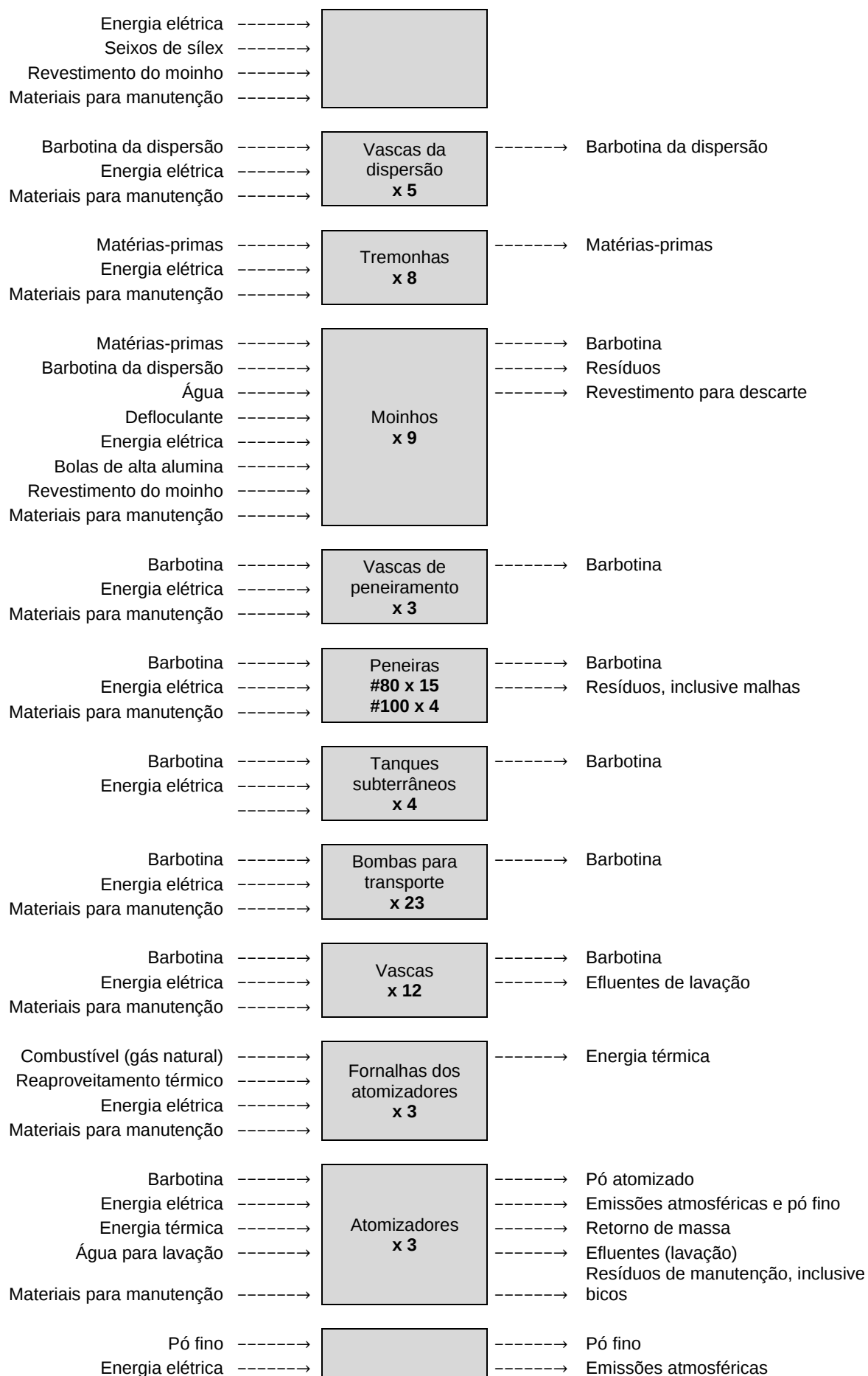


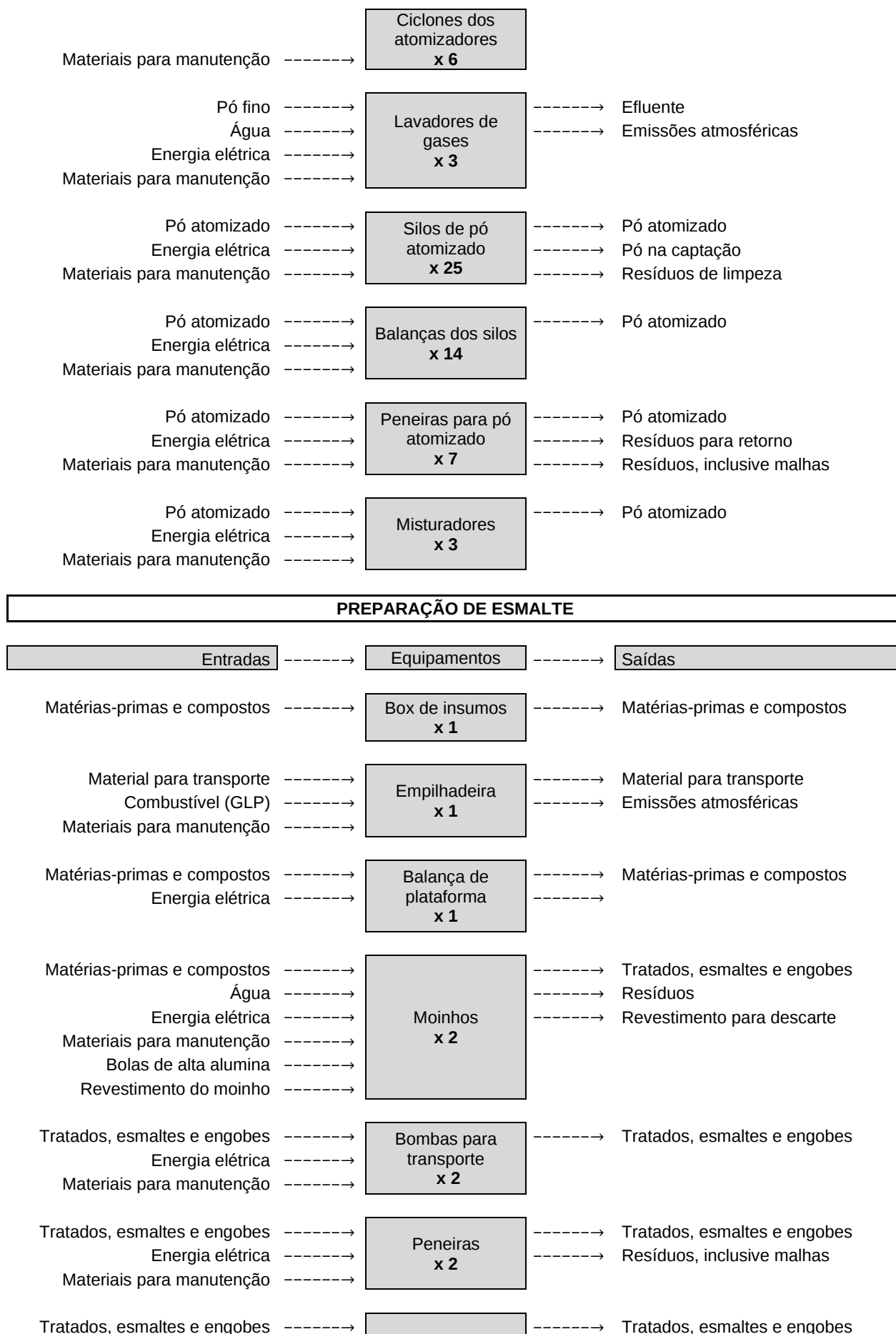


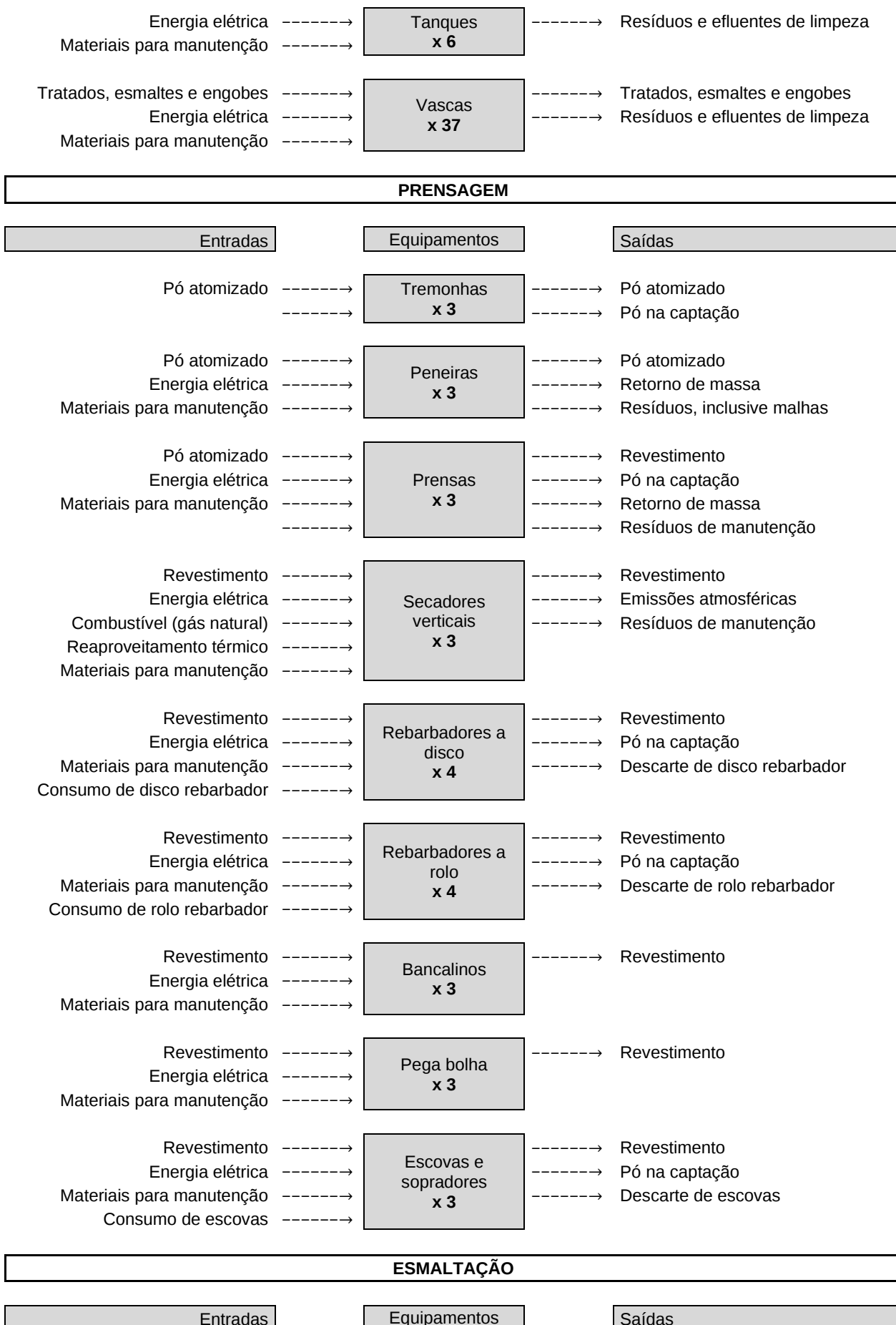
Fonte: Autora (2022).

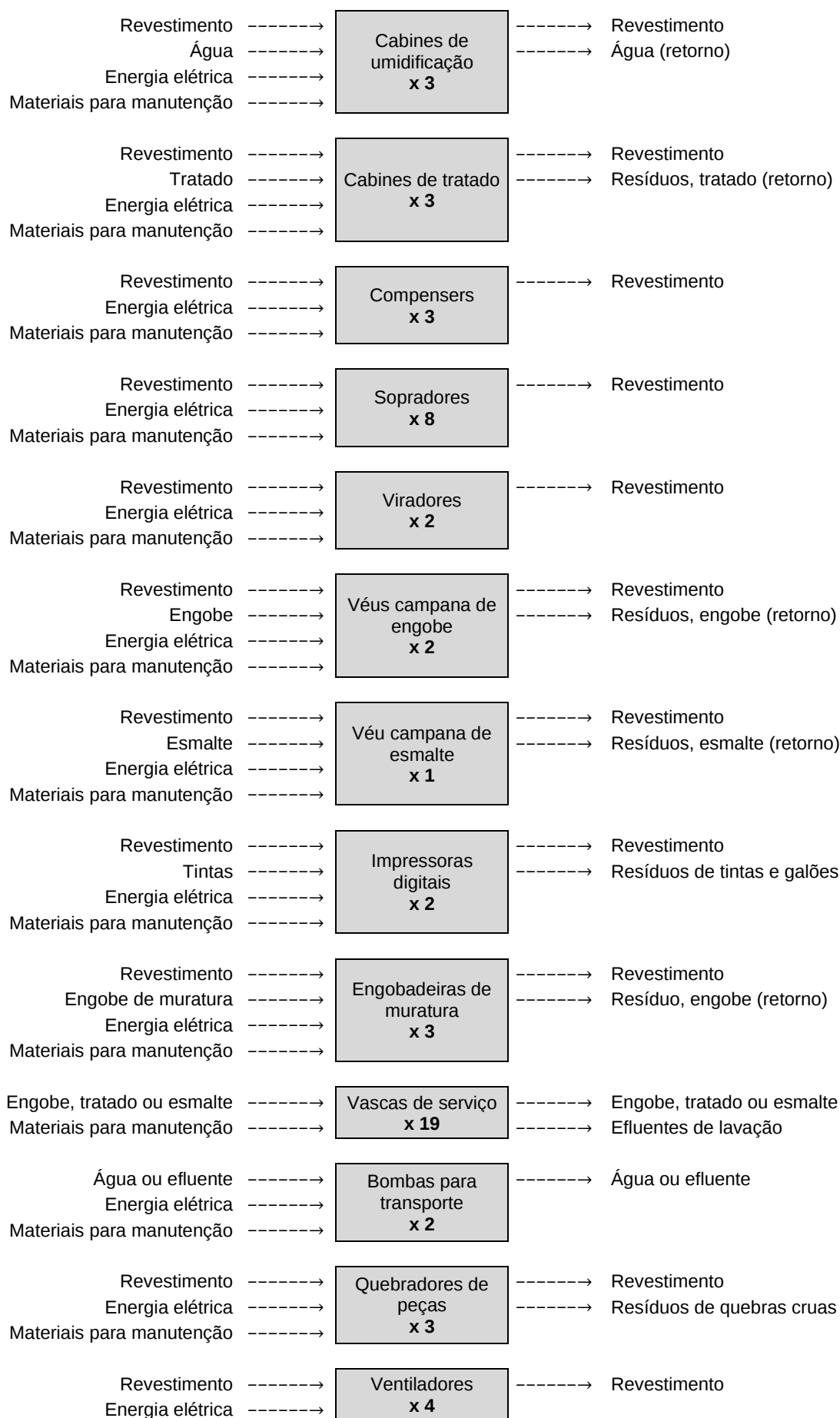
Tabela 27 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva IV

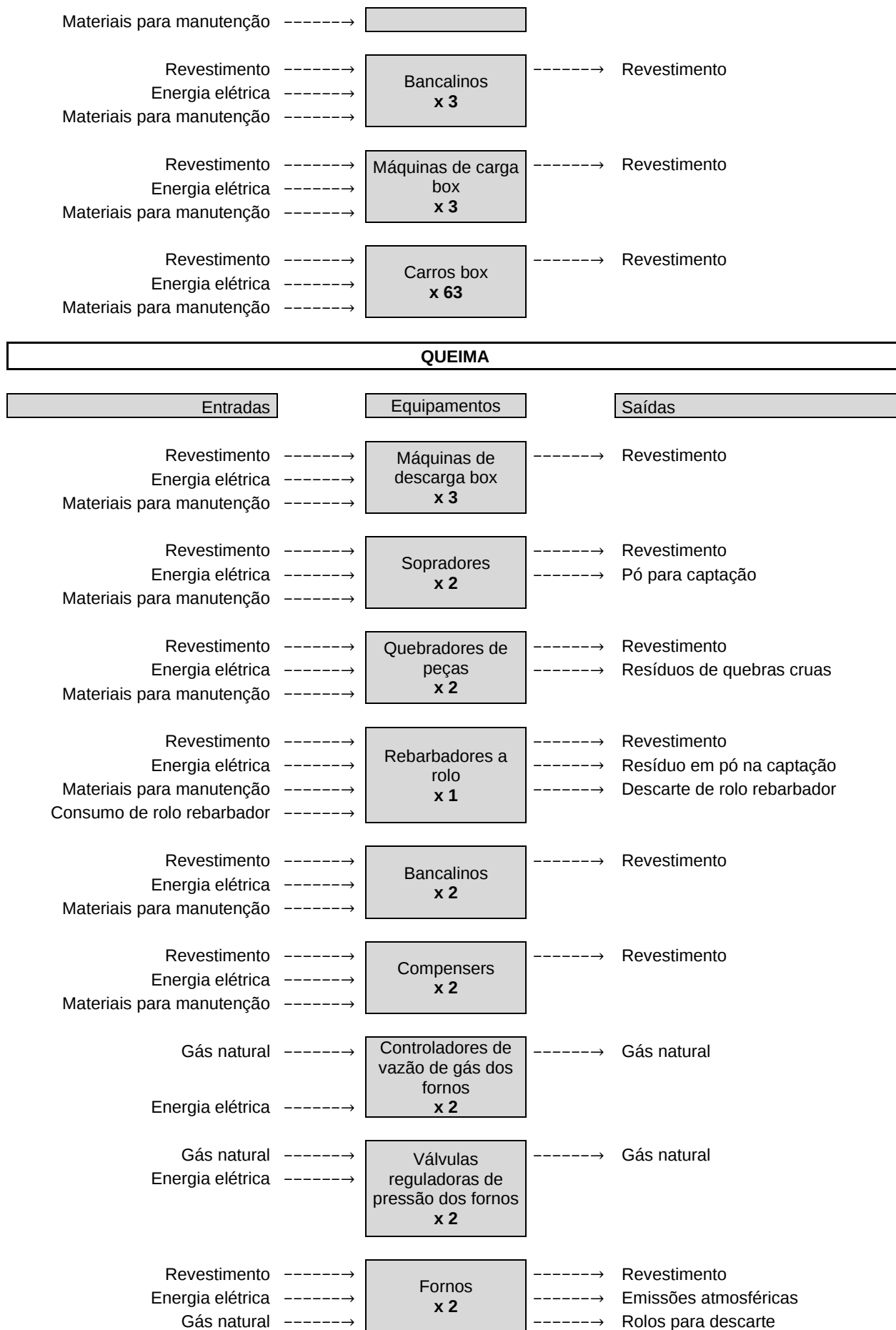
PREPARAÇÃO DE MASSA		
Entradas	Equipamentos	Saídas
Matérias-primas Combustível (diesel) Materiais para manutenção	Máquina carregadeira x 1	Matérias-primas Emissões atmosféricas
Matérias-primas	Boxes de matérias-primas x 22	Matérias-primas
Matérias-primas Energia elétrica Materiais para manutenção	Silos de não plásticos x 8	Matérias-primas
Matérias-primas Energia elétrica Materiais para manutenção	Balanças dosadoras x 2	Matérias-primas Pó para captação
Água Energia elétrica	Hidrômetros x 2	Água
Matérias-primas Água Defloculante	Moinhos da dispersão x 4	Barbotina da dispersão Resíduos Revestimento para descarte

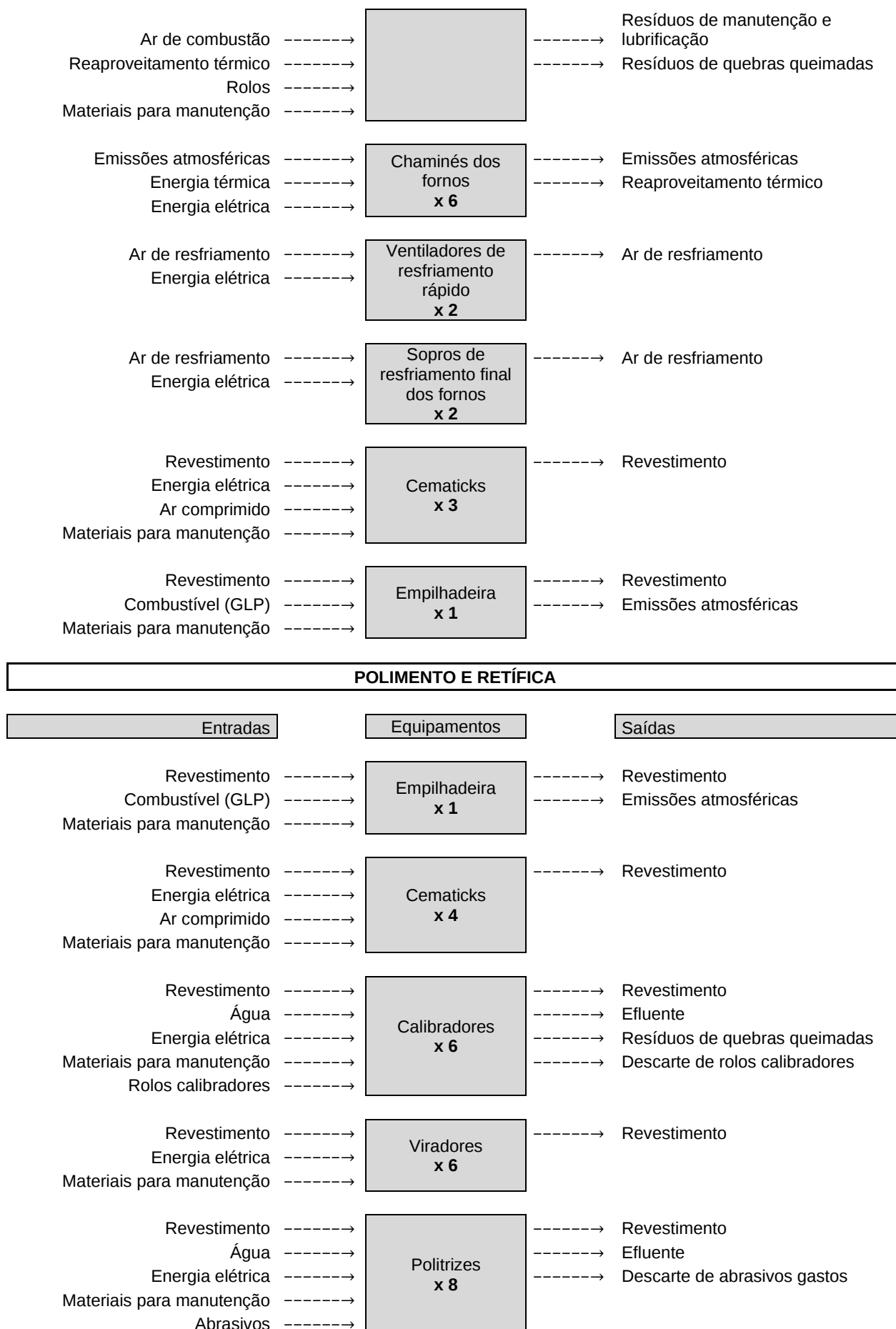


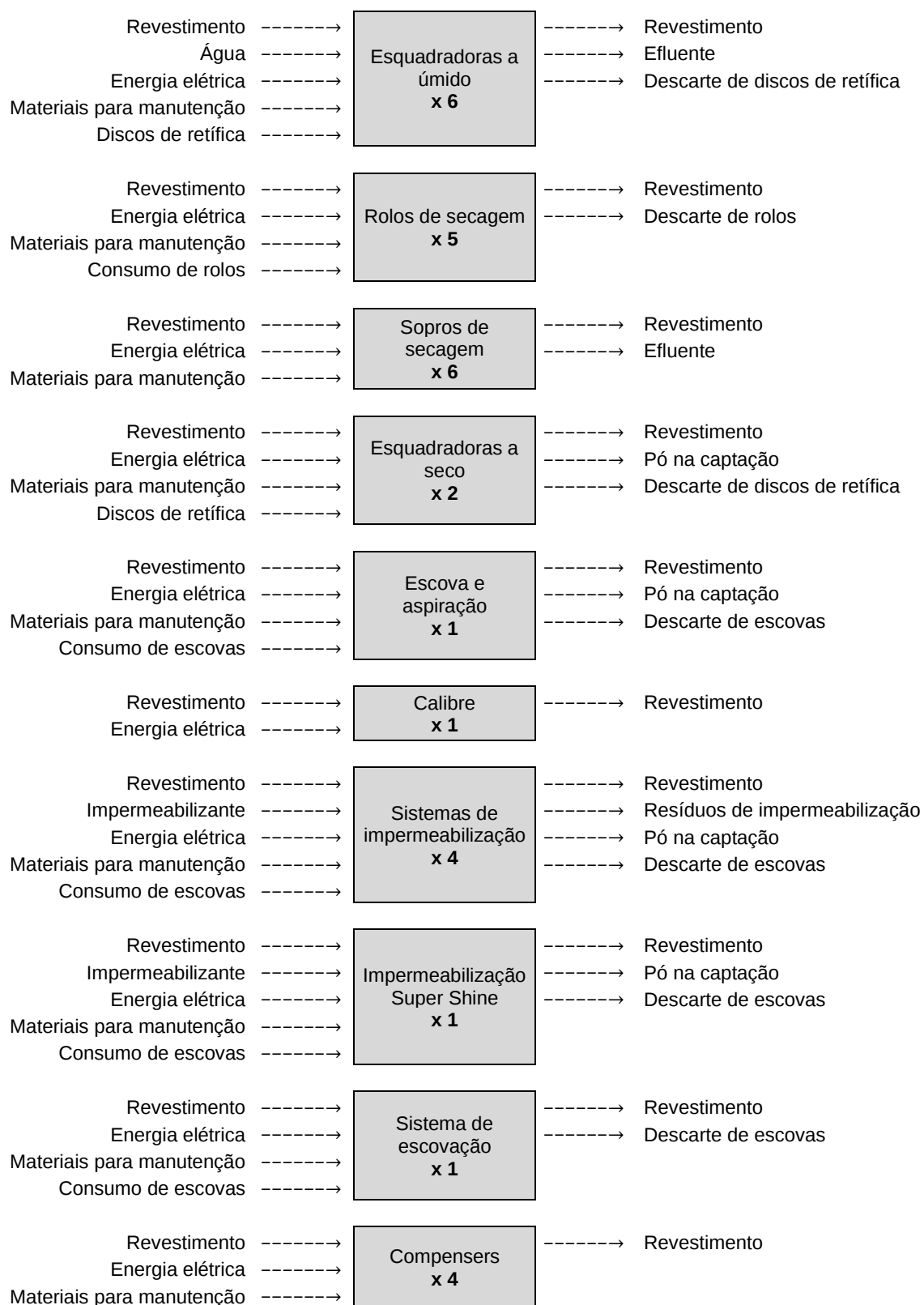








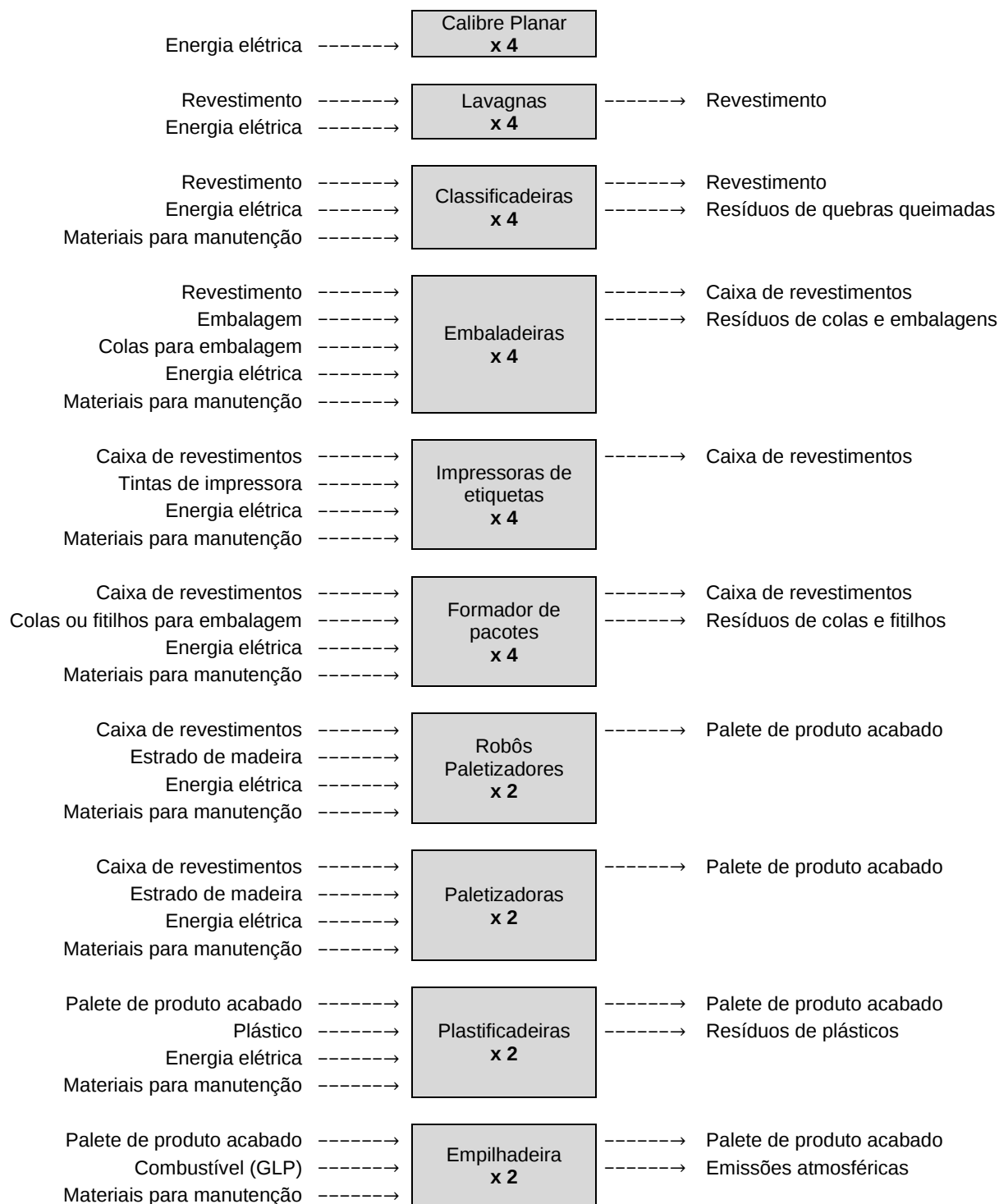




CLASSIFICAÇÃO

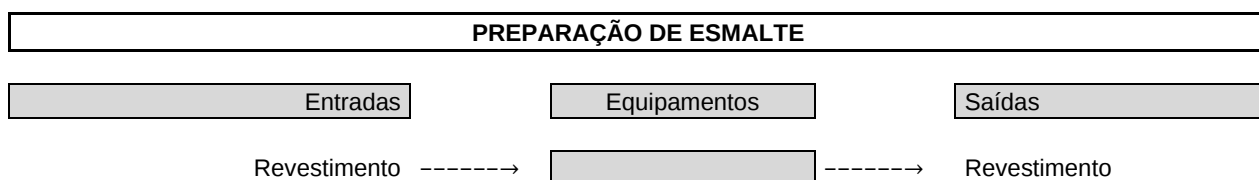
Entradas	Equipamentos	Saídas
----------	--------------	--------

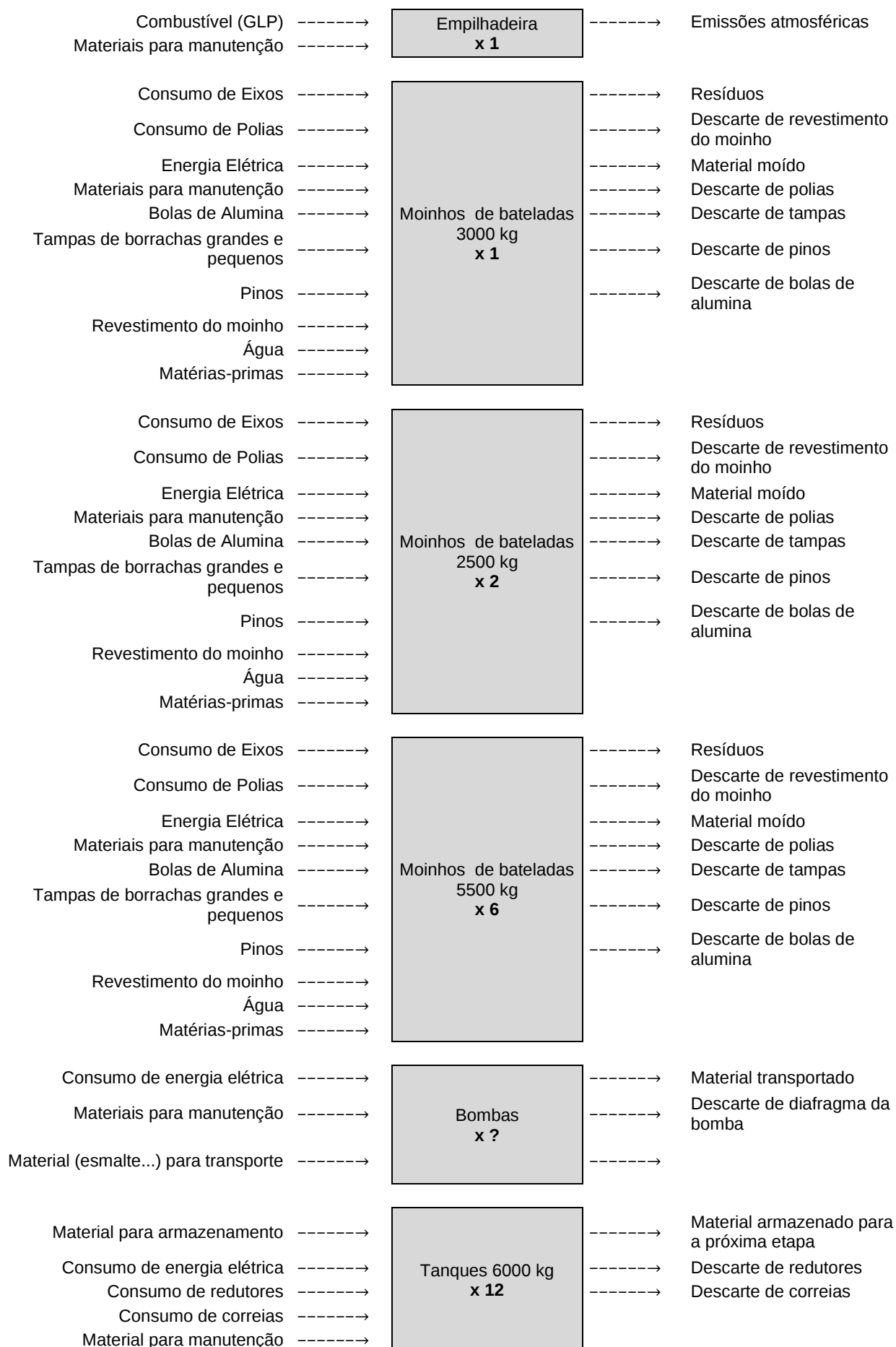
Revestimento ----->		-----> Revestimento
---------------------	---	---------------------

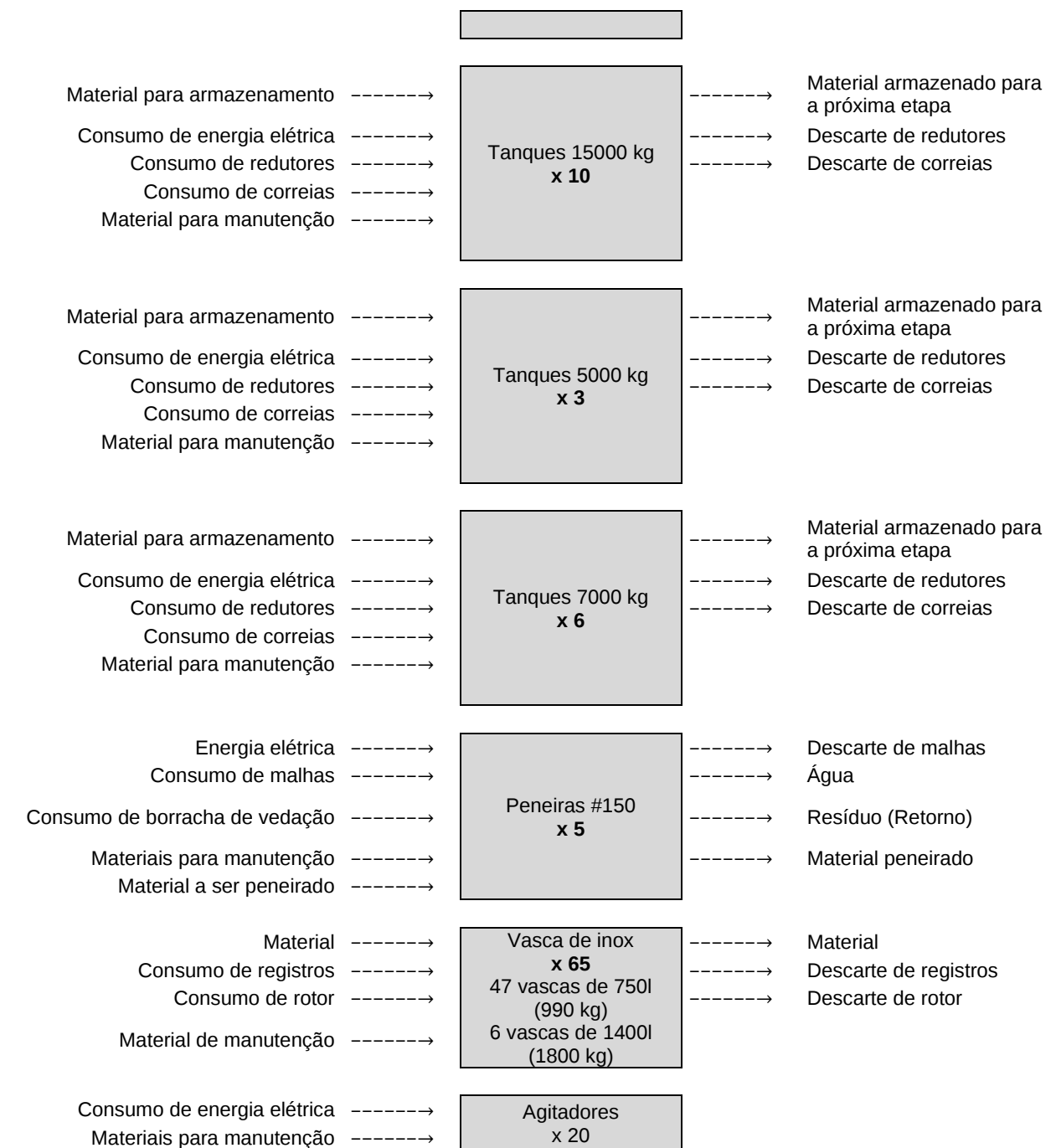


Fonte: Autora (2022).

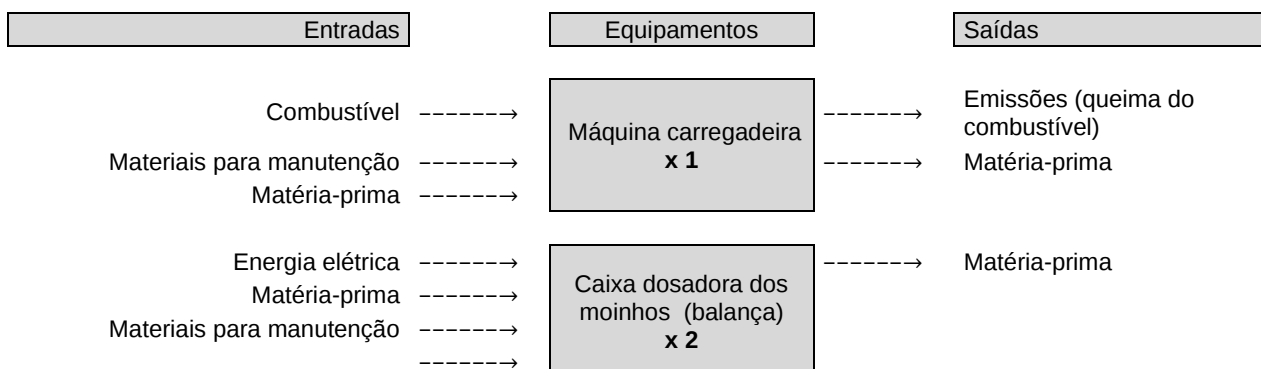
Tabela 28 - Relatório de entradas e saídas da unidade produtiva V

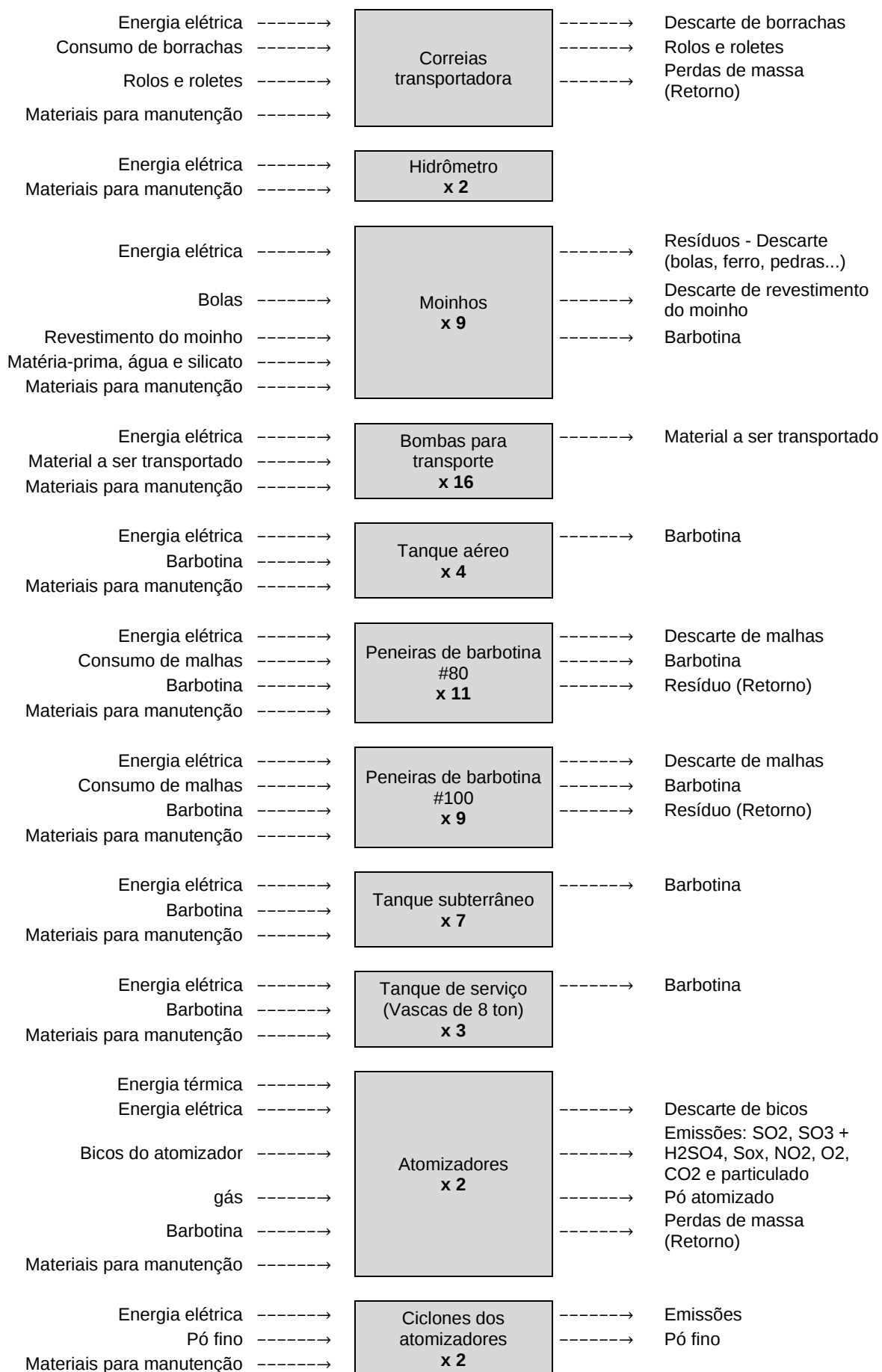


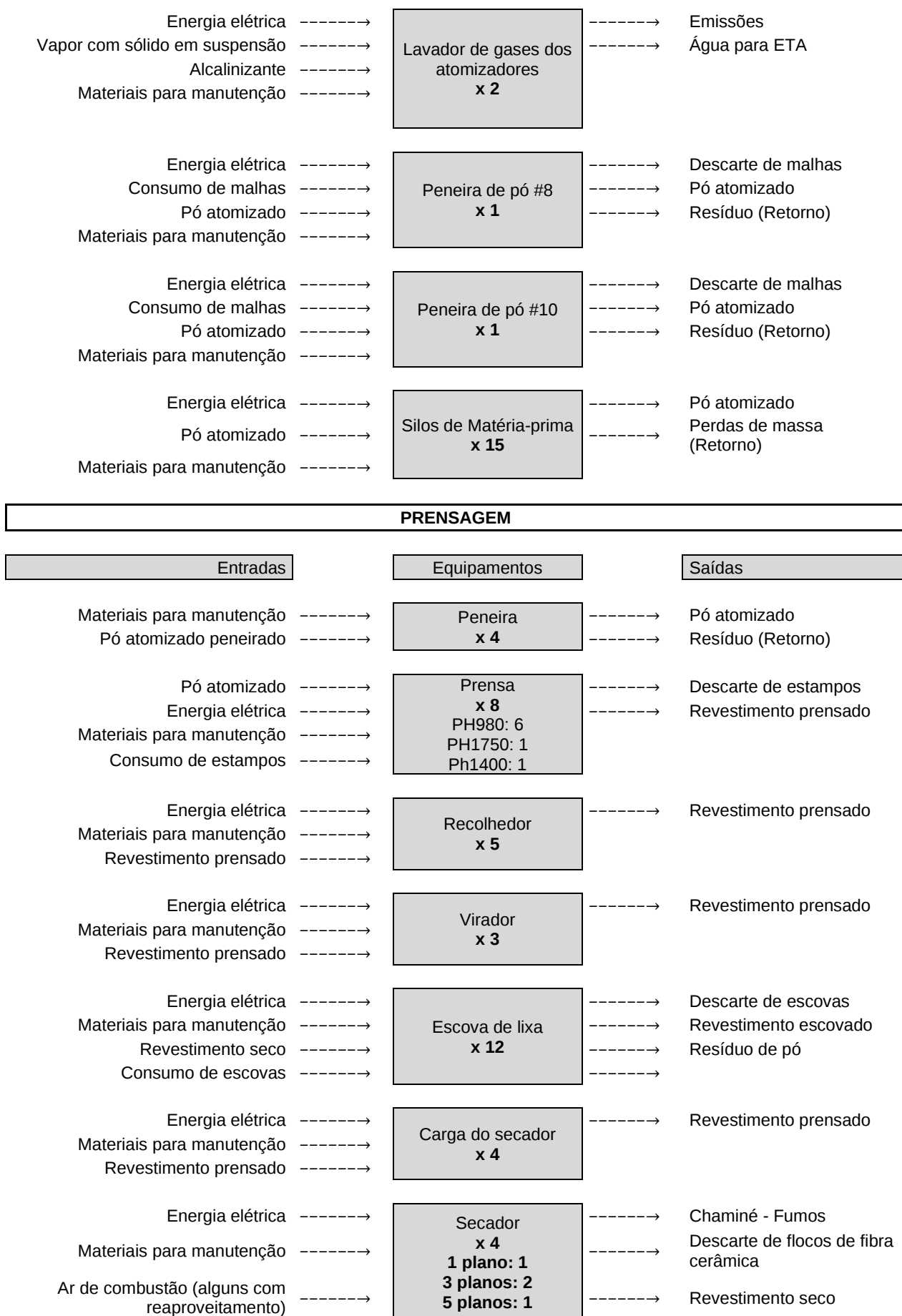


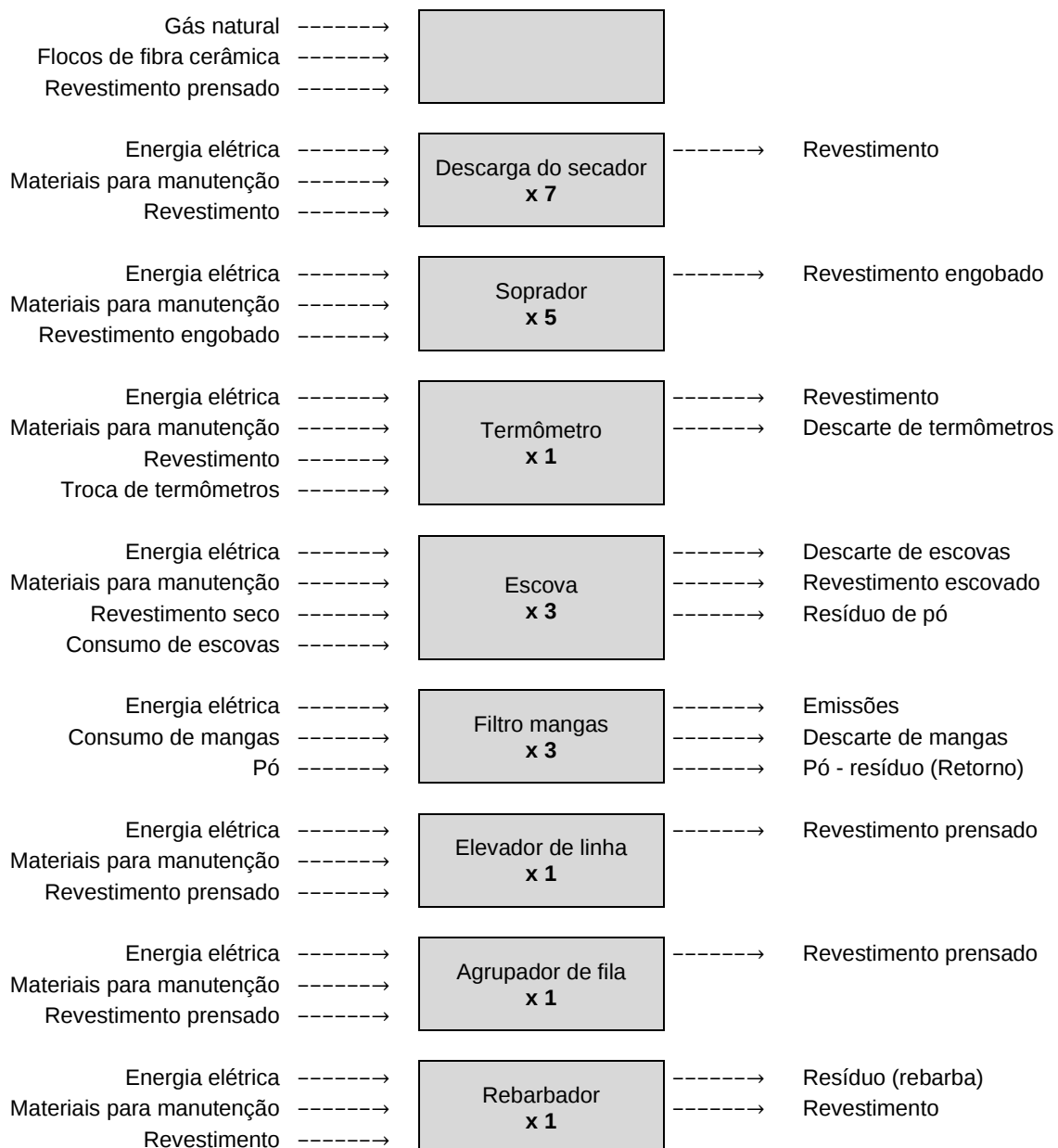


PREPARAÇÃO DE MASSA

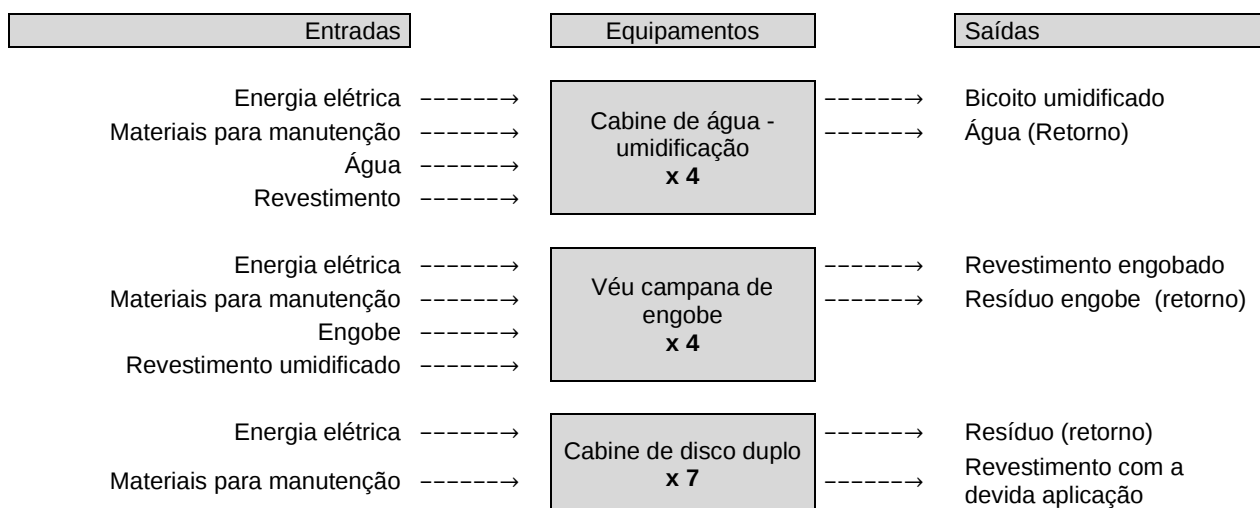




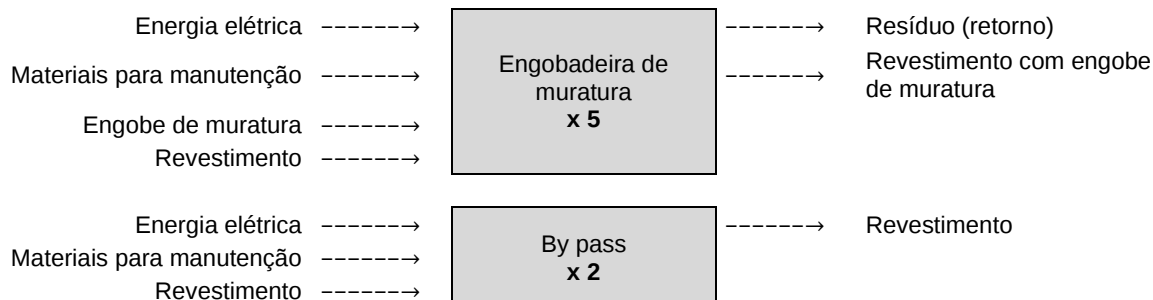




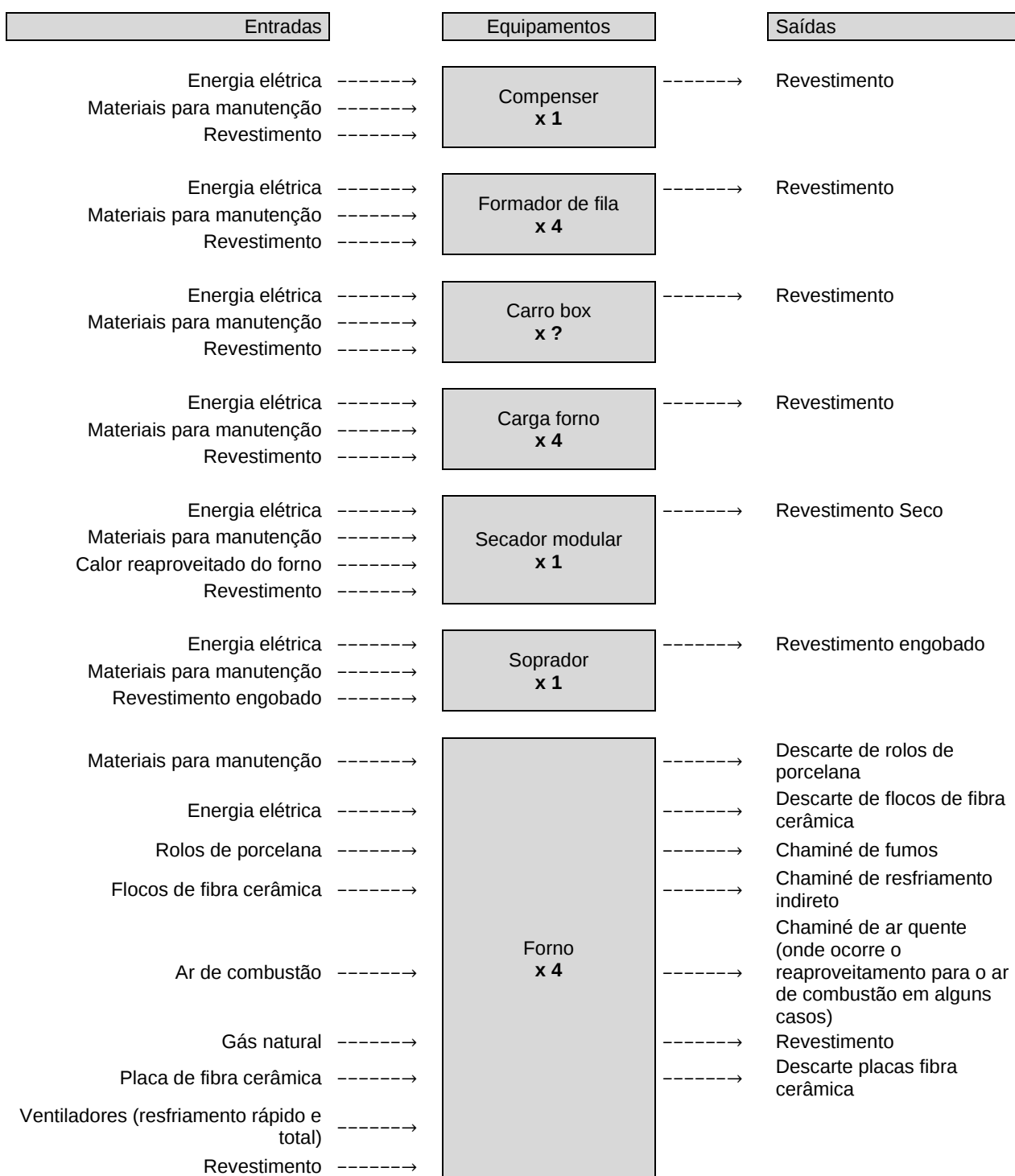
ESMALTAÇÃO



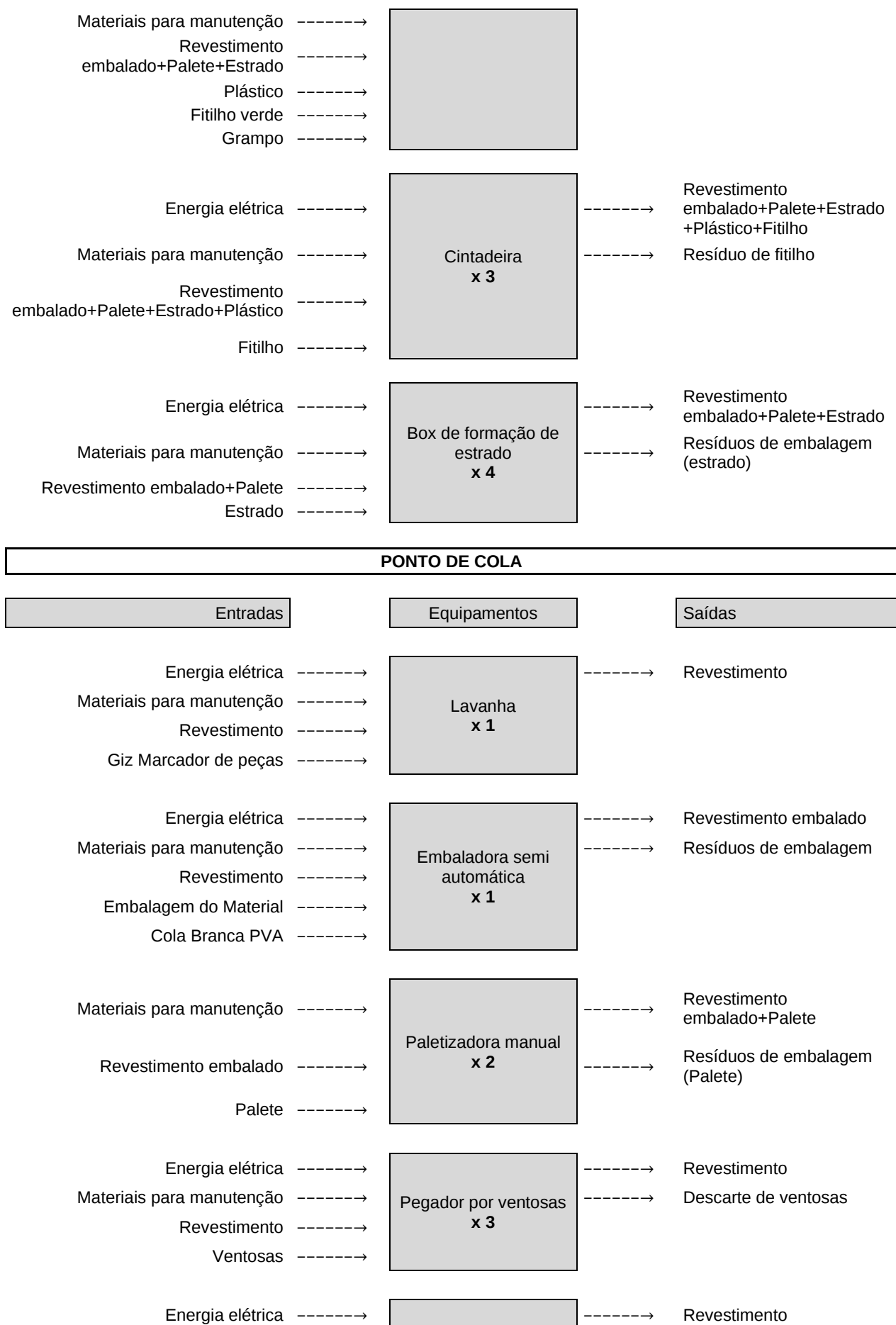
Esmalte ou cobertura	----->			
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Véu campana de esmalte x 5	----->	Revestimento esmaltado
Esmalte	----->		----->	Resíduo esmalte (retorno)
Revestimento engobado	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Aplicador de granilha x 1	----->	Resíduo (retorno)
Granilha	----->		----->	Revestimento granilhado
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Soprador x 21	----->	Revestimento engobado
Revestimento engobado	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Rebarbador x 9	----->	Resíduo (rebarba)
Revestimento	----->		----->	Revestimento
Energia elétrica	----->			
Consumo de mangas	----->	Filtro mangas x 3	----->	Emissões
Pó	----->		----->	Descarte de mangas
			----->	Pó - resíduo (Retorno)
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Virador x 5	----->	Revestimento
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Ventilador x 30	----->	Revestimento engobado
Revestimento engobado	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Compenser x 4	----->	Revestimento
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Impressora digital x 3	----->	Revestimento decorado
Tintas	----->		----->	Resíduo de tintas e embalagens
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Serigráfica rotativa x 1	----->	Resíduo (Retorno)
Tinta/esmalte	----->		----->	Revestimento serigrafado
Revestimento	----->			
Energia elétrica	----->			
Materiais para manutenção	----->	Cabine Ariless x 11	----->	Revestimento
Revestimento	----->		----->	Resíduos de esmalte
Esmalte	----->		----->	Resíduo de cola
Cola	----->		----->	Resíduo de Esboba
Esboba (cola com granilha)	----->			

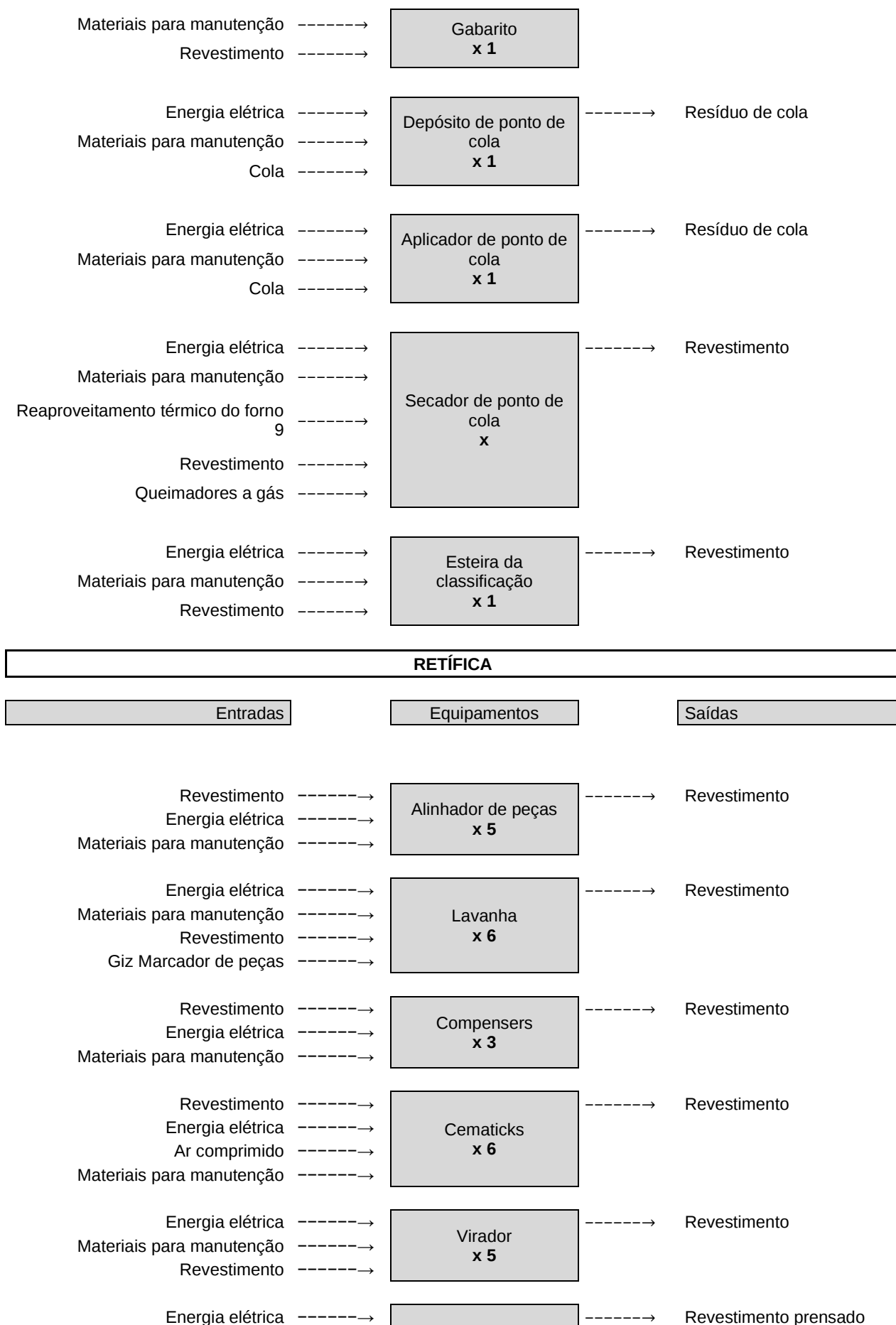


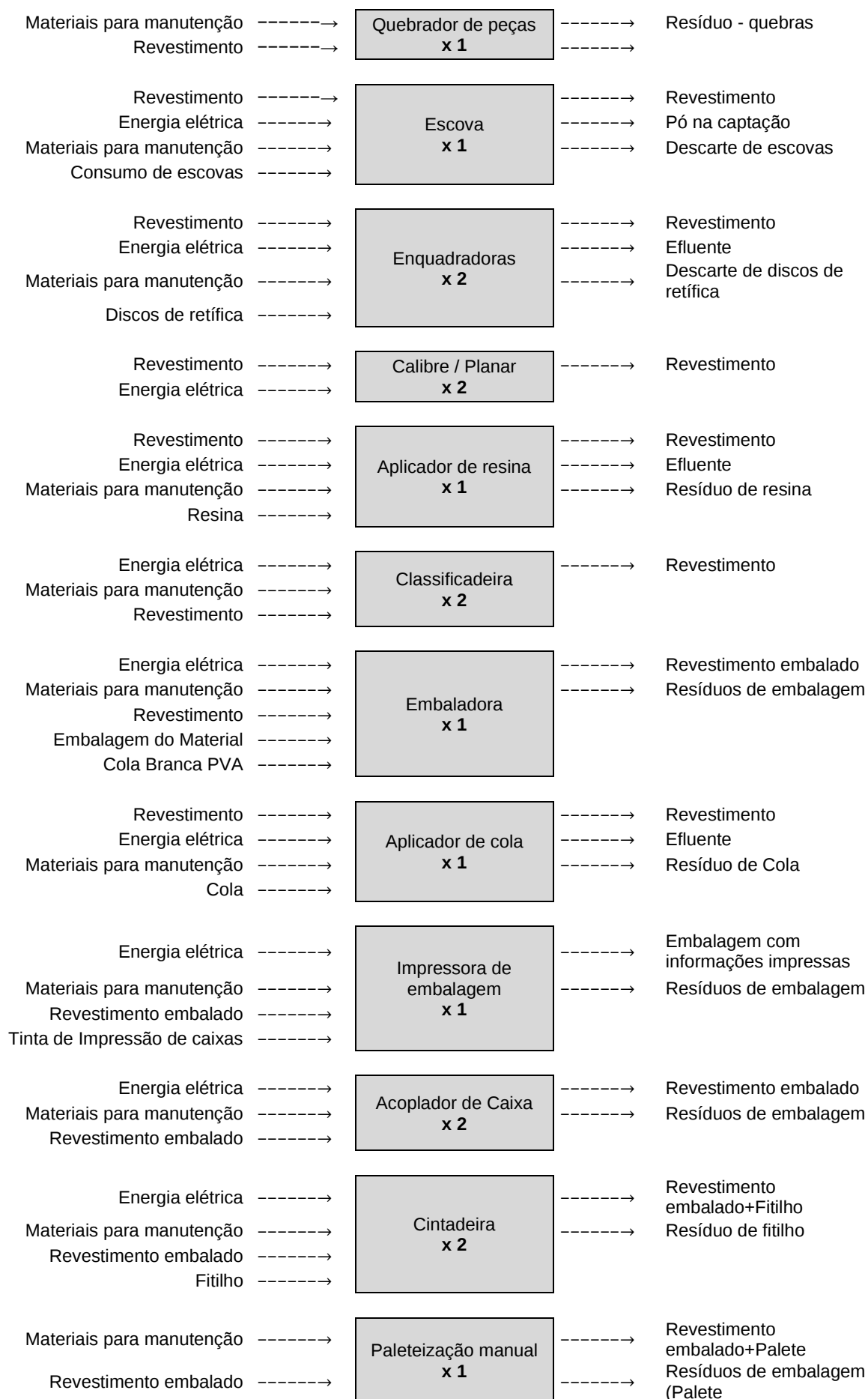
QUEIMA

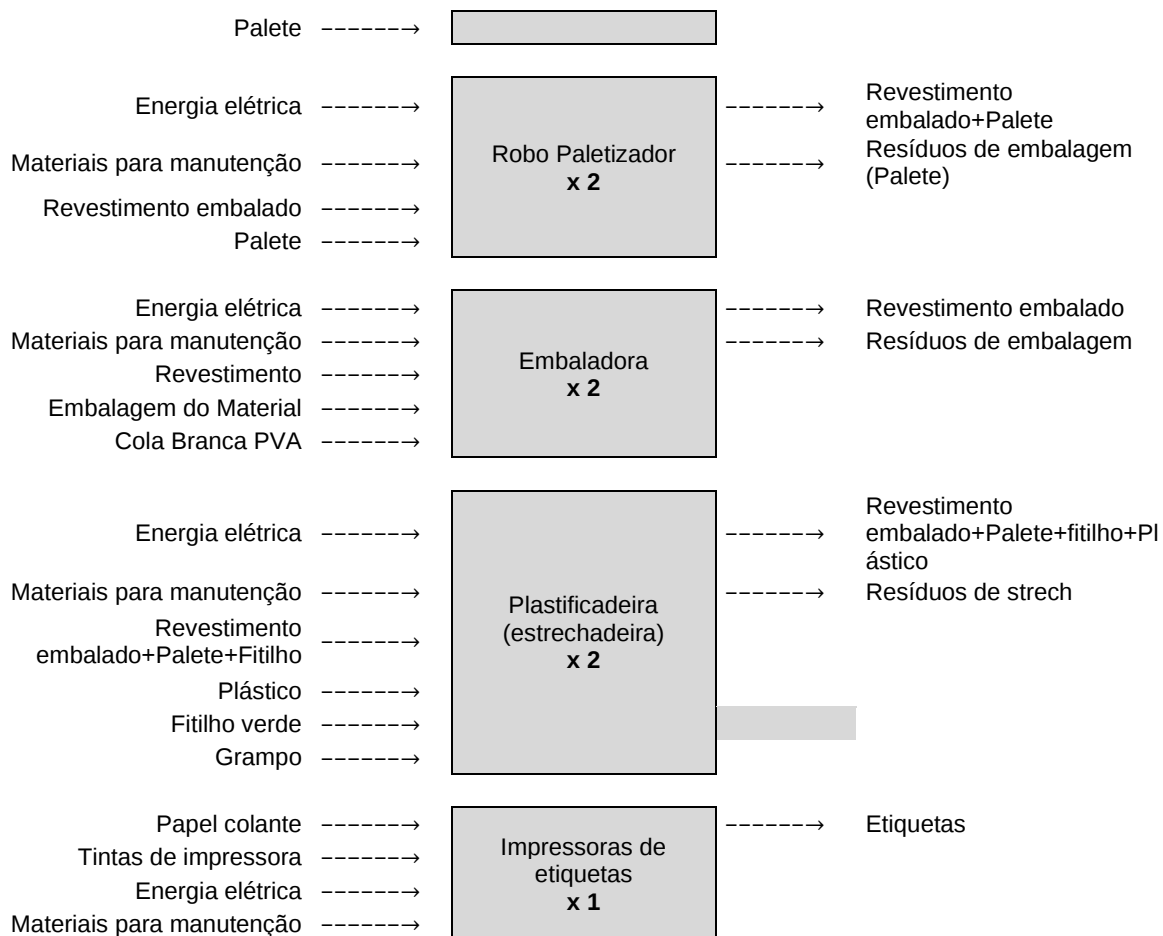


CLASSIFICAÇÃO		
Entradas	Equipamentos	Saídas
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Virador x 1	-----> Revestimento
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Compenser x 2	-----> Revestimento
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento -----> Giz Marcador de peças ----->	Lavanha x 3	-----> Revestimento
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Calibre / Planar x 3	-----> Revestimento
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento ----->	Classificadeira x 3	-----> Revestimento
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento -----> Embalagem do Material -----> Cola Branca PVA ----->	Embaladora x 3	-----> Revestimento embalado -----> Resíduos de embalagem
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento embalado -----> Tinta de Impressão de caixas ----->	Impressora de embalagem x 3	-----> Embalagem com informações impressas -----> Resíduos de embalagem
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Cola ----->	Aplicador de cola x 2	-----> Resíduo de cola
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento embalado ----->	Acoplador de Caixa x 3	-----> Revestimento embalado -----> Resíduos de embalagem
Energia elétrica -----> Materiais para manutenção -----> Revestimento embalado -----> Palete ----->	Robô Paletizador x 3	-----> Revestimento embalado+Palete -----> Resíduos de embalagem (Palete)
Energia elétrica ----->	Plastificadeira x 3	-----> Revestimento embalado+Palete+Estrado +Plástico

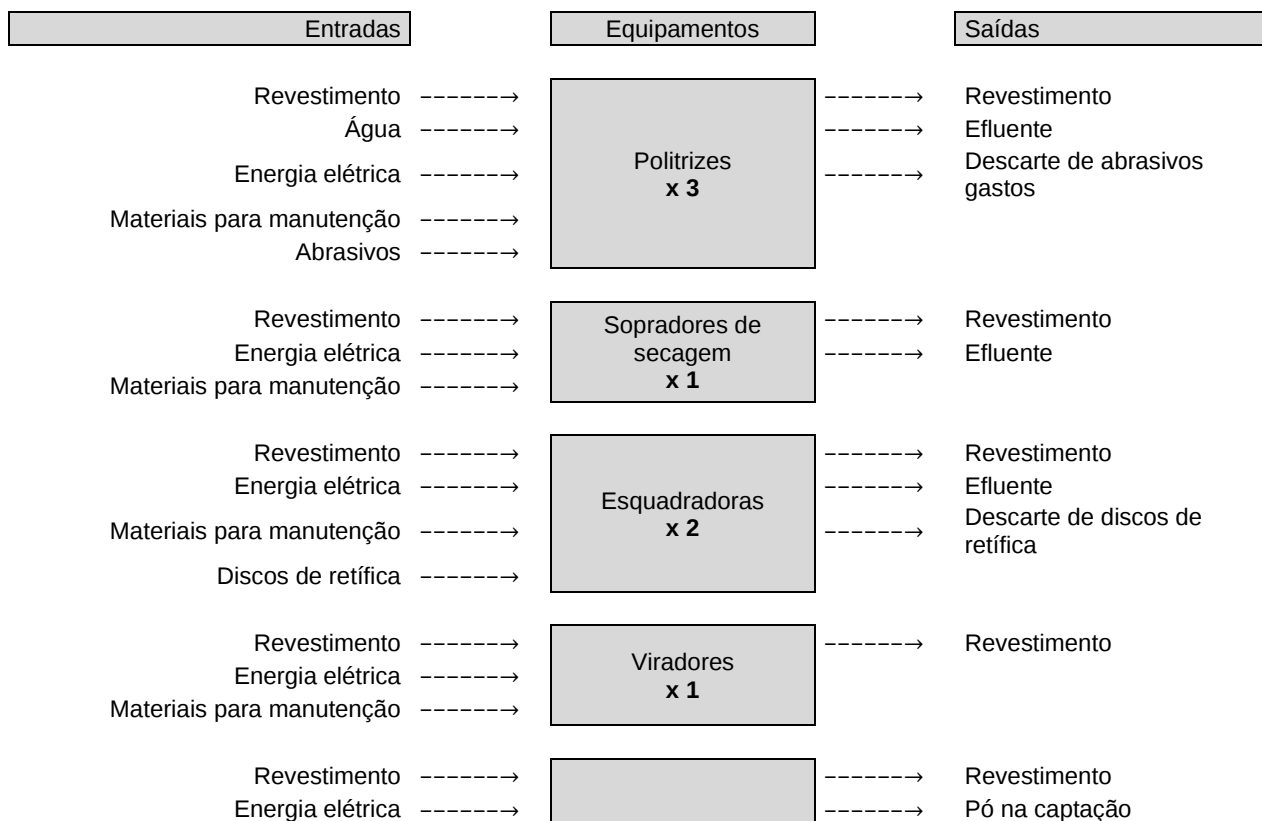


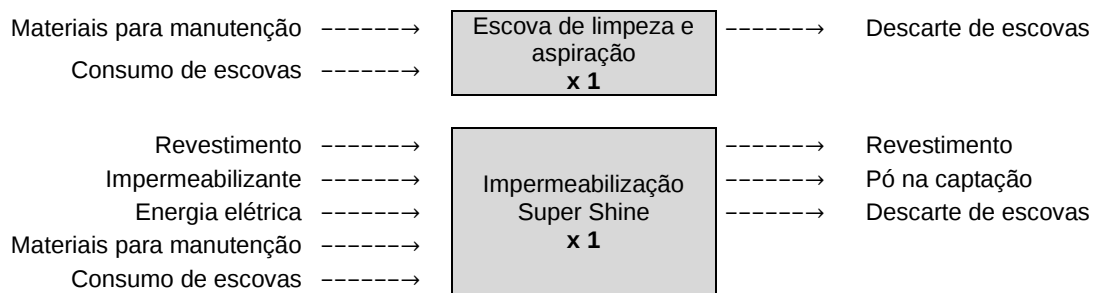






POLIMENTO





Fonte: Autora (2022).

ANEXO B – TABELAS E GRÁFICOS DE RESULTADOS

TABELAS DE RESULTADOS – BERÇO AO PORTÃO

Tabela 29 - Resultados referentes a central de compostagem de esmalte e engobe (CCE)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Frita para cobertura	Caulim para cobertura	Feldspato para cobertura	Dolomita para cobertura	Óxido de Zinco para cobertura	TPF para cobertura	CMC para cobertura	Argila para cobertura	Quartzo para cobertura	Alumina para cobertura	Silicato de Zircônio para cobertura	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb .10q	6,65.10 ⁻⁰⁵	6,39.10 ⁻⁰⁵	5,17.10 ⁻⁰⁷	4,68.10 ⁻⁰⁸	2,30.10 ⁻⁰⁹	8,69.10 ⁻⁰⁸	1,75.10 ⁻⁰⁶	2,54.10 ⁻⁰⁸	2,05.10 ⁻⁰⁹	2,27.10 ⁻⁰⁸	1,29.10 ⁻⁰⁷	7,44.10 ⁻⁰⁸	1,38.10 ⁻¹⁰
	%	100,00%	96,01%	0,78%	0,07%	0,00%	0,13%	2,62%	0,04%	0,00%	0,03%	0,20%	0,11%	0,00%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ	4,53.10 ⁰⁰	1,59.10 ⁰⁰	4,80.10 ⁻⁰¹	2,75.10 ⁻⁰¹	1,37.10 ⁻⁰¹	1,03.10 ⁻⁰¹	1,11.10 ⁻⁰¹	1,21.10 ⁻⁰¹	2,14.10 ⁻⁰¹	4,86.10 ⁻⁰¹	4,27.10 ⁻⁰¹	5,81.10 ⁻⁰¹	3,15.10 ⁻⁰³
	%	100,00%	35,17%	10,59%	6,08%	3,03%	2,27%	2,44%	2,66%	4,73%	10,72%	9,43%	12,82%	0,07%
Aquecimento global	kg CO2 .10q	3,21.10 ⁻⁰¹	1,03.10 ⁻⁰¹	3,31.10 ⁻⁰²	1,60.10 ⁻⁰²	8,28.10 ⁻⁰³	6,75.10 ⁻⁰³	1,21.10 ⁻⁰²	9,66.10 ⁻⁰³	1,22.10 ⁻⁰²	3,74.10 ⁻⁰²	4,01.10 ⁻⁰²	4,26.10 ⁻⁰²	3,32.10 ⁻⁰⁴
	%	100,00%	31,99%	10,29%	4,98%	2,58%	2,10%	3,77%	3,01%	3,80%	11,65%	12,47%	13,26%	0,10%
Depleção da camada de ozônio	g CFC-11 .10q	4,13.10 ⁻⁰⁸	1,49.10 ⁻⁰⁸	4,45.10 ⁻⁰⁹	2,79.10 ⁻⁰⁹	1,34.10 ⁻⁰⁹	9,53.10 ⁻¹⁰	7,03.10 ⁻¹⁰	1,51.10 ⁻⁰⁹	2,22.10 ⁻⁰⁹	3,68.10 ⁻⁰⁹	3,76.10 ⁻⁰⁹	5,00.10 ⁻⁰⁹	2,49.10 ⁻¹¹
	%	100,00%	36,04%	10,76%	6,76%	3,25%	2,31%	1,70%	3,65%	5,38%	8,90%	9,11%	12,10%	0,06%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB .10q	8,39.10 ⁻⁰²	3,53.10 ⁻⁰²	7,19.10 ⁻⁰³	4,52.10 ⁻⁰³	2,22.10 ⁻⁰³	1,97.10 ⁻⁰³	2,11.10 ⁻⁰³	1,50.10 ⁻⁰³	3,46.10 ⁻⁰³	6,84.10 ⁻⁰³	1,06.10 ⁻⁰²	8,17.10 ⁻⁰³	2,99.10 ⁻⁰⁵
	%	100,00%	42,11%	8,57%	5,39%	2,65%	2,35%	2,51%	1,78%	4,12%	8,15%	12,60%	9,74%	0,04%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB .10q	4,77.10 ⁻⁰³	1,85.10 ⁻⁰³	3,89.10 ⁻⁰⁴	2,51.10 ⁻⁰⁴	1,24.10 ⁻⁰⁴	1,14.10 ⁻⁰⁴	2,08.10 ⁻⁰⁴	8,41.10 ⁻⁰⁵	2,00.10 ⁻⁰⁴	3,13.10 ⁻⁰⁴	8,34.10 ⁻⁰⁴	3,90.10 ⁻⁰⁴	3,79.10 ⁻⁰⁶
	%	100,00%	38,92%	8,16%	5,27%	2,61%	2,38%	4,36%	1,77%	4,20%	6,57%	17,50%	8,19%	0,08%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB .10q	1,19.10 ⁻⁰²	2,85.10 ⁻⁰¹	1,26.10 ⁻⁰¹	2,28.10 ⁻⁰⁰	1,69.10 ⁻⁰⁰	1,52.10 ⁻⁰⁰	1,16.10 ⁻⁰¹	5,14.10 ⁻⁰⁰	1,53.10 ⁻⁰⁰	1,93.10 ⁻⁰¹	1,85.10 ⁻⁰¹	1,68.10 ⁻⁰¹	6,19.10 ⁻⁰²
	%	100,00%	23,84%	10,52%	1,91%	1,42%	1,27%	9,70%	4,30%	1,28%	16,18%	15,51%	14,02%	0,05%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB .10q	5,82.10 ⁻⁰⁴	2,51.10 ⁻⁰⁴	3,00.10 ⁻⁰⁵	1,54.10 ⁻⁰⁵	7,83.10 ⁻⁰⁶	4,65.10 ⁻⁰⁵	3,16.10 ⁻⁰⁵	9,38.10 ⁻⁰⁶	1,11.10 ⁻⁰⁵	3,05.10 ⁻⁰⁵	1,13.10 ⁻⁰⁴	3,59.10 ⁻⁰⁵	1,38.10 ⁻⁰⁷
	%	100,00%	43,12%	5,16%	2,65%	1,35%	7,99%	5,43%	1,61%	1,90%	5,24%	19,37%	6,16%	0,02%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 .10q	1,20.10 ⁻⁰⁴	4,57.10 ⁻⁰⁵	1,20.10 ⁻⁰⁵	7,57.10 ⁻⁰⁶	3,89.10 ⁻⁰⁶	1,52.10 ⁻⁰⁶	5,04.10 ⁻⁰⁶	2,90.10 ⁻⁰⁶	6,13.10 ⁻⁰⁶	9,30.10 ⁻⁰⁶	1,30.10 ⁻⁰⁵	1,27.10 ⁻⁰⁵	5,98.10 ⁻⁰⁸
	%	100,00%	38,10%	10,01%	6,32%	3,25%	1,27%	4,20%	2,42%	5,11%	7,76%	10,89%	10,63%	0,05%
Acidificação	kg SO2 .10q	3,62.10 ⁻⁰³	1,36.10 ⁻⁰³	3,79.10 ⁻⁰⁴	2,59.10 ⁻⁰⁴	1,33.10 ⁻⁰⁴	4,32.10 ⁻⁰⁵	1,28.10 ⁻⁰⁴	5,25.10 ⁻⁰⁵	2,14.10 ⁻⁰⁴	2,99.10 ⁻⁰⁴	3,44.10 ⁻⁰⁴	4,09.10 ⁻⁰⁴	1,34.10 ⁻⁰⁶
	%	100,00%	37,55%	10,47%	7,16%	3,66%	1,19%	3,54%	1,45%	5,91%	8,25%	9,50%	11,29%	0,04%
Eutrofização	kg PO4--- .10q	4,18.10 ⁻⁰⁴	1,57.10 ⁻⁰⁴	4,18.10 ⁻⁰⁵	3,03.10 ⁻⁰⁵	1,53.10 ⁻⁰⁵	5,26.10 ⁻⁰⁶	2,11.10 ⁻⁰⁵	5,55.10 ⁻⁰⁶	2,48.10 ⁻⁰⁵	3,87.10 ⁻⁰⁵	2,87.10 ⁻⁰⁵	4,98.10 ⁻⁰⁵	1,19.10 ⁻⁰⁷
	%	100,00%	37,53%	9,99%	7,24%	3,66%	1,26%	5,05%	1,33%	5,93%	9,25%	6,86%	11,89%	0,03%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 30 - Resultados referentes a preparação de esmalte e engobe

Categoria de impacto	Unidade	Total	Frita para cobertura	Caulim para cobertura	Silicato de Zircônio para cobertura	Argila para cobertura	Quartzo para cobertura	Feldspato para cobertura	Dolomita para cobertura	Alumina para cobertura	Óxido de Zinco para cobertura	Tinta ou corante para cobertura	TPF para cobertura	CMC para cobertura	Tinta ou corante para cobertura	Água tratada na ETA	Transporte (capacidade do caminhão: >32)	Transporte (capacidade do caminhão: 16-32)
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq	2,46.10 ⁰⁵	1,86.10 ⁰⁵	1,16.10 ⁰⁷	2,86.10 ⁰⁸	4,98.10 ¹⁰	1,09.10 ⁰⁸	9,24.10 ⁰⁹	4,23.10 ¹⁰	4,80.10 ⁰⁸	1,39.10 ⁰⁸	1,88.10 ⁰⁶	2,32.10 ⁰⁶	2,85.10 ⁰⁸	1,44.10 ⁰⁶	5,52.10 ⁰⁹	9,39.10 ¹¹	2,92.10 ⁰⁸
	%	100%	75,85%	0,47%	0,12%	0,00%	0,04%	0,04%	0,00%	0,20%	0,06%	7,67%	9,44%	0,12%	5,87%	0,02%	0,00%	0,12%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ	3,25.10 ⁰⁰	4,65.10 ⁰¹	1,08.10 ⁰¹	2,24.10 ⁰¹	5,19.10 ⁰²	2,34.10 ⁰¹	5,44.10 ⁰²	2,52.10 ⁰²	1,58.10 ⁰¹	1,65.10 ⁰²	1,77.10 ⁰¹	1,47.10 ⁰¹	1,36.10 ⁰¹	1,36.10 ⁰¹	3,92.10 ⁰³	4,21.10 ⁰³	1,31.10 ⁰⁰
	%	100%	14,31%	3,31%	6,88%	1,60%	7,19%	1,67%	0,78%	4,87%	0,51%	5,45%	4,52%	4,17%	4,17%	0,12%	0,13%	40,31%
Aquecimento global	kg CO2 eq	2,45.10 ⁰¹	3,00.10 ⁰²	7,41.10 ⁰³	1,64.10 ⁰²	2,96.10 ⁰³	1,80.10 ⁰²	3,16.10 ⁰³	1,52.10 ⁰³	1,48.10 ⁰²	1,08.10 ⁰³	1,65.10 ⁰²	1,61.10 ⁰²	1,09.10 ⁰²	1,26.10 ⁰²	4,13.10 ⁰⁴	2,87.10 ⁰⁴	9,27.10 ⁰²
	%	100%	12,25%	3,03%	6,70%	1,21%	7,35%	1,29%	0,62%	6,07%	0,44%	6,73%	6,57%	4,44%	5,15%	0,17%	0,12%	37,87%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	3,50.10 ⁰⁸	4,34.10 ⁰⁹	9,96.10 ¹⁰	1,92.10 ⁰⁹	5,39.10 ¹⁰	1,77.10 ⁰⁹	5,51.10 ¹⁰	2,47.10 ¹⁰	1,39.10 ⁰⁹	1,53.10 ¹⁰	2,08.10 ⁰⁹	9,33.10 ¹⁰	1,69.10 ⁰⁹	1,59.10 ⁰⁹	3,68.10 ¹¹	5,35.10 ¹¹	1,67.10 ⁰⁸
	%	100%	12,42%	2,85%	5,51%	1,54%	5,05%	1,58%	0,71%	3,99%	0,44%	5,95%	2,67%	4,84%	4,55%	0,11%	0,15%	47,64%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	5,99.10 ⁰²	1,03.10 ⁰²	1,61.10 ⁰³	3,14.10 ⁰³	8,39.10 ⁰⁴	3,29.10 ⁰³	8,94.10 ⁰⁴	4,09.10 ⁰⁴	3,92.10 ⁰³	3,15.10 ⁰⁴	2,96.10 ⁰³	2,80.10 ⁰³	1,68.10 ⁰³	2,27.10 ⁰³	4,07.10 ⁰⁵	1,13.10 ⁰⁴	2,54.10 ⁰²
	%	100%	17,19%	2,69%	5,25%	1,40%	5,48%	1,49%	0,68%	6,54%	0,53%	4,94%	4,67%	2,80%	3,78%	0,07%	0,19%	42,31%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	3,60.10 ⁰³	5,41.10 ⁰⁴	8,71.10 ⁰⁵	1,50.10 ⁰⁴	4,85.10 ⁰⁵	1,50.10 ⁰⁴	4,96.10 ⁰⁵	2,29.10 ⁰⁵	3,09.10 ⁰⁴	1,82.10 ⁰⁵	5,19.10 ⁰⁴	2,76.10 ⁰⁴	9,44.10 ⁰⁵	3,97.10 ⁰⁴	4,63.10 ⁰⁶	3,74.10 ⁰⁶	9,27.10 ⁰⁴
	%	100%	15,03%	2,42%	4,17%	1,35%	4,18%	1,38%	0,64%	8,59%	0,51%	7,67%	2,62%	11,03%	0,13%	0,10%	0,10%	25,77%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	8,04.10 ⁰¹	8,31.10 ⁰⁰	2,81.10 ⁰⁰	6,45.10 ⁰⁰	3,71.10 ⁰¹	9,29.10 ⁰⁰	3,11.10 ⁰¹	6,86.10 ⁰⁰	2,43.10 ⁰¹	1,07.10 ⁰¹	1,54.10 ⁰¹	5,77.10 ⁰⁰	8,15.10 ⁰⁰	9,17.10 ⁰²	2,01.10 ⁰²	5,20.10 ⁰⁰	6,47%
	%	100%	10,33%	3,50%	8,02%	0,46%	11,56%	0,56%	0,39%	8,54%	0,30%	13,25%	19,16%	7,18%	10,14%	0,11%	0,03%	6,47%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	3,22.10 ⁰⁴	7,32.10 ⁰⁵	6,73.10 ⁰⁶	1,38.10 ⁰⁵	2,68.10 ⁰⁶	1,47.10 ⁰⁵	3,05.10 ⁰⁶	1,44.10 ⁰⁶	4,18.10 ⁰⁵	7,45.10 ⁰⁶	1,75.10 ⁰⁵	4,20.10 ⁰⁵	1,05.10 ⁰⁵	1,34.10 ⁰⁵	2,21.10 ⁰⁷	3,12.10 ⁰⁷	7,33.10 ⁰⁵
	%	100%	22,73%	2,09%	4,29%	0,83%	4,55%	0,95%	0,45%	12,97%	2,31%	5,43%	13,03%	3,27%	4,16%	0,07%	0,10%	22,77%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq	6,19.10 ⁰⁵	1,33.10 ⁰⁵	2,69.10 ⁰⁶	4,90.10 ⁰⁶	1,49.10 ⁰⁶	4,47.10 ⁰⁶	1,50.10 ⁰⁶	7,15.10 ⁰⁷	4,84.10 ⁰⁶	2,43.10 ⁰⁷	5,60.10 ⁰⁶	6,69.10 ⁰⁶	3,25.10 ⁰⁶	4,29.10 ⁰⁶	7,77.10 ⁰⁸	2,45.10 ⁰⁸	7,85.10 ⁰⁶
	%	100%	21,50%	4,34%	7,92%	2,40%	7,22%	2,41%	1,15%	7,81%	0,39%	9,05%	10,80%	5,25%	6,92%	0,13%	0,04%	12,67%
Acidificação	kg SO2 eq	1,67.10 ⁰³	3,97.10 ⁰⁴	8,50.10 ⁰⁵	1,57.10 ⁰⁴	5,19.10 ⁰⁵	1,44.10 ⁰⁴	5,13.10 ⁰⁵	2,44.10 ⁰⁵	1,28.10 ⁰⁴	6,92.10 ⁰⁶	1,30.10 ⁰⁴	1,70.10 ⁰⁴	5,90.10 ⁰⁵	9,92.10 ⁰⁵	1,83.10 ⁰⁶	5,19.10 ⁰⁷	1,62.10 ⁰⁴
	%	100%	23,80%	9,44%	5,10%	9,44%	3,11%	8,62%	3,07%	1,46%	0,42%	7,78%	10,20%	3,54%	5,95%	0,11%	0,03%	9,71%
Eutrofização	kg PO4--- eq	2,02.10 ⁰⁴	4,58.10 ⁰⁵	9,36.10 ⁰⁶	1,92.10 ⁰⁵	6,02.10 ⁰⁶	1,86.10 ⁰⁵	5,98.10 ⁰⁶	2,81.10 ⁰⁶	1,06.10 ⁰⁵	8,43.10 ⁰⁷	1,63.10 ⁰⁵	2,80.10 ⁰⁵	6,24.10 ⁰⁶	1,25.10 ⁰⁵	1,77.10 ⁰⁷	6,14.10 ⁰⁸	1,93.10 ⁰⁵
	%	100%	22,69%	4,64%	9,49%	2,98%	9,21%	2,96%	1,39%	5,27%	0,42%	8,09%	13,89%	3,09%	6,19%	0,09%	0,03%	9,58%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 31 - Resultados referentes a preparação de massa

Categoria de impacto	Unidade	Total	Emissão de Material particulado	Emissão de NO2	Emissão de SO2	Água tratada na ETA	Albita	Argila	Argilito	Bentonita	Cálcário	Caulim	Feldspato	Filito	Granito	Nefelina	Talco	Tratamento das quebras (britagem) - Resíduo de retorno	Transporte (capacidade do caminhão: >32)	Transporte (capacidade do caminhão: 16-32)	Energia elétrica	Gás natural	Carvão
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq	1.69.10 ⁰⁵	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	7.44.10 ⁰⁹	4.44.10 ⁰⁷	1.23.10 ⁰⁸	5.39.10 ¹⁰	8.96.10 ⁰⁸	1.79.10 ⁰⁸	1.32.10 ⁰⁵	1.23.10 ⁰⁶	3.31.10 ⁰⁷	4.52.10 ⁰⁷	6.27.10 ⁰⁷	1.61.10 ⁰⁸	6.21.10 ¹⁰	1.30.10 ⁰⁷	3.40.10 ⁰⁹	1.26.10 ⁰⁷	1.74.10 ⁰⁸	2.27.10 ⁰⁷
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,07%	0,07%	0,00%	0,53%	0,11%	77,76%	7,28%	1,95%	2,67%	3,70%	0,10%	0,00%	0,77%	0,20%	0,74%	0,10%	1,34%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ	9.49.10 ⁰¹	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	5.29.10 ⁰³	2.54.10 ⁰¹	3.70.10 ⁰¹	1.62.10 ⁰²	2.52.10 ⁰²	3.10.10 ⁰²	4.57.10 ⁰⁰	7.05.10 ⁰¹	1.89.10 ⁰¹	6.91.10 ⁰⁰	3.59.10 ⁰¹	1.63.10 ⁰¹	5.24.10 ⁰²	5.81.10 ⁰⁰	1.53.10 ⁰³	2.87.10 ⁰⁰	3.37.10 ⁰¹	3.74.10 ⁰¹
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,27%	0,39%	0,02%	0,03%	0,03%	4,82%	0,74%	0,20%	7,28%	0,38%	0,17%	0,06%	6,12%	1,61%	3,02%	35,48%	39,38%
Aquecimento global	kg CO2 eq	2.75.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	5.56.10 ⁰⁴	1.66.10 ⁰²	2.65.10 ⁰²	1.16.10 ⁰³	2.01.10 ⁰³	2.50.10 ⁰³	4.08.10 ⁰¹	4.60.10 ⁰²	1.23.10 ⁰²	6.02.10 ⁰¹	2.34.10 ⁰²	1.62.10 ⁰²	1.12.10 ⁰³	3.96.10 ⁰¹	1.08.10 ⁰¹	3.02.10 ⁰¹	2.38.10 ⁰¹	5.49.10 ⁰¹
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,60%	0,96%	0,04%	0,07%	0,09%	14,81%	1,67%	0,45%	21,88%	0,85%	0,59%	0,04%	14,40%	3,92%	10,98%	8,66%	19,96%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	2.46.10 ⁰⁷	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	4.96.10 ¹¹	2.47.10 ⁰⁹	4.77.10 ⁰⁹	2.09.10 ¹⁰	2.80.10 ¹⁰	3.60.10 ¹⁰	3.39.10 ⁰⁸	6.87.10 ⁰⁹	1.84.10 ⁰⁹	4.26.10 ⁰⁸	3.49.10 ⁰⁹	5.63.10 ¹⁰	6.44.10 ¹⁰	7.39.10 ⁰⁸	1.94.10 ⁰⁸	2.27.10 ⁰⁸	5.89.10 ⁰⁹	2.61.10 ⁰⁸
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	1,01%	1,94%	0,08%	0,11%	0,15%	13,77%	2,79%	0,75%	17,30%	1,42%	0,23%	0,26%	30,04%	7,89%	9,23%	26,99%	10,61%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	7.11.10 ⁰¹	1.27.10 ⁰²	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	5.49.10 ⁰⁵	3.65.10 ⁰³	1.55.10 ⁰³	6.77.10 ⁰⁵	3.13.10 ⁰⁴	2.67.10 ⁰⁴	5.86.10 ⁰²	1.01.10 ⁰²	2.72.10 ⁰³	8.97.10 ⁰²	5.15.10 ⁰³	2.56.10 ⁰³	1.75.10 ⁰⁴	1.55.10 ⁰¹	2.95.10 ⁰²	2.72.10 ⁰²	2.63.10 ⁰¹	4.85.10 ⁰²
	%	100%	1,79%	0,00%	0,00%	0,01%	0,51%	0,22%	0,01%	0,04%	0,04%	8,24%	1,42%	0,38%	12,61%	0,72%	0,36%	0,02%	21,84%	4,15%	3,83%	36,99%	6,81%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	1.16.10 ⁰¹	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	6.25.10 ⁰⁶	7.30.10 ⁰⁵	1.08.10 ⁰⁴	4.73.10 ⁰⁶	1.53.10 ⁰⁵	3.03.10 ⁰⁵	2.71.10 ⁰⁶	2.03.10 ⁰⁴	5.43.10 ⁰⁵	3.42.10 ⁰³	1.03.10 ⁰⁴	9.07.10 ⁰⁵	2.10.10 ⁰⁵	5.17.10 ⁰³	1.08.10 ⁰³	3.46.10 ⁰³	9.49.10 ⁰²	4.40.10 ⁰³
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,06%	0,09%	0,00%	0,01%	0,03%	2,34%	0,17%	0,05%	2,96%	0,09%	0,08%	0,02%	4,46%	0,23%	2,99%	81,92%	3,80%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	1.20.10 ⁰³	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	1.24.10 ⁰¹	2.11.10 ⁰⁰	7.63.10 ⁰¹	3.35.10 ⁰²	3.32.10 ⁰¹	3.83.10 ⁰¹	2.66.10 ⁰²	5.85.10 ⁰⁰	1.57.10 ⁰⁰	3.88.10 ⁰²	2.97.10 ⁰⁰	1.13.10 ⁰¹	2.20.10 ⁰¹	2.78.10 ⁰¹	6.06.10 ⁰⁰	5.64.10 ⁰¹	3.58.10 ⁰²	7.18.10 ⁰¹
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,18%	0,06%	0,00%	0,03%	0,03%	22,18%	0,49%	0,13%	32,34%	0,25%	0,94%	0,02%	2,31%	0,51%	4,70%	29,83%	5,99%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	1.99.10 ⁰³	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	0,00.10 ⁰⁰	2.98.10 ⁰⁷	2.10.10 ⁰⁵	4.42.10 ⁰⁶	1.94.10 ⁰⁷	1.61.10 ⁰⁶	9.10.10 ⁰⁶	3.68.10 ⁰⁴	5.84.10 ⁰⁶	1.57.10 ⁰⁵	4.71.10 ⁰⁴	2.97.10 ⁰⁵	1.85.10 ⁰⁵	7.51.10 ⁰⁷	4.30.10 ⁰⁴	8.54.10 ⁰⁵	1.25.10 ⁰⁴	6.34.10 ⁰⁵	2.85.10 ⁰⁴
	%	100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	1,06%	0,22%	0,01%	0,08%	0,46%	18,50%	2,94%	0,79%	23,72%	1,49%	0,93%	0,04%	21,64%	4,30%	6,31%	3,19%	14,31%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq	1.09.10 ⁰³	0,00.10 ⁰⁰	3.96.10 ⁰⁵	3.60.10 ⁰⁴	1.05.10 ⁰⁷	1.98.10 ⁰⁶	4.02.10 ⁰⁶	1.76.10 ⁰⁷	4.08.10 ⁰⁷	9.51.10 ⁰⁷	8.49.10 ⁰⁶	5.49.10 ⁰⁶	1.47.10 ⁰⁶	9.87.10 ⁰⁵	2.79.10 ⁰⁶	3.90.10 ⁰⁶	2.97.10 ⁰⁷	3.38.10 ⁰⁵	9.14.10 ⁰⁶	5.45.10 ⁰⁵	1.18.10 ⁰⁴	2.66.10 ⁰⁴
	%	100%	0,00%	3,65%	33,14%	0,01%	0,18%	0,37%	0,02%	0,04%	0,09%	7,82%	0,51%	0,14%	9,10%	0,26%	0,36%	0,03%	3,12%	0,84%	5,02%	10,84%	24,48%
Acidificação	kg SO2 eq	2.49.10 ⁰²	0,00.10 ⁰⁰	7.08.10 ⁰⁴	9.00.10 ⁰³	2.47.10 ⁰⁶	4.60.10 ⁰⁵	2.05.10 ⁰⁴	9.00.10 ⁰⁶	1.34.10 ⁰⁵	3.71.10 ⁰⁵	1.97.10 ⁰³	1.28.10 ⁰⁴	3.42.10 ⁰⁵	2.91.10 ⁰³	6.49.10 ⁰⁵	9.23.10 ⁰⁵	7.07.10 ⁰⁶	7.16.10 ⁰⁴	1.89.10 ⁰⁴	1.22.10 ⁰³	1.56.10 ⁰³	5.98.10 ⁰³
	%	100%	0,00%	2,84%	36,16%	0,01%	0,18%	0,83%	0,04%	0,05%	0,15%	7,91%	0,51%	0,14%	11,68%	0,26%	0,37%	0,03%	2,88%	0,76%	4,90%	6,25%	24,05%
Eutrofização	kg PO4--- eq	2.09.10 ⁰³	0,00.10 ⁰⁰	1.84.10 ⁰⁴	0,00.10 ⁰⁰	2.39.10 ⁰⁷	7.89.10 ⁰⁶	4.55.10 ⁰⁵	1.99.10 ⁰⁶	2.41.10 ⁰⁶	8.50.10 ⁰⁶	7.16.10 ⁰⁴	2.19.10 ⁰⁵	5.88.10 ⁰⁶	4.24.10 ⁰⁴	1.11.10 ⁰⁵	1.05.10 ⁰⁶	7.04.10 ⁰⁷	8.48.10 ⁰⁵	2.25.10 ⁰⁶	1.08.10 ⁰⁴	4.10.10 ⁰⁵	9.36.10 ⁰⁵
	%	100%	0,00%	8,79%	0,00%	0,01%	0,38%	2,12%	0,10%	0,12%	0,41%	0,40%	1,05%	0,28%	20,28%	0,53%	0,50%	0,03%	4,05%	1,08%	5,12%	1,06%	44,71%

Tabela 32 - Resultados referentes a prensagem

Categoria de impacto	Unidade	Total	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$6,31 \cdot 10^{-08}$ 100%	$6,31 \cdot 10^{-08}$ 100%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$1,44 \cdot 10^{00}$ 100%	$1,44 \cdot 10^{00}$ 100%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$1,52 \cdot 10^{-01}$ 100%	$1,52 \cdot 10^{-01}$ 100%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$1,14 \cdot 10^{-08}$ 100%	$1,14 \cdot 10^{-08}$ 100%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$1,37 \cdot 10^{-02}$ 100%	$1,37 \cdot 10^{-02}$ 100%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$1,74 \cdot 10^{-03}$ 100%	$1,74 \cdot 10^{-03}$ 100%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$2,83 \cdot 10^{01}$ 100%	$2,83 \cdot 10^{01}$ 100%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$6,30 \cdot 10^{-05}$ 100%	$6,30 \cdot 10^{-05}$ 100%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$2,73663 \cdot 10^{-05}$ 100%	$2,7366 \cdot 10^{-05}$ 100%
Acidificação	kg SO2 eq %	$6,12 \cdot 10^{-04}$ 100%	$6,12 \cdot 10^{-04}$ 100%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$5,44 \cdot 10^{-05}$ 100%	$5,44 \cdot 10^{-05}$ 100%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 33 – Resultados referentes a secagem

Categoria de impacto	Unidade	Total	Gás natural	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$3,56 \cdot 10^{-08}$ 100,00%	$6,31 \cdot 10^{-09}$ 17,72%	$2,93 \cdot 10^{-08}$ 82,28%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$1,28 \cdot 10^{01}$ 100,00%	$1,22 \cdot 10^{01}$ 94,79%	$6,70 \cdot 10^{-01}$ 5,21%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$1,57 \cdot 10^{-01}$ 100,00%	$8,62 \cdot 10^{-02}$ 55,01%	$7,05 \cdot 10^{-02}$ 44,99%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$7,42 \cdot 10^{-09}$ 100,00%	$2,13 \cdot 10^{-09}$ 28,67%	$5,29 \cdot 10^{-09}$ 71,33%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$1,01 \cdot 10^{-01}$ 100,00%	$9,51 \cdot 10^{-02}$ 93,74%	$6,35 \cdot 10^{-03}$ 6,26%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$3,51 \cdot 10^{-02}$ 100,00%	$3,43 \cdot 10^{-02}$ 97,70%	$8,07 \cdot 10^{-04}$ 2,30%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$1,43 \cdot 10^{02}$ 100,00%	$1,29 \cdot 10^{02}$ 90,77%	$1,32 \cdot 10^{01}$ 9,23%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$5,22 \cdot 10^{-05}$ 100,00%	$2,29 \cdot 10^{-05}$ 43,92%	$2,93 \cdot 10^{-05}$ 56,08%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$5,53 \cdot 10^{-05}$ 100,00%	$4,26 \cdot 10^{-05}$ 77,00%	$1,27 \cdot 10^{-05}$ 23,00%
Acidificação	kg SO2 eq %	$8,47 \cdot 10^{-04}$ 100,00%	$5,62 \cdot 10^{-04}$ 66,42%	$2,84 \cdot 10^{-04}$ 33,58%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$4,01 \cdot 10^{-05}$ 100,00%	$1,48 \cdot 10^{-05}$ 36,97%	$2,53 \cdot 10^{-05}$ 63,03%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 34 - Resultados referentes a esmaltação

Categoria de impacto	Unidade	Total	Água tratada na ETA	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	3,24.10 ⁻⁰⁸ 100,00%	1,13.10 ⁻⁰⁸ 34,97%	2,10.10 ⁻⁰⁸ 65,03%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	4,89.10 ⁻⁰¹ 100,00%	8,04.10 ⁻⁰³ 1,64%	4,81.10 ⁻⁰¹ 98,36%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	5,15.10 ⁻⁰² 100,00%	8,46.10 ⁻⁰⁴ 1,64%	5,07.10 ⁻⁰² 98,36%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	3,88.10 ⁻⁰⁹ 100,00%	7,54.10 ⁻¹¹ 1,94%	3,81.10 ⁻⁰⁹ 98,06%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	4,65.10 ⁻⁰³ 100,00%	8,35.10 ⁻⁰⁵ 1,80%	4,57.10 ⁻⁰³ 98,20%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	5,89.10 ⁻⁰⁴ 100,00%	9,50.10 ⁻⁰⁶ 1,61%	5,80.10 ⁻⁰⁴ 98,39%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	9,64.10 ⁰⁰ 100,00%	1,88.10 ⁻⁰¹ 1,95%	9,46.10 ⁰⁰ 98,05%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	2,15.10 ⁻⁰⁵ 100,00%	4,53.10 ⁻⁰⁷ 2,11%	2,10.10 ⁻⁰⁵ 97,89%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	9,29.10 ⁻⁰⁶ 100,00%	1,59.10 ⁻⁰⁷ 1,71%	9,13.10 ⁻⁰⁶ 98,29%
Acidificação	kg SO2 eq %	2,08.10 ⁻⁰⁴ 100,00%	3,75.10 ⁻⁰⁶ 1,80%	2,04.10 ⁻⁰⁴ 98,20%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	1,85.10 ⁻⁰⁵ 100,00%	3,64.10 ⁻⁰⁷ 1,96%	1,82.10 ⁻⁰⁵ 98,04%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 35 – Resultados referentes a queima

Categoria de impacto	Unidade	Total	Energia elétrica	Gás natural
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	8,93.10 ⁻⁰⁸ 100%	6,36.10 ⁻⁰⁸ 71,22%	2,57.10 ⁻⁰⁸ 28,78%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	5,11.10 ⁰¹ 100%	1,45.10 ⁰⁰ 2,85%	4,96.10 ⁰¹ 97,15%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	5,05.10 ⁻⁰¹ 100%	1,53.10 ⁻⁰¹ 30,36%	3,51.10 ⁻⁰¹ 69,64%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	2,02.10 ⁻⁰⁸ 100%	1,15.10 ⁻⁰⁸ 57,02%	8,67.10 ⁻⁰⁹ 42,98%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	4,01.10 ⁻⁰¹ 100%	1,38.10 ⁻⁰² 3,44%	3,88.10 ⁻⁰¹ 96,56%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	1,42.10 ⁻⁰¹ 100%	1,75.10 ⁻⁰³ 1,24%	1,40.10 ⁻⁰¹ 98,76%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	5,56.10 ⁰² 100%	2,86.10 ⁰¹ 5,14%	5,27.10 ⁰² 94,86%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	1,57.10 ⁻⁰⁴ 100%	6,36.10 ⁻⁰⁵ 40,50%	9,34.10 ⁻⁰⁵ 59,50%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	2,01.10 ⁻⁰⁴ 100%	2,76.10 ⁻⁰⁵ 13,73%	1,73.10 ⁻⁰⁴ 86,27%
Acidificação	kg SO2 eq %	2,91.10 ⁻⁰³ 100%	6,18.10 ⁻⁰⁴ 21,23%	2,29.10 ⁻⁰³ 78,77%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	1,15.10 ⁻⁰⁴ 100%	5,49.10 ⁻⁰⁵ 47,62%	6,04.10 ⁻⁰⁵ 52,38%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 36 – Resultados referentes a retífica

Categoria de impacto	Unidade	Total	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$1,60.10^{-08}$ 100%	$1,60.10^{-08}$ 100%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$3,66.10^{-01}$ 100%	$3,66.10^{-01}$ 100%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$3,85.10^{-02}$ 100%	$3,85.10^{-02}$ 100%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$2,89.10^{-09}$ 100%	$2,89.10^{-09}$ 100%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$3,47.10^{-03}$ 100%	$3,47.10^{-03}$ 100%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$4,41.10^{-04}$ 100%	$4,41.10^{-04}$ 100%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$7,18.10^{00}$ 100%	$7,18.10^{00}$ 100%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$1,60.10^{-05}$ 100%	$1,60.10^{-05}$ 100%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$6,94.10^{-06}$ 100%	$6,94.10^{-06}$ 100%
Acidificação	kg SO2 eq %	$1,55.10^{-04}$ 100%	$1,55.10^{-04}$ 100%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$1,38.10^{-05}$ 100%	$1,38.10^{-05}$ 100%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 37 – Resultados referentes a polimento

Categoria de impacto	Unidade	Total	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$1,08.10^{-08}$ 100%	$1,08.10^{-08}$ 100%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$2,46.10^{-01}$ 100%	$2,46.10^{-01}$ 100%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$2,59.10^{-02}$ 100%	$2,59.10^{-02}$ 100%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$1,95.10^{-09}$ 100%	$1,95.10^{-09}$ 100%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$2,34.10^{-03}$ 100%	$2,34.10^{-03}$ 100%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$2,97.10^{-04}$ 100%	$2,97.10^{-04}$ 100%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$4,84.10^{00}$ 100%	$4,84.10^{00}$ 100%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$1,08.10^{-05}$ 100%	$1,08.10^{-05}$ 100%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$4,67.10^{-06}$ 100%	$4,67.10^{-06}$ 100%
Acidificação	kg SO2 eq %	$1,05.10^{-04}$ 100%	$1,05.10^{-04}$ 100%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$9,29.10^{-06}$ 100%	$9,29.10^{-06}$ 100%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 38 - Resultados referentes a ponto de cola

Categoria de impacto	Unidade	Total	Cola PVC Homopolímero	Gás natural	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$2,26.10^{-08}$ 100%	$1,99.10^{-08}$ 88,09%	$1,04.10^{-10}$ 0,46%	$2,59.10^{-09}$ 11,45%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$3,84.10^{-01}$ 100%	$1,24.10^{-01}$ 32,36%	$2,00.10^{-01}$ 52,18%	$5,93.10^{-02}$ 15,46%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$1,34.10^{-02}$ 100%	$5,72.10^{-03}$ 42,74%	$1,42.10^{-03}$ 10,59%	$6,25.10^{-03}$ 46,67%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$3,48.10^{-09}$ 100%	$2,97.10^{-09}$ 85,51%	$3,50.10^{-11}$ 1,01%	$4,69.10^{-10}$ 13,49%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$2,71.10^{-03}$ 100%	$5,88.10^{-04}$ 21,67%	$1,56.10^{-03}$ 57,60%	$5,63.10^{-04}$ 20,73%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$6,86.10^{-04}$ 100%	$5,03.10^{-05}$ 7,34%	$5,64.10^{-04}$ 82,23%	$7,15.10^{-05}$ 10,42%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$5,39.10^{00}$ 100%	$2,10.10^{00}$ 38,94%	$2,13.10^{00}$ 39,44%	$1,17.10^{00}$ 21,62%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$7,47.10^{-06}$ 100%	$4,50.10^{-06}$ 60,27%	$3,77.10^{-07}$ 5,04%	$2,59.10^{-06}$ 34,69%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$3,01.10^{-06}$ 100%	$1,19.10^{-06}$ 39,41%	$6,99.10^{-07}$ 23,22%	$1,13.10^{-06}$ 37,37%
Acidificação	kg SO2 eq %	$5,44.10^{-05}$ 100%	$1,99.10^{-05}$ 36,69%	$9,24.10^{-06}$ 17,00%	$2,52.10^{-05}$ 46,31%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$4,86.10^{-06}$ 100%	$2,38.10^{-06}$ 48,93%	$2,43.10^{-07}$ 5,01%	$2,24.10^{-06}$ 46,05%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 39 - Resultados referentes a classificação e embalagem

Categoria de impacto	Unidade	Total	Cera protetiva	Energia elétrica	Caixa de papelão	Chapa de papelão	Plástico filme de polietileno	Pallet	Etiquetas	Tinta de embalagem	Filme stretch	Cantoneira	Cola para embalagem	Filinho (polietileno)	Filinho (polipropileno)	Selo galvanizado	Suporte de metal triangular para cantos	Fita adesiva	Transporte (capacidade do caminhão: 16-32)
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	1,91.10 ⁻⁰⁵ 100%	3,58.10 ⁻¹⁰ 0,00%	7,25.10 ⁻⁰⁹ 0,04%	4,43.10 ⁻⁰⁶ 23,24%	1,27.10 ⁻⁰⁵ 66,32%	4,27.10 ⁻⁰⁸ 0,22%	5,76.10 ⁻⁰⁷ 3,02%	8,03.10 ⁻⁰⁸ 0,42%	3,72.10 ⁻¹⁰ 0,00%	8,12.10 ⁻⁰⁷ 4,25%	4,53.10 ⁻⁰⁷ 2,37%	2,69.10 ⁻⁰⁹ 0,01%	5,32.10 ⁻⁰⁹ 0,03%	5,55.10 ⁻⁰⁹ 0,03%	1,54.10 ⁻⁰⁹ 0,01%	4,83.10 ⁻¹⁰ 0,00%	2,58.10 ⁻¹⁰ 0,00%	3,67.10 ⁻⁰⁹ 0,02%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	7,12.10 ⁰⁰ 100%	6,16.10 ⁻⁰² 0,86%	1,66.10 ⁻⁰¹ 2,33%	1,20.10 ⁰⁰ 16,81%	2,41.10 ⁰⁰ 33,79%	5,79.10 ⁻⁰² 0,81%	1,58.10 ⁰⁰ 22,22%	1,73.10 ⁻⁰² 0,24%	5,44.10 ⁻⁰⁴ 0,01%	1,10.10 ⁰⁰ 15,46%	8,62.10 ⁻⁰² 1,21%	1,84.10 ⁻⁰³ 0,03%	1,33.10 ⁻⁰¹ 1,86%	1,36.10 ⁻⁰¹ 1,90%	3,42.10 ⁻⁰³ 0,05%	1,08.10 ⁻⁰³ 0,02%	6,31.10 ⁻⁰³ 0,09%	1,65.10 ⁻⁰¹ 2,31%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	4,93.10 ⁻⁰¹ 100%	1,08.10 ⁻⁰³ 0,22%	1,75.10 ⁻⁰² 3,54%	9,96.10 ⁻⁰² 20,22%	2,06.10 ⁻⁰¹ 41,88%	2,16.10 ⁻⁰³ 0,44%	9,53.10 ⁻⁰² 19,35%	1,49.10 ⁻⁰³ 0,30%	4,19.10 ⁻⁰⁵ 0,01%	4,10.10 ⁻⁰² 8,33%	7,39.10 ⁻⁰³ 1,50%	6,57.10 ⁻⁰⁵ 0,01%	4,16.10 ⁻⁰³ 0,84%	4,10.10 ⁻⁰³ 0,83%	4,84.10 ⁻⁰⁴ 0,10%	1,52.10 ⁻⁰⁴ 0,03%	1,91.10 ⁻⁰⁴ 0,04%	1,16.10 ⁻⁰² 2,36%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	3,88.10 ⁻⁰⁸ 100%	7,98.10 ⁻¹⁰ 2,06%	1,31.10 ⁻⁰⁹ 3,38%	7,66.10 ⁻⁰⁹ 19,76%	1,49.10 ⁻⁰⁸ 38,54%	7,12.10 ⁻¹¹ 0,18%	9,69.10 ⁻⁰⁹ 25,00%	1,08.10 ⁻¹⁰ 0,28%	3,85.10 ⁻¹² 0,01%	1,35.10 ⁻⁰⁹ 3,49%	5,35.10 ⁻¹⁰ 1,38%	7,16.10 ⁻¹² 0,02%	9,70.10 ⁻¹¹ 0,25%	6,91.10 ⁻¹¹ 0,18%	1,79.10 ⁻¹¹ 0,05%	5,62.10 ⁻¹² 0,01%	3,22.10 ⁻¹² 0,01%	2,09.10 ⁻⁰⁹ 5,40%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	2,40.10 ⁻⁰¹ 100%	2,90.10 ⁻⁰⁴ 0,12%	1,57.10 ⁻⁰³ 0,66%	3,56.10 ⁻⁰² 14,85%	9,22.10 ⁻⁰² 38,45%	2,01.10 ⁻⁰⁴ 0,08%	9,84.10 ⁻⁰² 41,06%	3,99.10 ⁻⁰⁴ 0,17%	4,88.10 ⁻⁰⁶ 0,00%	3,82.10 ⁻⁰³ 1,59%	3,30.10 ⁻⁰³ 1,38%	4,88.10 ⁻⁰⁵ 0,02%	2,79.10 ⁻⁰⁴ 0,12%	2,08.10 ⁻⁰⁴ 0,09%	1,36.10 ⁻⁰⁴ 0,06%	4,28.10 ⁻⁰⁵ 0,02%	9,66.10 ⁻⁰⁶ 0,00%	3,19.10 ⁻⁰³ 1,33%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	2,97.10 ⁻⁰² 100%	2,16.10 ⁻⁰⁵ 0,07%	2,00.10 ⁻⁰⁴ 0,67%	7,66.10 ⁻⁰³ 25,81%	1,58.10 ⁻⁰² 53,22%	1,05.10 ⁻⁰⁵ 0,04%	5,00.10 ⁻⁰³ 16,86%	6,77.10 ⁻⁰⁵ 0,23%	5,19.10 ⁻⁰⁶ 0,02%	1,99.10 ⁻⁰⁴ 0,67%	5,66.10 ⁻⁰⁴ 1,91%	9,80.10 ⁻⁰⁷ 0,00%	1,51.10 ⁻⁰⁵ 0,05%	1,41.10 ⁻⁰⁵ 0,05%	2,14.10 ⁻⁰⁶ 0,01%	6,72.10 ⁻⁰⁷ 0,00%	6,58.10 ⁻⁰⁷ 0,00%	1,17.10 ⁻⁰⁴ 0,39%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	2,12.10 ⁻⁰² 100%	1,68.10 ⁻⁰¹ 0,08%	3,26.10 ⁻⁰⁰ 1,54%	4,80.10 ⁻⁰¹ 22,71%	1,11.10 ⁻⁰² 52,60%	6,81.10 ⁻⁰¹ 0,32%	2,80.10 ⁻⁰¹ 13,22%	9,62.10 ⁻⁰¹ 0,45%	9,65.10 ⁻⁰³ 0,00%	1,29.10 ⁻⁰¹ 6,12%	3,98.10 ⁻⁰⁰ 1,88%	1,55.10 ⁻⁰² 0,01%	7,37.10 ⁻⁰¹ 0,35%	6,06.10 ⁻⁰¹ 0,29%	1,56.10 ⁻⁰¹ 0,07%	4,91.10 ⁻⁰² 0,02%	2,82.10 ⁻⁰² 0,01%	6,53.10 ⁻⁰¹ 0,31%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	3,23.10 ⁻⁰³ 100%	1,21.10 ⁻⁰⁶ 0,04%	7,25.10 ⁻⁰⁶ 0,22%	9,18.10 ⁻⁰⁴ 28,40%	1,94.10 ⁻⁰³ 60,10%	1,09.10 ⁻⁰⁶ 0,03%	2,43.10 ⁻⁰⁴ 7,51%	1,43.10 ⁻⁰⁵ 0,44%	2,12.10 ⁻⁰⁶ 0,07%	2,06.10 ⁻⁰⁵ 0,64%	6,95.10 ⁻⁰⁵ 2,15%	4,53.10 ⁻⁰⁸ 0,00%	1,23.10 ⁻⁰⁶ 0,04%	1,06.10 ⁻⁰⁶ 0,03%	6,55.10 ⁻⁰⁷ 0,02%	2,06.10 ⁻⁰⁷ 0,01%	4,94.10 ⁻⁰⁸ 0,00%	9,21.10 ⁻⁰⁶ 0,29%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	1,65.10 ⁻⁰⁴ 100%	3,26.10 ⁻⁰⁷ 0,20%	3,15.10 ⁻⁰⁶ 1,90%	2,52.10 ⁻⁰⁵ 15,24%	6,02.10 ⁻⁰⁵ 36,41%	1,10.10 ⁻⁰⁶ 0,66%	4,80.10 ⁻⁰⁵ 28,99%	9,45.10 ⁻⁰⁷ 0,57%	1,33.10 ⁻⁰⁸ 0,01%	2,09.10 ⁻⁰⁵ 12,61%	2,16.10 ⁻⁰⁶ 1,30%	4,92.10 ⁻⁰⁸ 0,03%	1,25.10 ⁻⁰⁶ 0,75%	7,97.10 ⁻⁰⁷ 0,48%	2,68.10 ⁻⁰⁷ 0,16%	8,42.10 ⁻⁰⁸ 0,05%	3,71.10 ⁻⁰⁸ 0,02%	9,86.10 ⁻⁰⁷ 0,60%
Acidificação	kg SO2 eq %	2,07.10 ⁻⁰³ 100%	7,71.10 ⁻⁰⁶ 0,37%	7,04.10 ⁻⁰⁵ 3,41%	4,31.10 ⁻⁰⁴ 20,86%	8,54.10 ⁻⁰⁴ 41,31%	7,78.10 ⁻⁰⁶ 0,38%	4,60.10 ⁻⁰⁴ 22,24%	7,08.10 ⁻⁰⁶ 0,34%	1,22.10 ⁻⁰⁷ 0,01%	1,48.10 ⁻⁰⁴ 7,15%	3,06.10 ⁻⁰⁵ 1,48%	3,11.10 ⁻⁰⁷ 0,02%	1,38.10 ⁻⁰⁵ 0,67%	1,35.10 ⁻⁰⁵ 0,65%	1,50.10 ⁻⁰⁶ 0,07%	4,70.10 ⁻⁰⁷ 0,02%	6,26.10 ⁻⁰⁷ 0,03%	2,03.10 ⁻⁰⁵ 0,98%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	4,51.10 ⁻⁰⁴ 100%	6,59.10 ⁻⁰⁷ 0,15%	6,26.10 ⁻⁰⁶ 1,39%	1,12.10 ⁻⁰⁴ 24,86%	2,16.10 ⁻⁰⁴ 47,80%	8,60.10 ⁻⁰⁷ 0,19%	8,44.10 ⁻⁰⁵ 18,71%	1,61.10 ⁻⁰⁶ 0,36%	4,18.10 ⁻⁰⁸ 0,01%	1,64.10 ⁻⁰⁵ 3,63%	7,72.10 ⁻⁰⁶ 1,71%	3,52.10 ⁻⁰⁸ 0,01%	1,37.10 ⁻⁰⁶ 0,30%	1,29.10 ⁻⁰⁶ 0,29%	2,06.10 ⁻⁰⁷ 0,05%	6,49.10 ⁻⁰⁸ 0,01%	6,02.10 ⁻⁰⁸ 0,01%	2,43.10 ⁻⁰⁶ 0,54%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 40 - Resultados referentes a Preparação de peças especiais

Categoria de impacto	Unidade	Total	Água tratada na ETA	Gás natural
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$3,29.10^{-08}$ 100%	$2,29.10^{-08}$ 69,51%	$1,00.10^{-08}$ 30,49%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$1,94.10^{01}$ 100%	$1,63.10^{-02}$ 0,08%	$1,94.10^{01}$ 99,92%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$1,39.10^{-01}$ 100%	$1,71.10^{-03}$ 1,23%	$1,37.10^{-01}$ 98,77%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$3,54.10^{-09}$ 100%	$1,52.10^{-10}$ 4,31%	$3,39.10^{-09}$ 95,69%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$1,51.10^{-01}$ 100%	$1,69.10^{-04}$ 0,11%	$1,51.10^{-01}$ 99,89%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$5,46.10^{-02}$ 100%	$1,92.10^{-05}$ 0,04%	$5,46.10^{-02}$ 99,96%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$2,06.10^{02}$ 100%	$3,80.10^{-01}$ 0,18%	$2,06.10^{02}$ 99,82%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$3,74.10^{-05}$ 100%	$9,15.10^{-07}$ 2,45%	$3,65.10^{-05}$ 97,55%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$6,80.10^{-05}$ 100%	$3,22.10^{-07}$ 0,47%	$6,77.10^{-05}$ 99,53%
Acidificação	kg SO2 eq %	$9,02.10^{-04}$ 100%	$7,58.10^{-06}$ 0,84%	$8,95.10^{-04}$ 99,16%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$2,43.10^{-05}$ 100%	$7,35.10^{-07}$ 3,02%	$2,36.10^{-05}$ 96,98%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 41 - Resultados referentes a gestão de resíduos

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte (capacidade do caminhão: 3,5- 7,5)	Transporte (capacidade do caminhão: 7,5- 16)	Transporte (capacidade do caminhão: 16- 32)	Transporte (capacidade do caminhão: >32)	Resíduos destinados a aterro
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$8,47.10^{-09}$ 100,00%	$1,75.10^{-09}$ 20,73%	$3,41.10^{-11}$ 0,40%	$4,11.10^{-10}$ 4,85%	$5,44.10^{-09}$ 64,29%	$8,23.10^{-10}$ 9,72%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$3,51.10^{-01}$ 100,00%	$7,87.10^{-02}$ 22,43%	$1,53.10^{-03}$ 0,44%	$1,84.10^{-02}$ 5,25%	$2,44.10^{-01}$ 69,57%	$8,08.10^{-03}$ 2,30%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$5,87.10^{-02}$ 100,00%	$5,62.10^{-03}$ 9,57%	$1,09.10^{-04}$ 0,19%	$1,30.10^{-03}$ 2,22%	$1,66.10^{-02}$ 28,33%	$3,51.10^{-02}$ 59,69%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$4,42.10^{-09}$ 100,00%	$1,00.10^{-09}$ 22,64%	$1,94.10^{-11}$ 0,44%	$2,34.10^{-10}$ 5,30%	$3,10.10^{-09}$ 70,21%	$6,21.10^{-11}$ 1,41%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$9,07.10^{-03}$ 100,00%	$1,05.10^{-03}$ 11,53%	$2,48.10^{-05}$ 0,27%	$3,57.10^{-04}$ 3,93%	$6,52.10^{-03}$ 71,91%	$1,12.10^{-03}$ 12,36%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$4,06.10^{-04}$ 100,00%	$4,38.10^{-05}$ 10,78%	$9,61.10^{-07}$ 0,24%	$1,30.10^{-05}$ 3,21%	$2,17.10^{-04}$ 53,42%	$1,31.10^{-04}$ 32,35%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$1,53.10^{01}$ 100,00%	$2,60.10^{-01}$ 1,70%	$5,54.10^{-03}$ 0,04%	$7,31.10^{-02}$ 0,48%	$1,17.10^{00}$ 7,61%	$1,38.10^{01}$ 90,18%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$2,48.10^{-05}$ 100,00%	$3,23.10^{-06}$ 12,99%	$7,36.10^{-08}$ 0,30%	$1,03.10^{-06}$ 4,15%	$1,81.10^{-05}$ 72,73%	$2,44.10^{-06}$ 9,83%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$9,49.10^{-06}$ 100,00%	$4,45.10^{-07}$ 4,69%	$8,84.10^{-09}$ 0,09%	$1,10.10^{-07}$ 1,16%	$1,42.10^{-06}$ 14,96%	$7,51.10^{-06}$ 79,09%
Acidificação	kg SO2 eq %	$4,82.10^{-05}$ 100,00%	$9,54.10^{-06}$ 19,81%	$1,88.10^{-07}$ 0,39%	$2,28.10^{-06}$ 4,73%	$3,01.10^{-05}$ 62,40%	$6,11.10^{-06}$ 12,68%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$3,78.10^{-05}$ 100,00%	$1,11.10^{-06}$ 2,93%	$2,23.10^{-08}$ 0,06%	$2,72.10^{-07}$ 0,72%	$3,56.10^{-06}$ 9,43%	$3,28.10^{-05}$ 86,86%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 42 - Resultados referentes a estação de tratamento de efluentes

Categoria de impacto	Unidade	Total	Sulfato de Alumínio (coagulante)	Peróxido de Hidrogênio (floculante)	Cal Virgem	Aditivo desincrustante - Ácido clorídrico 5-20%	Praestol 851BC (Defloc HI 460 - polímetro catiônico)	Energia elétrica
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$3,75.10^{-07}$ 100,00%	$2,75.10^{-07}$ 73,44%	$1,08.10^{-09}$ 0,29%	$4,84.10^{-12}$ 0,00%	$8,82.10^{-08}$ 23,53%	$9,64.10^{-09}$ 2,57%	$6,50.10^{-10}$ 0,17%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$4,36.10^{-02}$ 100,00%	$1,18.10^{-02}$ 27,05%	$2,47.10^{-03}$ 5,66%	$1,24.10^{-04}$ 0,28%	$1,15.10^{-02}$ 26,37%	$2,85.10^{-03}$ 6,53%	$1,49.10^{-02}$ 34,10%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$3,89.10^{-03}$ 100,00%	$9,90.10^{-04}$ 25,47%	$1,87.10^{-04}$ 4,82%	$2,91.10^{-05}$ 0,75%	$9,64.10^{-04}$ 24,80%	$1,51.10^{-04}$ 3,88%	$1,57.10^{-03}$ 40,28%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$6,21.10^{-10}$ 100,00%	$6,05.10^{-11}$ 9,75%	$1,37.10^{-11}$ 2,20%	$1,50.10^{-12}$ 0,24%	$4,23.10^{-10}$ 68,23%	$3,93.10^{-12}$ 0,63%	$1,18.10^{-10}$ 18,94%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$5,88.10^{-04}$ 100,00%	$2,22.10^{-04}$ 37,74%	$2,71.10^{-05}$ 4,61%	$2,21.10^{-06}$ 0,38%	$1,82.10^{-04}$ 30,97%	$1,37.10^{-05}$ 2,33%	$1,41.10^{-04}$ 23,97%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$4,47.10^{-05}$ 100,00%	$1,60.10^{-05}$ 35,81%	$2,74.10^{-06}$ 6,12%	$7,11.10^{-08}$ 0,16%	$7,05.10^{-06}$ 15,76%	$9,38.10^{-07}$ 2,10%	$1,79.10^{-05}$ 40,05%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$1,76.10^{00}$ 100,00%	$6,63.10^{-01}$ 37,71%	$8,28.10^{-02}$ 4,71%	$1,40.10^{-03}$ 0,08%	$6,91.10^{-01}$ 39,33%	$2,73.10^{-02}$ 1,55%	$2,92.10^{-01}$ 16,62%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$4,10.10^{-06}$ 100,00%	$1,89.10^{-06}$ 46,01%	$4,58.10^{-07}$ 11,19%	$8,69.10^{-09}$ 0,21%	$1,01.10^{-06}$ 24,70%	$8,38.10^{-08}$ 2,05%	$6,49.10^{-07}$ 15,85%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$1,01.10^{-06}$ 100,00%	$4,16.10^{-07}$ 41,12%	$3,63.10^{-08}$ 3,59%	$5,58.10^{-09}$ 0,55%	$2,35.10^{-07}$ 23,26%	$3,64.10^{-08}$ 3,60%	$2,82.10^{-07}$ 27,88%
Acidificação	kg SO2 eq %	$2,42.10^{-05}$ 100,00%	$1,07.10^{-05}$ 44,21%	$6,63.10^{-07}$ 2,74%	$3,37.10^{-08}$ 0,14%	$5,78.10^{-06}$ 23,92%	$6,95.10^{-07}$ 2,88%	$6,31.10^{-06}$ 26,11%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$1,81.10^{-06}$ 100,00%	$6,14.10^{-07}$ 33,85%	$7,92.10^{-08}$ 4,37%	$3,69.10^{-09}$ 0,20%	$5,09.10^{-07}$ 28,08%	$4,73.10^{-08}$ 2,61%	$5,61.10^{-07}$ 30,90%

Fonte: Autora (2022).

TABELAS DE RESULTADOS – PORTÃO AO TÚMULO

Tabela 43 - Resultados referentes ao módulo A4 (Transporte do portão da fábrica ao cliente)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte rodoviário	Transporte ferroviário	Transporte marítimo	Resíduos de Quebras durante o transporte
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq	$5,63.10^{-07}$	$5,55.10^{-07}$	$1,22.10^{-09}$	$6,50.10^{-09}$	$7,94.10^{-11}$
	%	100,00%	98,61%	0,22%	1,15%	0,01%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ	$3,41.10^{01}$	$3,21.10^{01}$	$4,90.10^{-02}$	$2,00.10^{00}$	$2,01.10^{-03}$
	%	100,00%	93,99%	0,14%	5,86%	0,01%
Aquecimento global	kg CO2 eq	$2,42.10^{00}$	$2,26.10^{00}$	$3,70.10^{-03}$	$1,54.10^{-01}$	$1,56.10^{-04}$
	%	100,00%	93,47%	0,15%	6,38%	0,01%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	$4,36.10^{-07}$	$4,10.10^{-07}$	$5,78.10^{-10}$	$2,58.10^{-08}$	$2,26.10^{-11}$
	%	100,00%	93,95%	0,13%	5,91%	0,01%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	$6,67.10^{-01}$	$6,22.10^{-01}$	$4,16.10^{-04}$	$4,39.10^{-02}$	$1,24.10^{-05}$
	%	100,00%	93,36%	0,06%	6,58%	0,00%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	$2,39.10^{-02}$	$2,27.10^{-02}$	$1,66.10^{-05}$	$1,15.10^{-03}$	$7,66.10^{-07}$
	%	100,00%	95,09%	0,07%	4,84%	0,00%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	$1,43.10^{02}$	$1,25.10^{02}$	$4,94.10^{-01}$	$1,79.10^{01}$	$2,93.10^{-02}$
	%	100,00%	87,15%	0,34%	12,49%	0,02%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	$1,97.10^{-03}$	$1,80.10^{-03}$	$1,19.10^{-06}$	$1,65.10^{-04}$	$6,95.10^{-08}$
	%	100,00%	91,53%	0,06%	8,40%	0,00%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq	$3,00.10^{-04}$	$1,91.10^{-04}$	$6,84.10^{-07}$	$1,08.10^{-04}$	$3,65.10^{-08}$
	%	100,00%	63,80%	0,23%	35,96%	0,01%
Acidificação	kg SO2 eq	$8,20.10^{-03}$	$3,90.10^{-03}$	$2,93.10^{-05}$	$4,27.10^{-03}$	$1,07.10^{-06}$
	%	100,00%	47,53%	0,36%	52,10%	0,01%
Eutrofização	kg PO4--- eq	$9,28.10^{-04}$	$4,64.10^{-04}$	$6,65.10^{-06}$	$4,57.10^{-04}$	$2,18.10^{-07}$
	%	100,00%	50,00%	0,72%	49,26%	0,02%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 44 - Resultados referentes ao módulo A5 (Instalação e processamento de resíduos de embalagem)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Água	Argamassa para assentamento	Resíduo de embalagem (Plástico)	Resíduo de embalagem (Papel e papelão)	Resíduo de embalagem (Madeira)	Resíduo de embalagem (Metais)	Resíduo de quebras durante a instalação
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq	$5,10 \cdot 10^{-07}$	$1,23 \cdot 10^{-09}$	$5,07 \cdot 10^{-07}$	$3,81 \cdot 10^{-11}$	$2,53 \cdot 10^{-10}$	$6,40 \cdot 10^{-10}$	$4,96 \cdot 10^{-13}$	$1,26 \cdot 10^{-09}$
	%	100,00%	0,24%	99,33%	0,01%	0,05%	0,13%	0,00%	0,25%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ	$4,16 \cdot 10^0$	$8,74 \cdot 10^{-04}$	$4,11 \cdot 10^0$	$9,67 \cdot 10^{-04}$	$6,41 \cdot 10^{-03}$	$1,62 \cdot 10^{-02}$	$1,26 \cdot 10^{-05}$	$3,20 \cdot 10^{-02}$
	%	100,00%	0,02%	98,64%	0,02%	0,15%	0,39%	0,00%	0,77%
Aquecimento global	kg CO2 eq	$7,29 \cdot 10^{-01}$	$9,20 \cdot 10^{-05}$	$7,25 \cdot 10^{-01}$	$7,47 \cdot 10^{-05}$	$4,95 \cdot 10^{-04}$	$1,25 \cdot 10^{-03}$	$9,73 \cdot 10^{-07}$	$2,47 \cdot 10^{-03}$
	%	100,00%	0,01%	99,40%	0,01%	0,07%	0,17%	0,00%	0,34%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	$4,48 \cdot 10^{-08}$	$8,19 \cdot 10^{-12}$	$4,42 \cdot 10^{-08}$	$1,08 \cdot 10^{-11}$	$7,19 \cdot 10^{-11}$	$1,82 \cdot 10^{-10}$	$1,41 \cdot 10^{-13}$	$3,59 \cdot 10^{-10}$
	%	100,00%	0,02%	98,59%	0,02%	0,16%	0,41%	0,00%	0,80%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	$6,96 \cdot 10^{-02}$	$9,08 \cdot 10^{-06}$	$6,92 \cdot 10^{-02}$	$5,96 \cdot 10^{-06}$	$3,96 \cdot 10^{-05}$	$1,00 \cdot 10^{-04}$	$7,77 \cdot 10^{-08}$	$1,97 \cdot 10^{-04}$
	%	100,00%	0,01%	99,49%	0,01%	0,06%	0,14%	0,00%	0,28%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	$3,39 \cdot 10^{-03}$	$1,03 \cdot 10^{-06}$	$3,36 \cdot 10^{-03}$	$3,67 \cdot 10^{-07}$	$2,44 \cdot 10^{-06}$	$6,17 \cdot 10^{-06}$	$4,79 \cdot 10^{-09}$	$1,22 \cdot 10^{-05}$
	%	100,00%	0,03%	99,35%	0,01%	0,07%	0,18%	0,00%	0,36%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	$7,80 \cdot 10^{01}$	$2,04 \cdot 10^{-02}$	$7,71 \cdot 10^{01}$	$1,41 \cdot 10^{-02}$	$9,33 \cdot 10^{-02}$	$2,36 \cdot 10^{-01}$	$1,83 \cdot 10^{-04}$	$4,65 \cdot 10^{-01}$
	%	100,00%	0,03%	98,94%	0,02%	0,12%	0,30%	0,00%	0,60%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	$5,04 \cdot 10^{-04}$	$4,92 \cdot 10^{-08}$	$5,02 \cdot 10^{-04}$	$3,33 \cdot 10^{-08}$	$2,21 \cdot 10^{-07}$	$5,60 \cdot 10^{-07}$	$4,34 \cdot 10^{-10}$	$1,10 \cdot 10^{-06}$
	%	100,00%	0,01%	99,61%	0,01%	0,04%	0,11%	0,00%	0,22%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq	$1,22 \cdot 10^{-04}$	$1,73 \cdot 10^{-08}$	$1,21 \cdot 10^{-04}$	$1,75 \cdot 10^{-08}$	$1,16 \cdot 10^{-07}$	$2,94 \cdot 10^{-07}$	$2,28 \cdot 10^{-10}$	$5,79 \cdot 10^{-07}$
	%	100,00%	0,01%	99,16%	0,01%	0,10%	0,24%	0,00%	0,48%
Acidificação	kg SO2 eq	$2,07 \cdot 10^{-03}$	$4,08 \cdot 10^{-07}$	$2,04 \cdot 10^{-03}$	$5,11 \cdot 10^{-07}$	$3,39 \cdot 10^{-06}$	$8,59 \cdot 10^{-06}$	$6,66 \cdot 10^{-09}$	$1,69 \cdot 10^{-05}$
	%	100,00%	0,02%	98,56%	0,02%	0,16%	0,42%	0,00%	0,82%
Eutrofização	kg PO4--- eq	$3,65 \cdot 10^{-04}$	$3,95 \cdot 10^{-08}$	$3,58 \cdot 10^{-04}$	$1,05 \cdot 10^{-07}$	$6,95 \cdot 10^{-07}$	$1,76 \cdot 10^{-06}$	$1,36 \cdot 10^{-09}$	$3,47 \cdot 10^{-06}$
	%	100,00%	0,01%	98,34%	0,03%	0,19%	0,48%	0,00%	0,95%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 45 - Resultados referentes ao módulo B2 (Manutenção dos revestimentos instalados)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Água	Produto de limpeza (detergente)
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$1,79.10^{-09}$ 100,00%	$1,54.10^{-10}$ 8,59%	$1,64.10^{-09}$ 91,41%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$1,21.10^{-02}$ 100,00%	$1,09.10^{-04}$ 0,90%	$1,20.10^{-02}$ 99,10%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$6,00.10^{-04}$ 100,00%	$1,15.10^{-05}$ 1,92%	$5,88.10^{-04}$ 98,08%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$1,97.10^{-11}$ 100,00%	$1,02.10^{-12}$ 5,20%	$1,87.10^{-11}$ 94,80%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$1,04.10^{-02}$ 100,00%	$1,13.10^{-06}$ 0,01%	$1,04.10^{-02}$ 99,99%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$3,06.10^{-03}$ 100,00%	$1,29.10^{-07}$ 0,00%	$3,06.10^{-03}$ 100,00%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$1,71.10^{-01}$ 100,00%	$2,56.10^{-03}$ 1,49%	$1,69.10^{-01}$ 98,51%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$1,36.10^{-03}$ 100,00%	$6,15.10^{-09}$ 0,00%	$1,36.10^{-03}$ 100,00%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$1,23.10^{-06}$ 100,00%	$2,17.10^{-09}$ 0,18%	$1,22.10^{-06}$ 99,82%
Acidificação	kg SO2 eq %	$2,38.10^{-06}$ 100,00%	$5,10.10^{-08}$ 2,14%	$2,33.10^{-06}$ 97,86%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$9,12.10^{-07}$ 100,00%	$4,94.10^{-09}$ 0,54%	$9,07.10^{-07}$ 99,46%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 46 - Resultados referentes ao módulo C2 (Transporte dos revestimentos descartados)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte rodoviário
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	$4,47.10^{-08}$ 100%	$4,47.10^{-08}$ 100%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	$2,58.10^{00}$ 100%	$2,58.10^{00}$ 100%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	$1,82.10^{-01}$ 100%	$1,82.10^{-01}$ 100%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	$3,30.10^{-08}$ 100%	$3,30.10^{-08}$ 100%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	$5,02.10^{-02}$ 100%	$5,02.10^{-02}$ 100%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	$1,83.10^{-03}$ 100%	$1,83.10^{-03}$ 100%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	$1,01.10^{01}$ 100%	$1,01.10^{01}$ 100%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	$1,45.10^{-04}$ 100%	$1,45.10^{-04}$ 100%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	$1,54.10^{-05}$ 100%	$1,54.10^{-05}$ 100%
Acidificação	kg SO2 eq %	$3,14.10^{-04}$ 100%	$3,14.10^{-04}$ 100%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	$3,74.10^{-05}$ 100%	$3,74.10^{-05}$ 100%

Fonte: Autora (2022).

Tabela 47 - Resultados referentes ao módulo C3 (Processo de reciclagem dos revestimentos pós uso)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Energia elétrica	Diesel
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	3,76.10 ⁻⁰⁹ 100,00%	1,93.10 ⁻⁰⁹ 51,31%	1,83.10 ⁻⁰⁹ 48,69%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	3,11.10 ⁻⁰¹ 100,00%	4,41.10 ⁻⁰² 14,15%	2,67.10 ⁻⁰¹ 85,85%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	6,82.10 ⁻⁰³ 100,00%	4,64.10 ⁻⁰³ 68,01%	2,18.10 ⁻⁰³ 31,99%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	3,81.10 ⁻⁰⁹ 100,00%	3,48.10 ⁻¹⁰ 9,14%	3,46.10 ⁻⁰⁹ 90,86%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	1,05.10 ⁻⁰³ 100,00%	4,18.10 ⁻⁰⁴ 39,64%	6,36.10 ⁻⁰⁴ 60,36%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	1,27.10 ⁻⁰⁴ 100,00%	5,31.10 ⁻⁰⁵ 41,95%	7,35.10 ⁻⁰⁵ 58,05%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	1,34.10 ⁰⁰ 100,00%	8,66.10 ⁻⁰¹ 64,61%	4,74.10 ⁻⁰¹ 35,39%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	4,52.10 ⁻⁰⁶ 100,00%	1,93.10 ⁻⁰⁶ 42,59%	2,60.10 ⁻⁰⁶ 57,41%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	1,79.10 ⁻⁰⁶ 100,00%	8,36.10 ⁻⁰⁷ 46,66%	9,56.10 ⁻⁰⁷ 53,34%
Acidificação	kg SO2 eq %	4,26.10 ⁻⁰⁵ 100,00%	1,87.10 ⁻⁰⁵ 43,94%	2,39.10 ⁻⁰⁵ 56,06%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	4,23.10 ⁻⁰⁶ 100,00%	1,66.10 ⁻⁰⁶ 39,28%	2,57.10 ⁻⁰⁶ 60,72%

Fonte: Autora (2022).

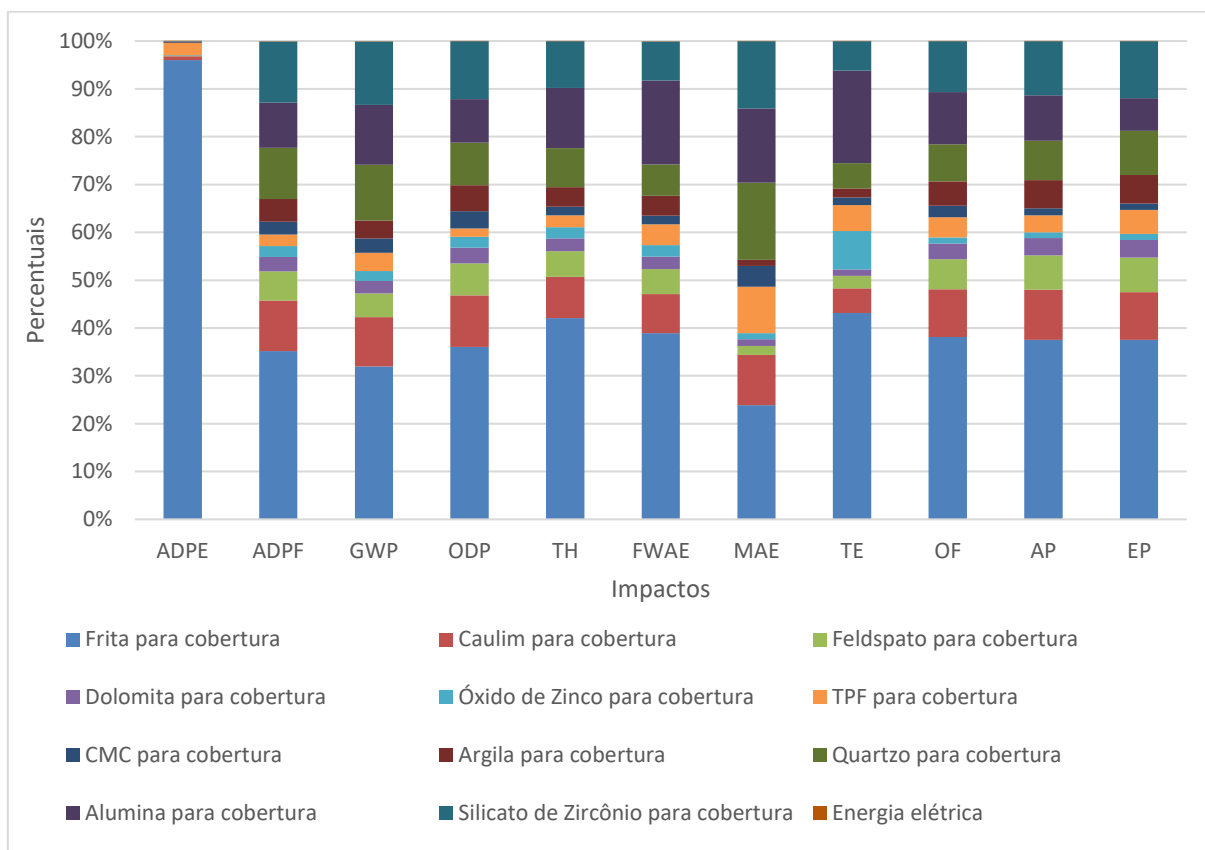
Tabela 48 - Resultados referentes ao módulo C4 (Disposição ao aterro - fim de vida)

Categoria de impacto	Unidade	Total	Resíduo pós uso destinado ao aterro
Depleção abiótica para recursos não fósseis	kg Sb eq %	3,68E-08 100%	3,68E-08 100%
Depleção abiótica para recursos fósseis	MJ %	9,34E-01 100%	9,34E-01 100%
Aquecimento global	kg CO2 eq %	7,22E-02 100%	7,22E-02 100%
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq %	1,05E-08 100%	1,05E-08 100%
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq %	5,76E-03 100%	5,76E-03 100%
Toxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq %	3,55E-04 100%	3,55E-04 100%
Toxicidade marinha	kg 1,4-DB eq %	1,36E+01 100%	1,36E+01 100%
Toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq %	3,22E-05 100%	3,22E-05 100%
Oxidação fotoquímica	kg C2H4 eq %	1,69E-05 100%	1,69E-05 100%
Acidificação	kg SO2 eq %	4,94E-04 100%	4,94E-04 100%
Eutrofização	kg PO4--- eq %	1,01E-04 100%	1,01E-04 100%

Fonte: Autora (2022).

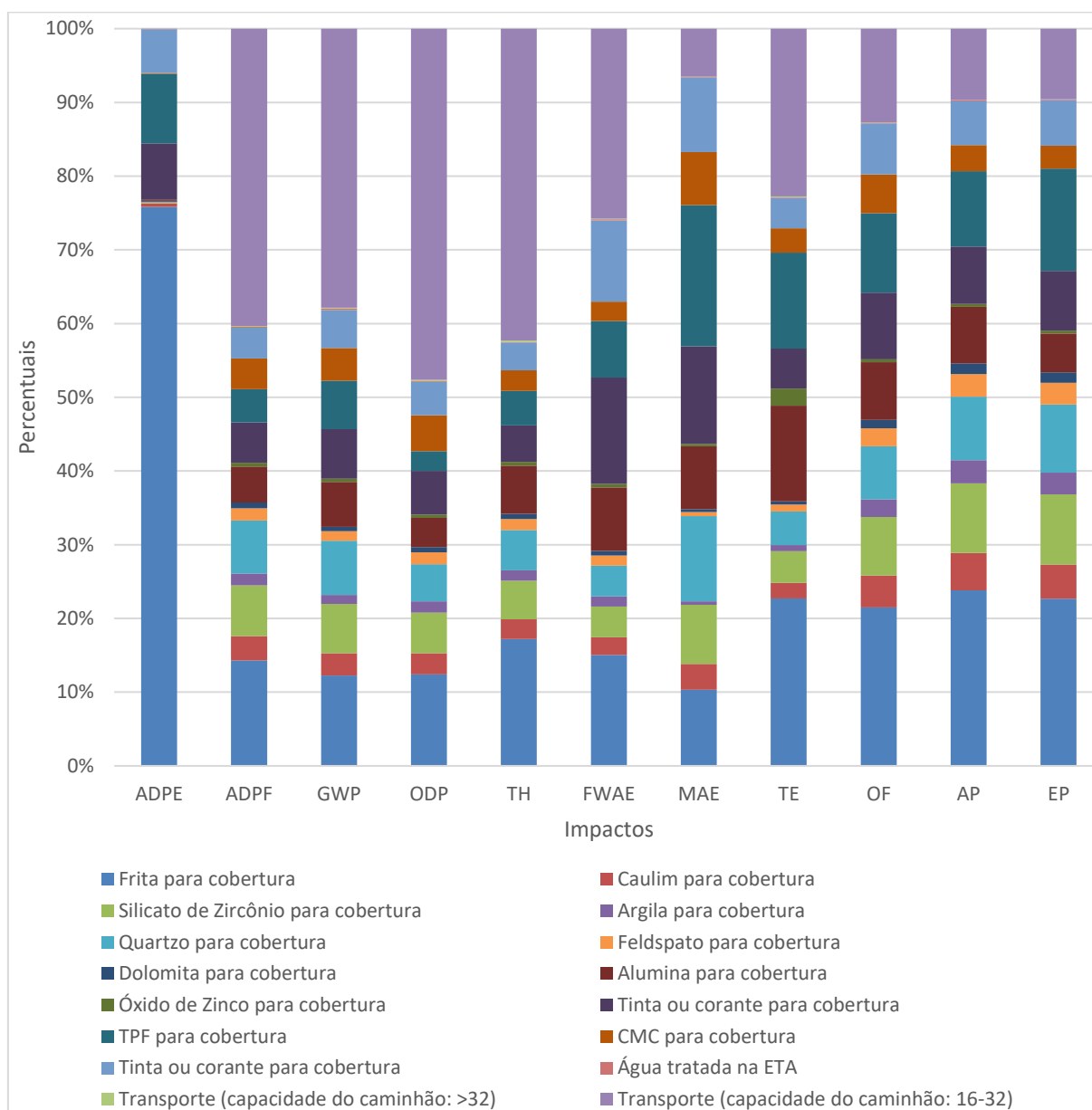
GRÁFICOS REPRESENTANTES DA Tabela 29 À Tabela 42 – PORTÃO AO TÚMULO

Figura 64 – Resultados referentes a central de compostagem de esmalte e engobe (CCE)



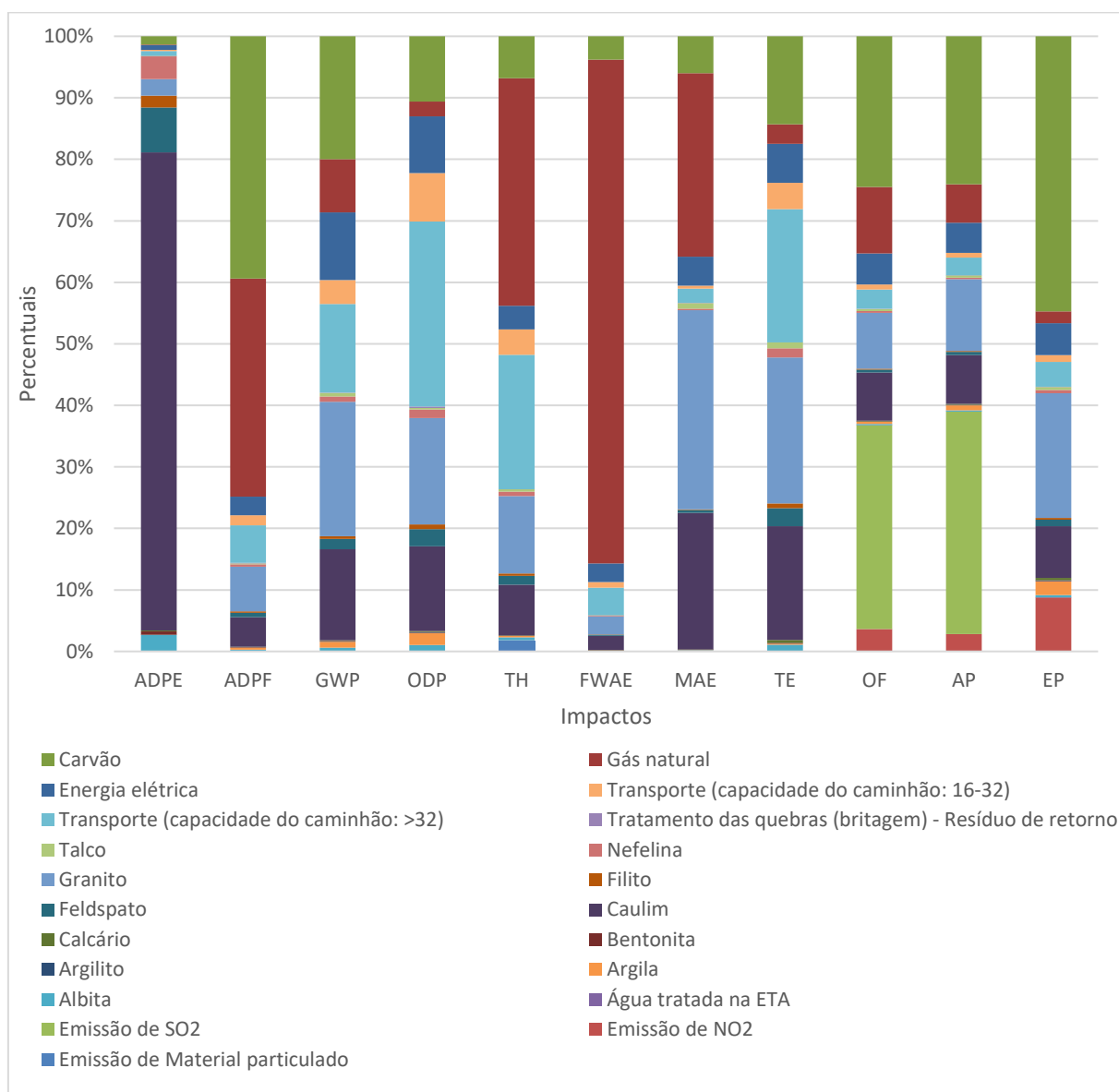
Fonte: Autora (2022).

Figura 65 – Resultados referentes a preparação de esmalte e engobe



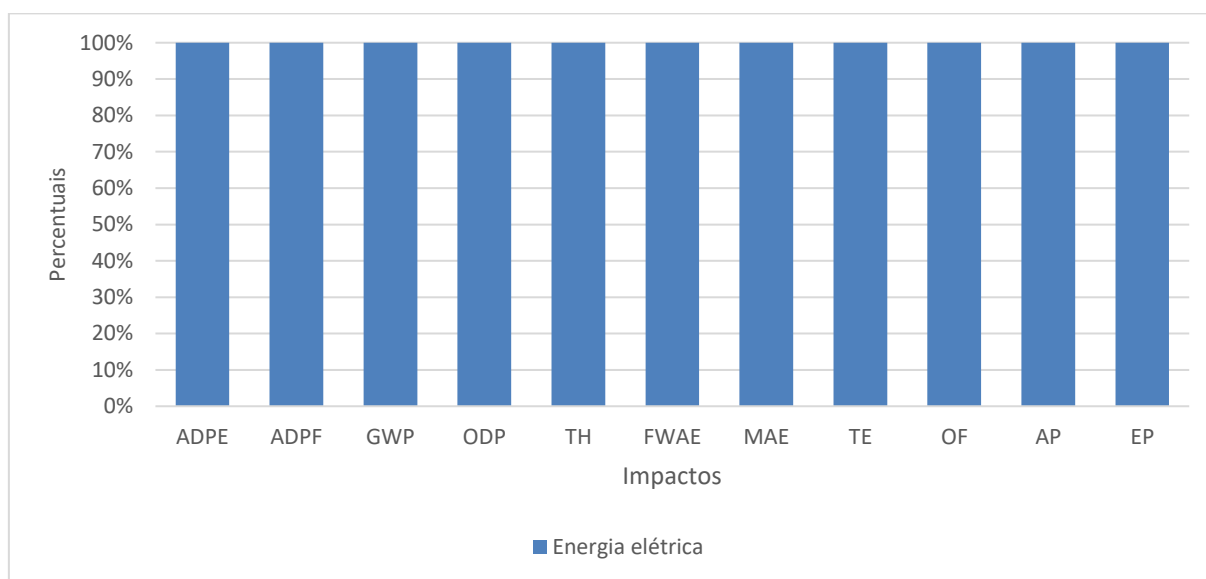
Fonte: Autora (2022).

Figura 66 – Resultados referentes a preparação de massa



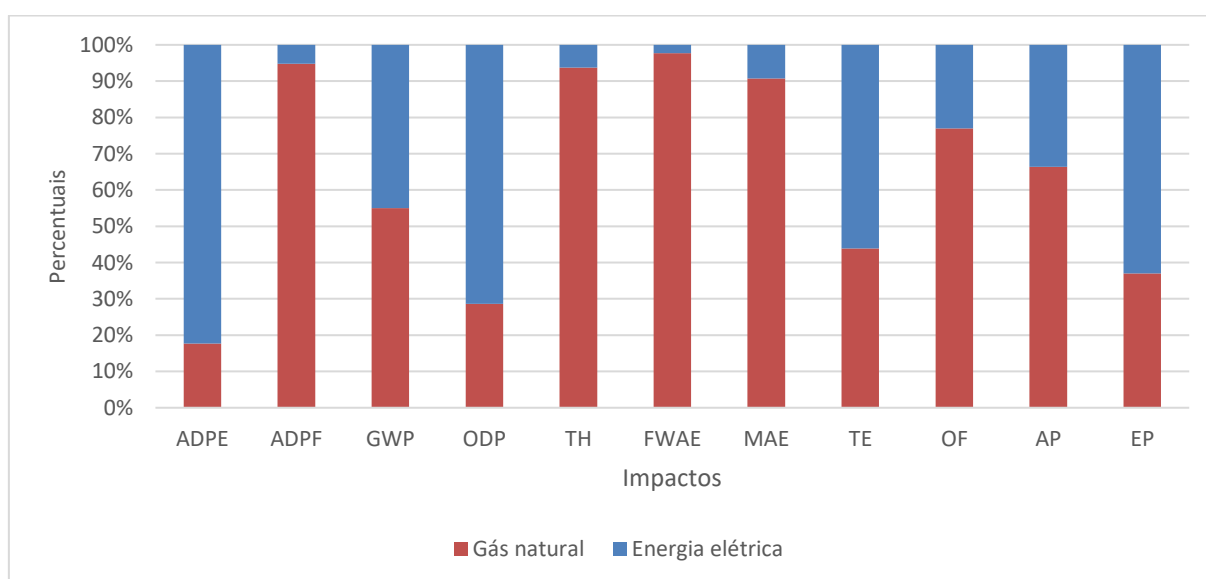
Fonte: Autora (2022).

Figura 67 – Resultados referentes a prensagem



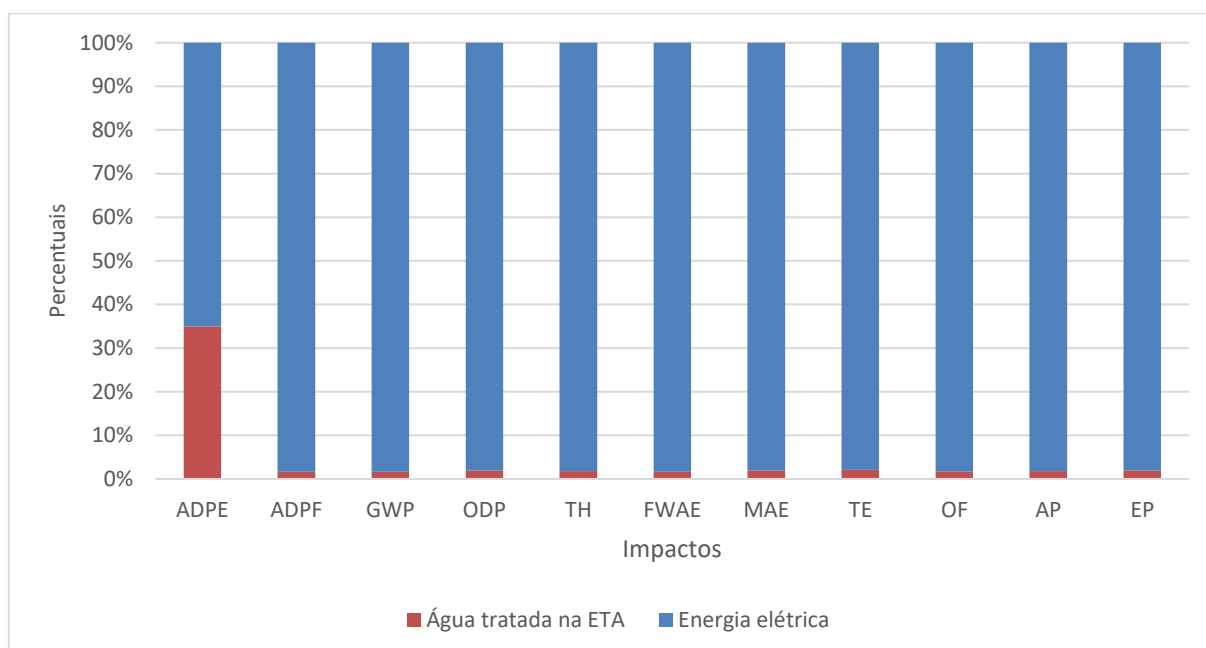
Fonte: Autora (2022).

Figura 68 – Resultados referentes a secagem



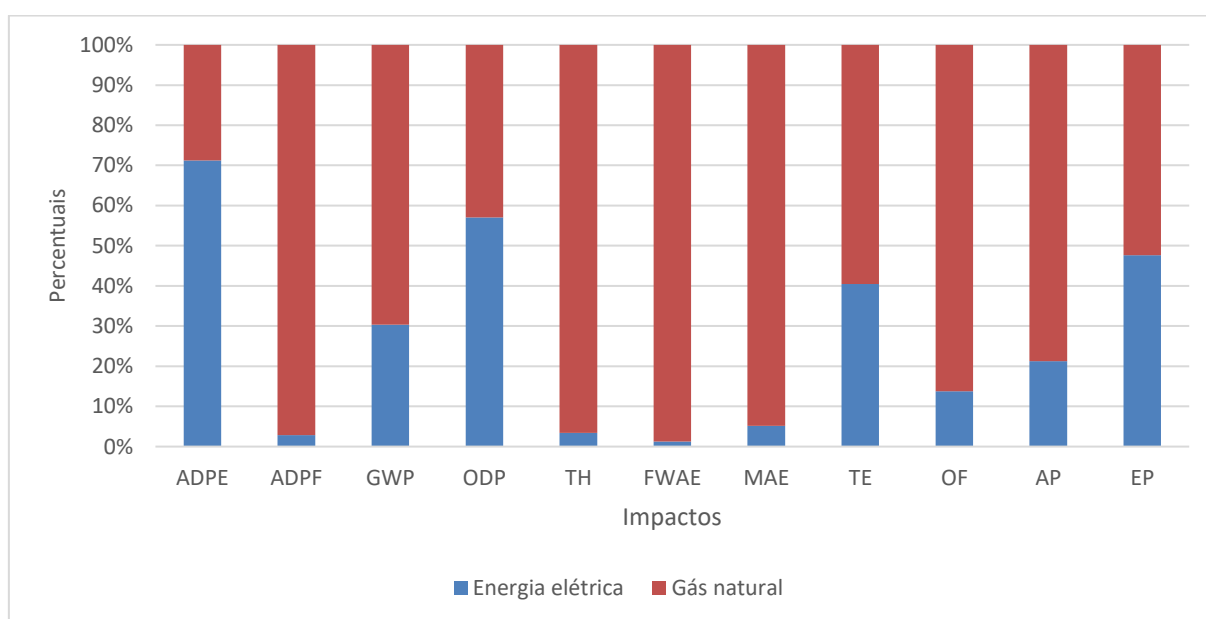
Fonte: Autora (2022).

Figura 69 – Resultados referentes a esmaltação



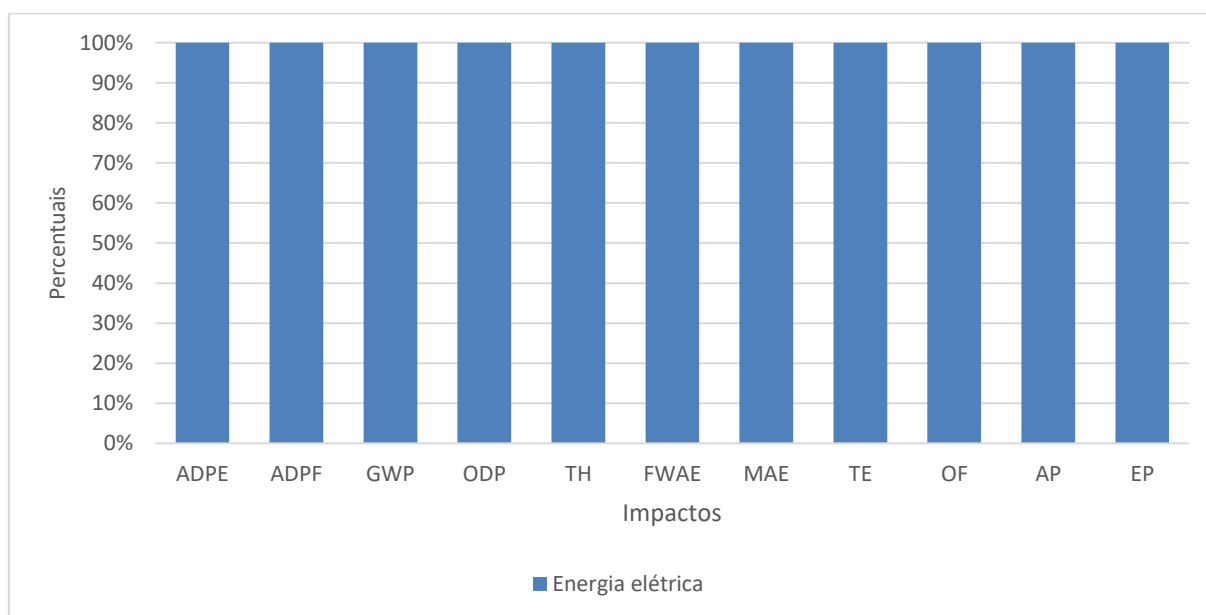
Fonte: Autora (2022).

Figura 70 – Resultados referentes a queima



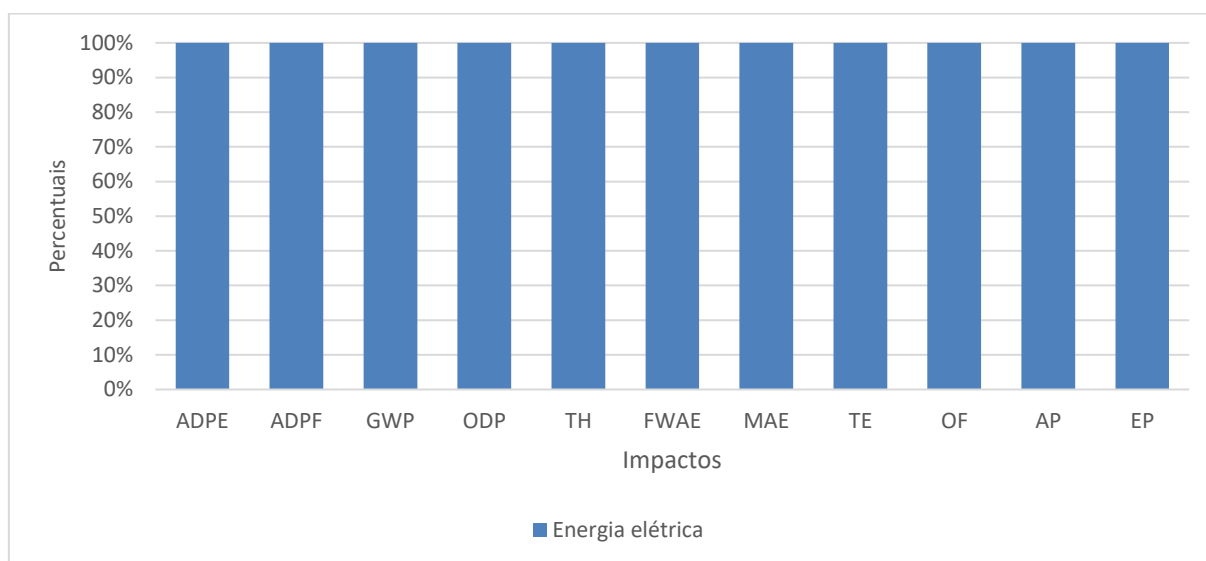
Fonte: Autora (2022).

Figura 71 – Resultados referentes a retífica



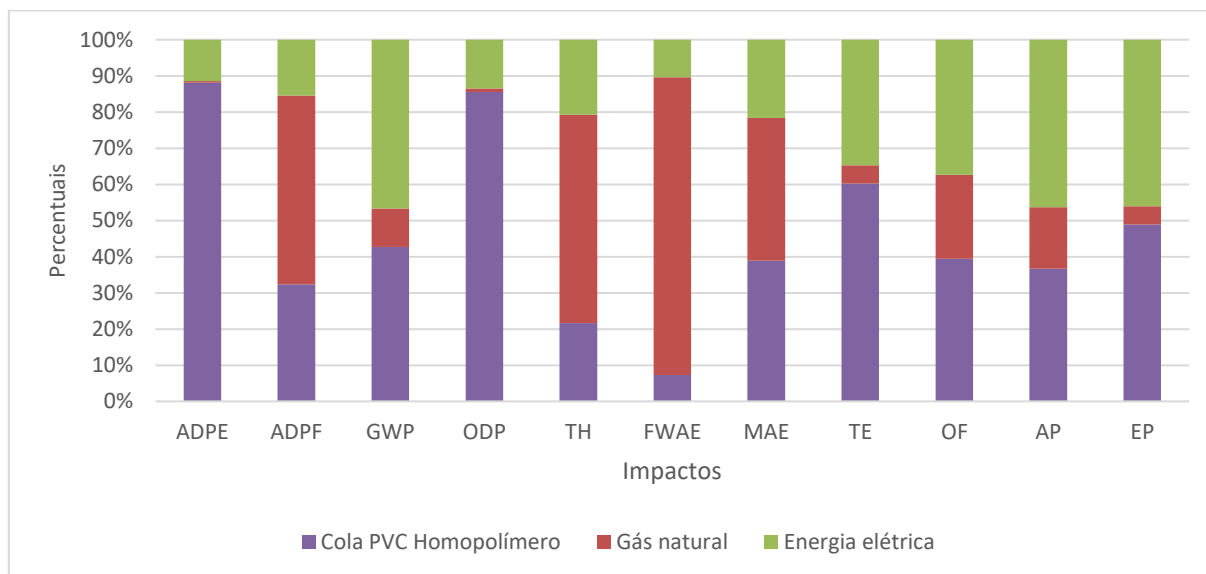
Fonte: Autora (2022).

Figura 72 – Resultados referentes a polimento



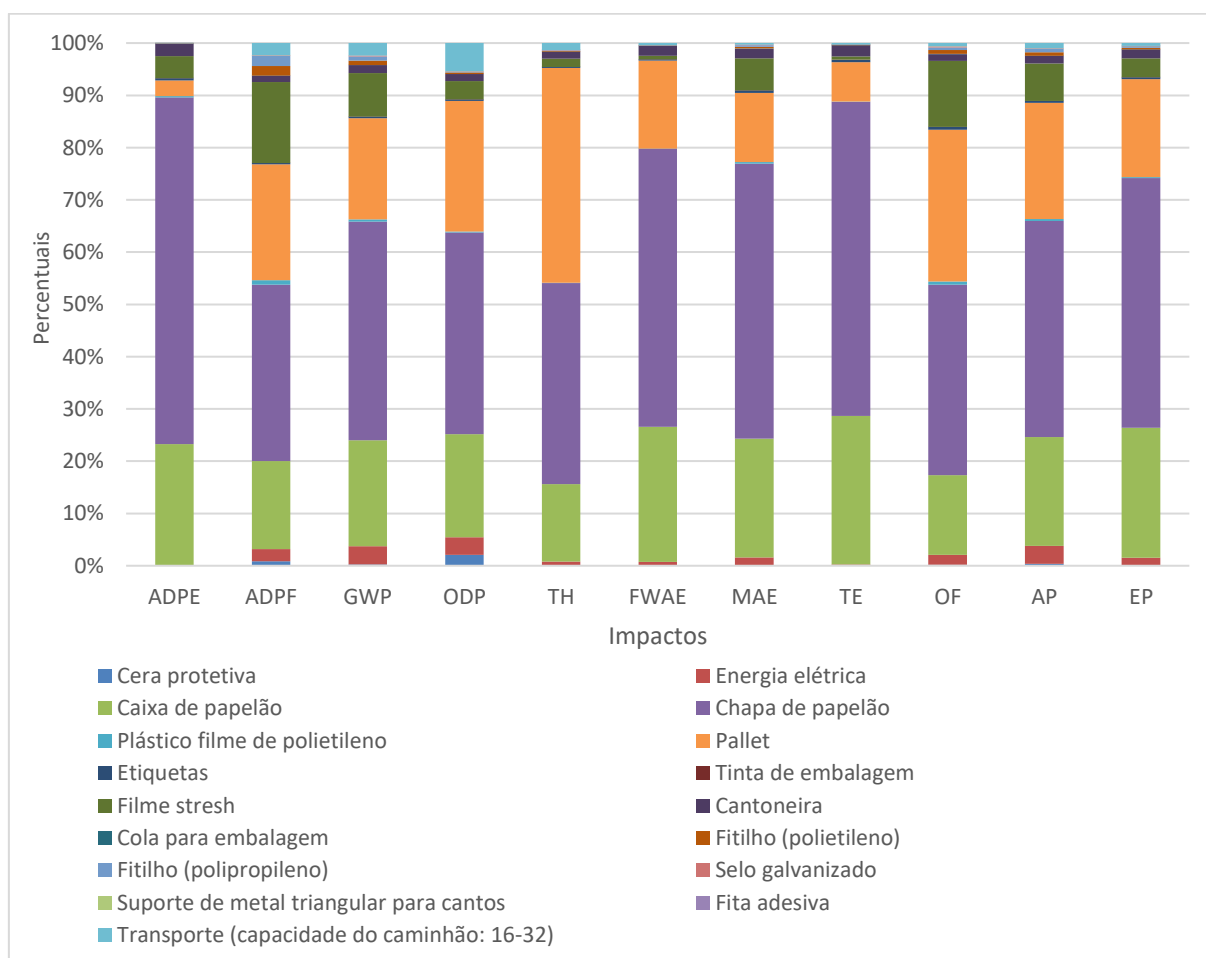
Fonte: Autora (2022).

Figura 73 – Resultados referentes a ponto de cola



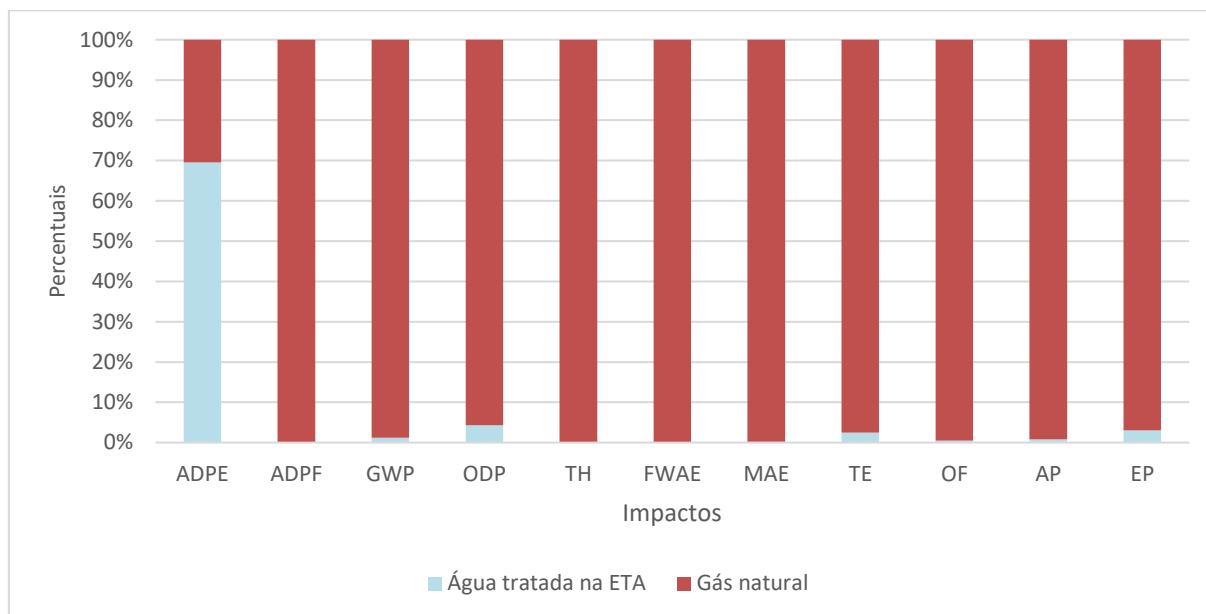
Fonte: Autora (2022).

Figura 74 – Resultados referentes a classificação e embalagem



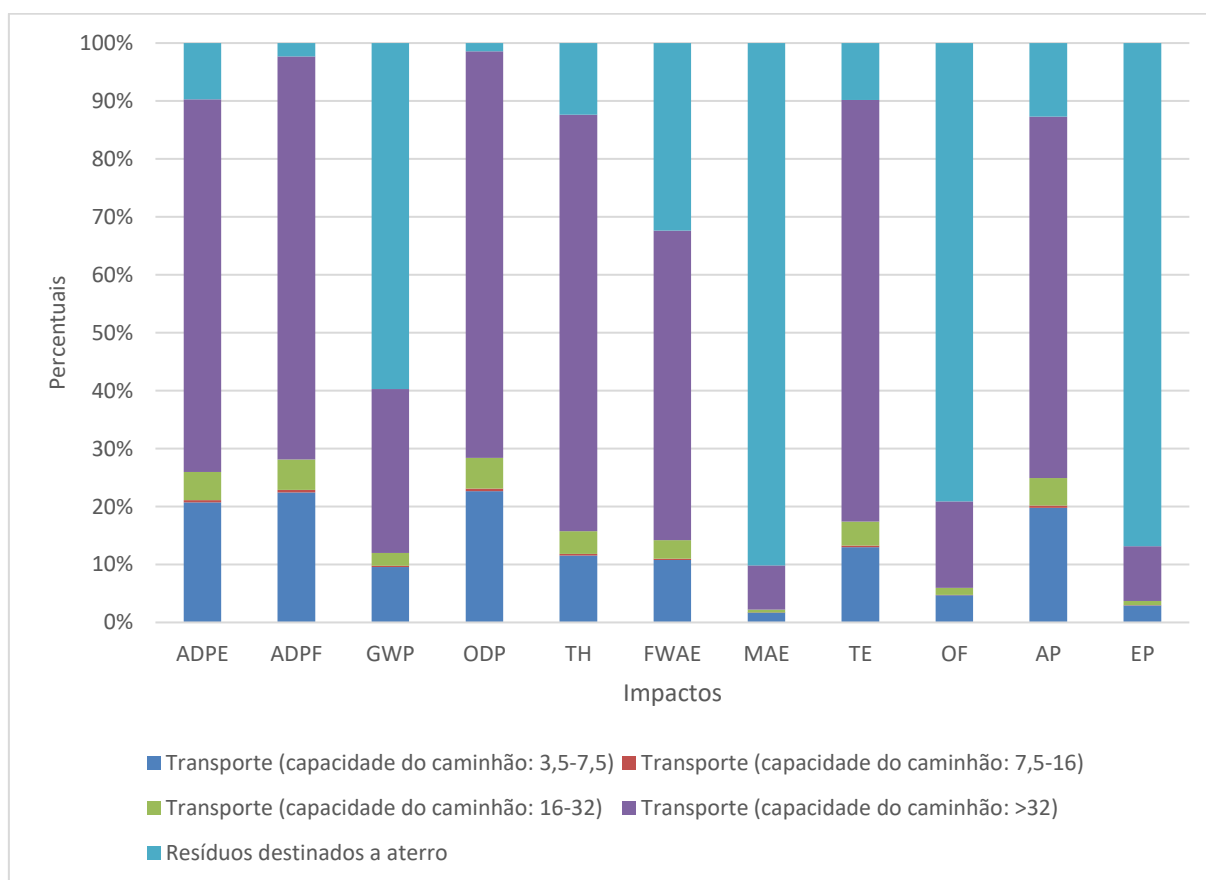
Fonte: Autora (2022).

Figura 75 – Resultados referentes a Preparação de peças especiais



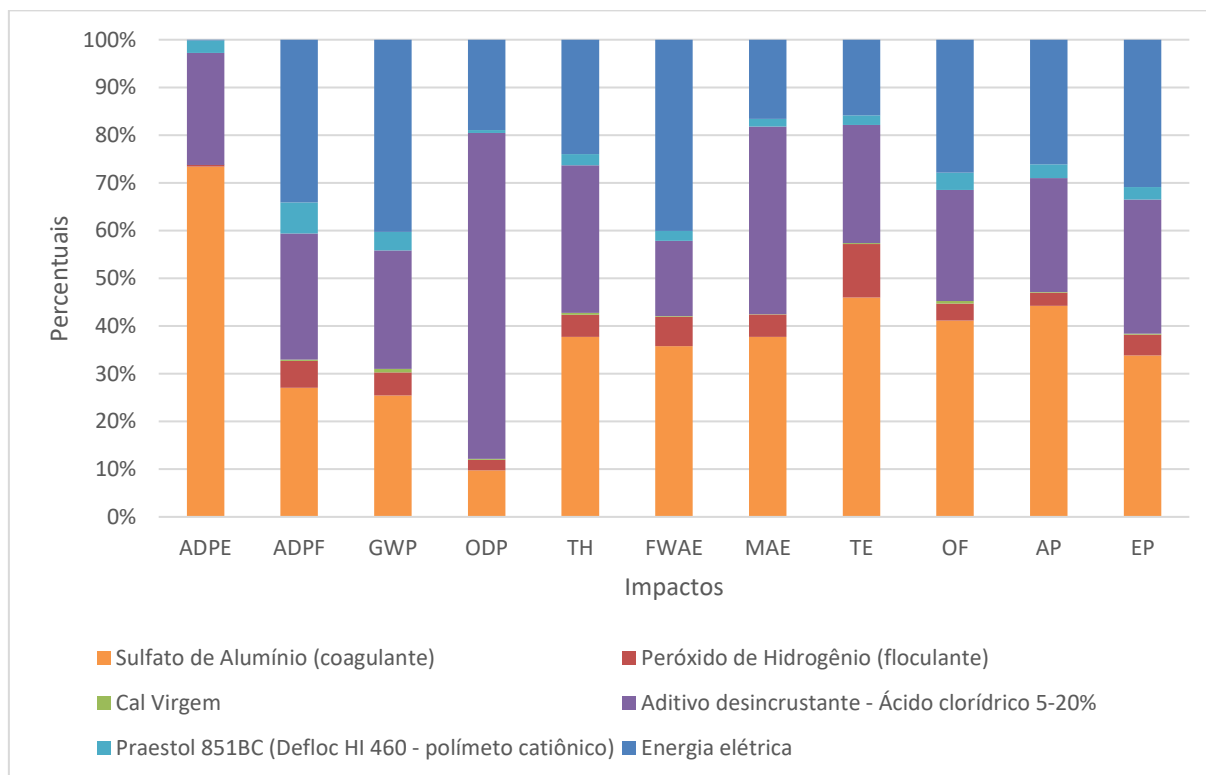
Fonte: Autora (2022).

Figura 76 – Resultados referentes a gestão de resíduos



Fonte: Autora (2022).

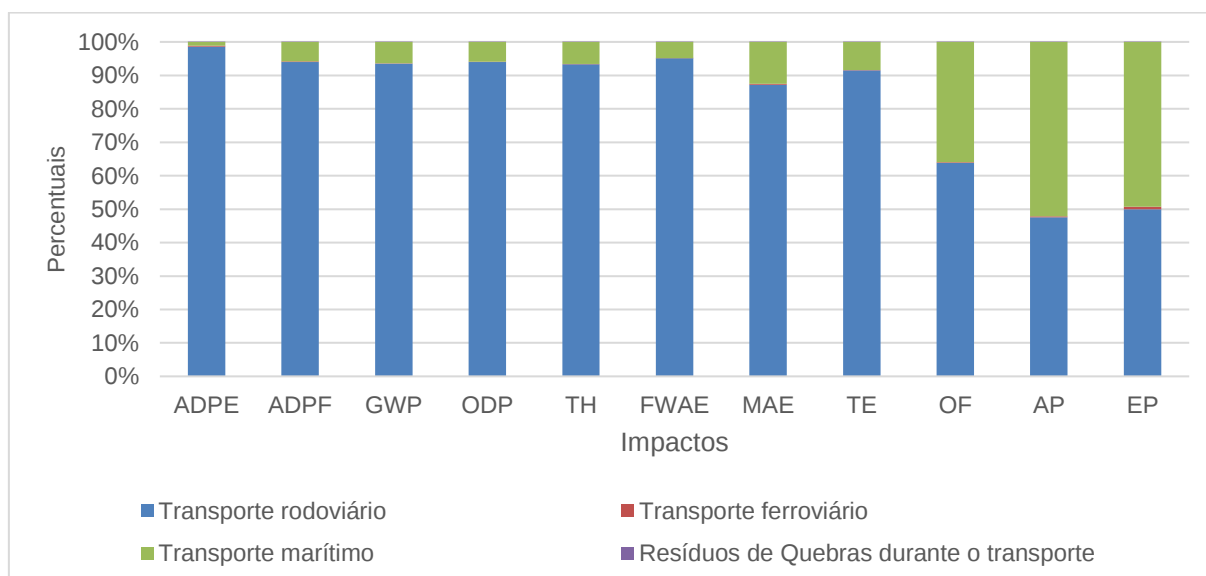
Figura 77 – Resultados referentes a estação de tratamento de efluentes



Fonte: Autora (2022).

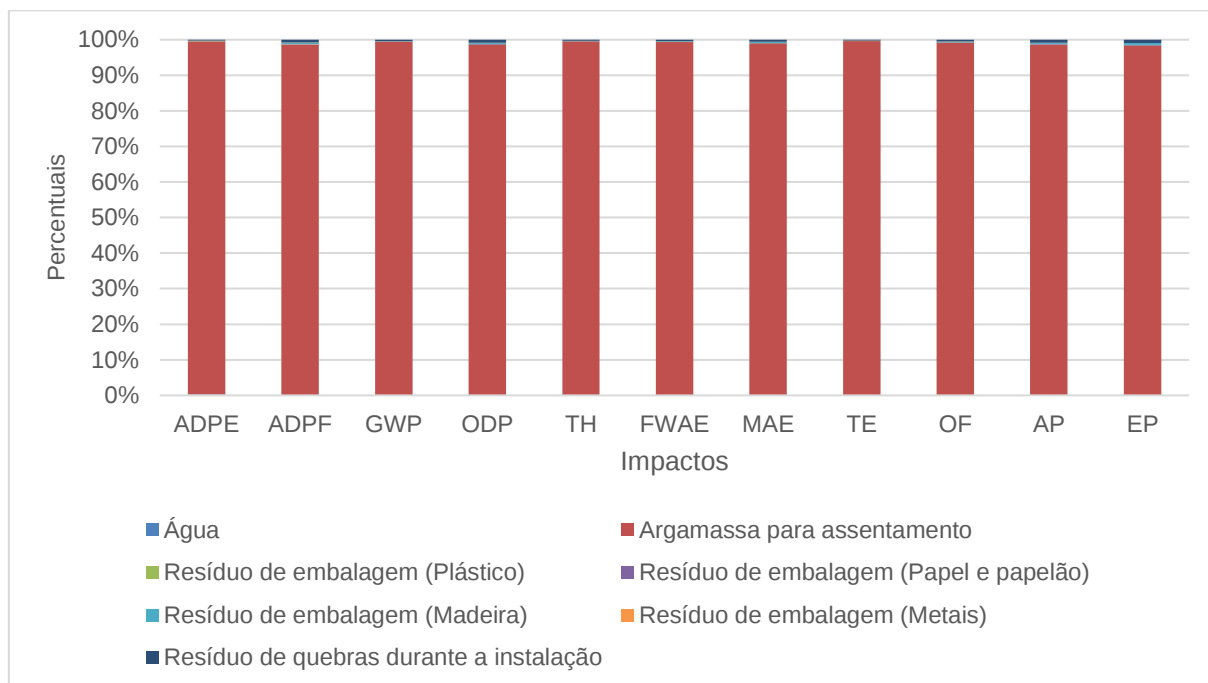
GRÁFICOS REPRESENTANTES DA Tabela 43 À Tabela 48 – BERÇO AO PORTÃO

Figura 78 – Resultados referentes ao módulo A4



Fonte: Autora (2022).

Figura 79 – Resultados referentes ao módulo A5



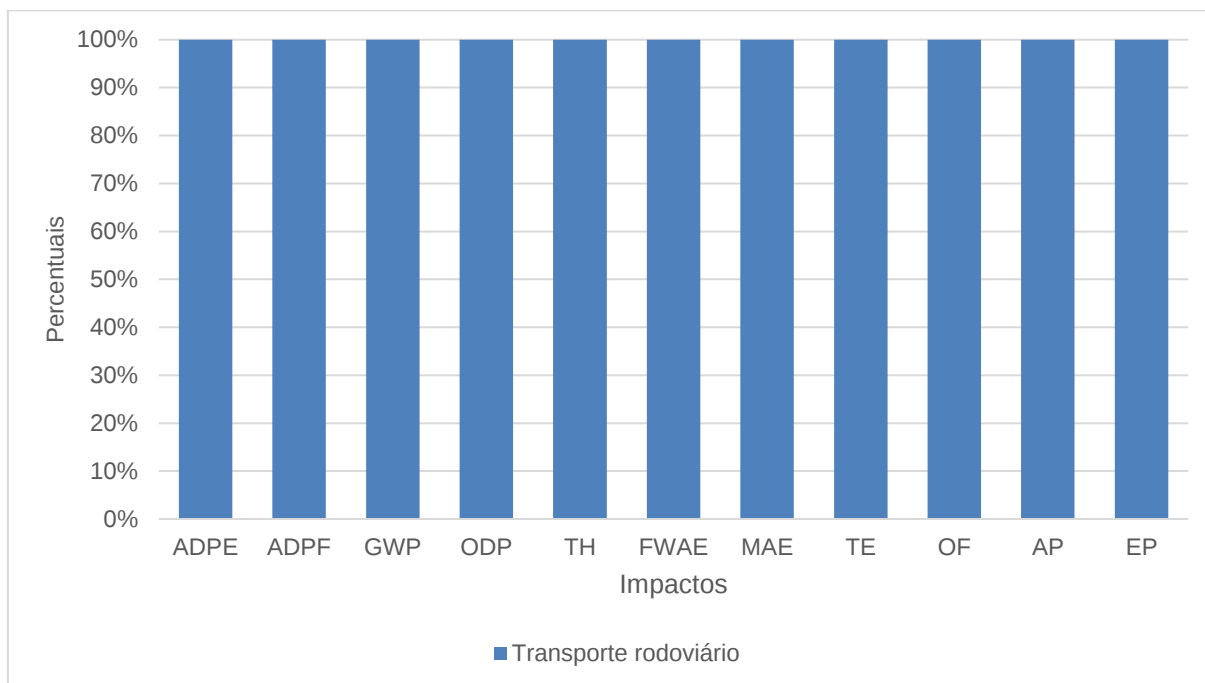
Fonte: Autora (2022).

Figura 80 – Resultados referentes ao módulo B2



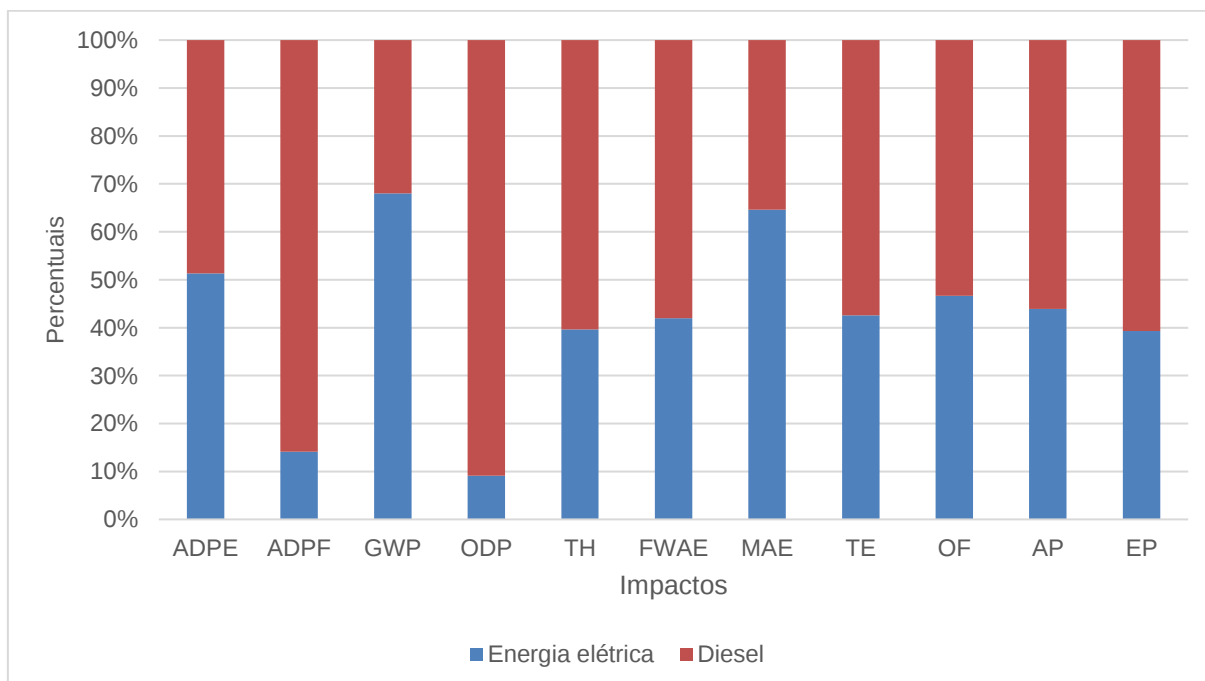
Fonte: Autora (2022).

Figura 81 – Resultados referentes ao módulo C2



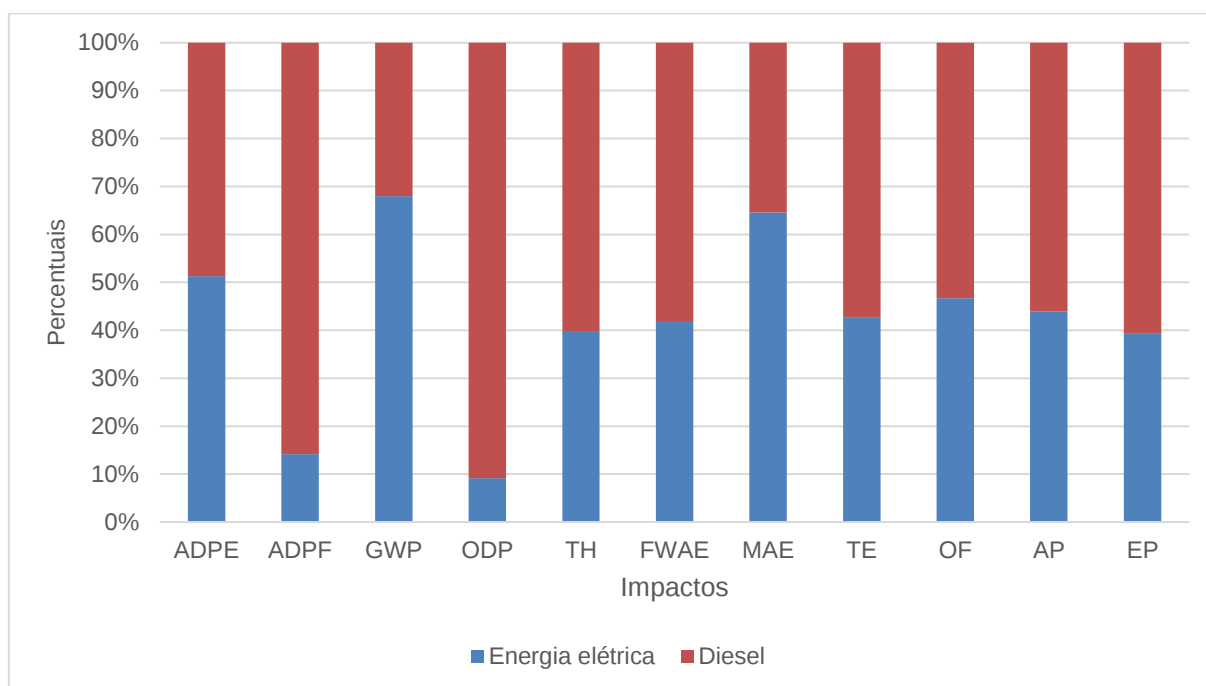
Fonte: Autora (2022).

Figura 82 – Resultados referentes ao módulo C3



Fonte: Autora (2022).

Figura 83 – Resultados referentes ao módulo C4



Fonte: Autora (2022).

MATERIAIS SUPLEMENTARES

Tabela 49 (S1) - Resultado das pesquisas realizada com 85 artigos

Estudo	DOI	Local de estudo (país)	Autores	Produto estudado	Unidade funcional	Fronteira utilizada	Software utilizado	Métodos de avaliação de impacto	EPD (SIM/NÃO)	Impactos avaliados																	
										AC	DO	AT	EutroA D	EutroM	TH	FOF	FMP	ET	Ecotox AD	Ecotox M	RI	OTA	OTU	TTN	DA	DM	DF
Health impact assessment from building life cycles and trace metals in coarse particulate matter in urban office environments	10.1016/j.ecoen.2017.10.034	Malásia	Murnira Othman, Mohd Talib Latif, Ahmad Fariz Mohamed	Dois edifícios de escritórios	1m² de área bruta dos dois edifícios/ano	Cradle-to-grave	SimaPro	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99)	Não	x	x											x					
Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings	10.1016/j.enbuid.2013.04.018	Itália	Francesco Asdrubali, Catia Baldassarri, Vasilis Fthenakis	Três construções Italianas	1m² de área bruta dos dois edifícios/ano	Cradle-to-grave	SimaPro	Cumulative Energy Demand (CED) Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) IPCC 2007 GWP 100a	Não	x		x						x			x						
2013 Southeast Asian Smoke Haze: Fractionation of Particulate-Bound Elements and Associated Health Risk	10.1021/es405533d	Singapura	Raghu Bether, Sailesh N. Behera, Rajasekhar Balasubramanian	Névoas de Fumaça no Sudeste Asiático	70 lpm/12h 70 lpm/24h	-	-	-	Não																	x	
The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings	10.1016/j.enbuid.2009.12.009	Itália	Gian Andrea Blengini, Tiziana Di Carlo	Casa de baixo consumo de energia	1m²/ano	Cradle-to-grave, com especificações em tabela (Figura 3)	SimaPro Ediclima EC501	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) Environmental Footprint (EF) Environmental Priority Strategy	Não		x	x	x														
Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator	10.1016/S0959-6526(02)00028-8	Espanha	Guido W. Sonnemann, Marta Schuhmacher, Francesc Castells	Incinerador de lixo	Terajoule de energia produzida	Cradle-to-grave	Crystal Ball	Eco-Indicator 95	Não								x									x	
A Bayesian hierarchical model for urban air quality prediction under uncertainty	10.1016/j.atmosenv.2008.08.018	China	Yong Liu, Huaicheng Guo, Guozhu Mao, Pingjian Yang	Ar Urbano	Áreas de 1km²	-	WinBUGS	-	Não								x										
An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a life cycle assessment framework	10.1016/j.enbuid.2010.09.005	Reino Unido	J. Monahan, J.C Powell	Casa de baixo consumo de energia	Envólucro térmico de uma casa de 3 quartos com uma área superficial de 45 m² e um volume total interno de 220,5 m³	Cradle-to-site	SimaPro	-	Não																		
Life cycle energy and carbon assessment of double skin façades for office refurbishments	10.1021/es0263745	Alemanha, Austrália, Dinamarca, EUA, Holanda, Japão, Suíça	Sangwon Suh, Manfred Lenzen, Graham J. Treloar, Hiroki Hondo, Árpád Horváth, Gjalte Huppes, Olivier Joliet, Uwe Klann, Wolfram Krewitt, Yuichi Moriguchi, Jesper Munksgaard, Gregory Norris	Fronteiras dos sistemas	-	-	-	-	Não																		
Eco-efficiency of fabric filters in the Italian ceramic tile industry	10.1016/j.jclepro.2005.08.015	Itália	Leo Breedveld, Giorgio Timellini, Giorgio Casoni, Alberto Fregni, Graziano Busani	Filtros de tecido	1kg de revestimento grês produzido	Somente a fase de produção dos revestimentos	SimaPro	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) EPS 2000	Não	x	x	x			x						x						
How can the European ceramic tile industry meet the EU's low-carbon targets? A life cycle perspective	10.1016/j.jclepro.2018.07.176	Espanha, Itália	Teresa Ros-Dosdà, Pere Fullana-i-Palmer, Ana Mezquita, Paolo Masoni, Eliseo Monfort	Porcelanato	1m² de porcelanato/50 anos	Cradle-to-grave	GaBI	CML 2001	Sim	x	x	x				x											
Energy saving in ceramic tile kilns: Cooling gas heat recovery	10.1016/j.applthermaleng.2014.01.002	Espanha	Ana Mezquita, Juan Boix, Eliseo Monfort, Gustavo Mallol	Forno para revestimentos cerâmicos	-	-	-	-	Não																		

Legenda:

[illegible]

[illegible]

Legenda: AC: Alterações Climáticas, DO: Depleção do ozônio, AT: Acidificação terrestre, EutrAD: Eutrofização de água doce, EutrM: Eutrofização marinha, TH: Toxicidade humana, FOF: Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP: Formação de material particulado, ET: Ecotoxicidade terrestre, EcotoxAD: Ecotoxicidade de água doce, EcotoxM: Ecotoxicidade marinha, RI: Radiação ionizante, OTA: Ocupação de terras agrícolas, OTU: Ocupação de terra urbana, TTN: Transformação de terras naturais, DA: Depleção de água, DM: Depleção de metal e DF: Depleção de fósseis.

Estudo	DOI	Local de estudo (país)	Autores	Produto estudado	Unidade funcional	Fronteira utilizada	Software utilizado	Métodos de avaliação de impacto	EPD (SIM/NÃO)	Impactos avaliados																	
										AC	DO	AT	EutrA D	EutrM	TH	FOF	FMP	ET	Ecotox AD	Ecotox M	RI	OTA	OTU	TTN	DA	DM	
Health impact assessment from building life cycles and trace metals in coarse particulate matter in urban office environments	10.1016/j.ecoe nv.2017.10.034	Malásia	Murnira Othman, Mohd Talib Latif, Ahmad Fariz Mohamed	Dois edifícios de escritórios	1m² de área bruta dos dois edifícios/ano	Cradle-to-grave	SimaPro	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99)	Não	x	x										x						
Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings	10.1016/j.enb uid.2013.04.018	Itália	Francesco Asdrubali, Catia Baldassarri, Vasilis Pthenakis	Três construções Italianas	1m² de área bruta dos dois edifícios/ano	Cradle-to-grave	SimaPro	Cumulative Energy Demand (CED) Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) IPCC 2007 GWP 100a	Não	x		x							x			x					
2013 Southeast Asian Smoke Haze: Fractionation of Particulate-Bound Elements and Associated Health Risk	10.1021/es405533d	Singapura	Raghu Betha, Sailesh N. Behera, Rajasekhar Balasubramanian	Névoas de Fumaça no Sudeste Asiático	70 lpm/12h 70 lpm/24h	-	-	-	Não																		x
The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings	10.1016/j.enb uid.2009.12.009	Itália	Gian Andrea Blengini, Tiziana Di Carlo	Casa de baixo consumo de energia	1m²/ano	Cradle-to-grave, com especificações em tabela (Figura 3)	SimaPro Edilclima ECS01	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) Environmental Footprint (EF) Environmental Priority Strategy	Não		x	x	x														
Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator	10.1016/S0959-6526(02)00028-8	Espanha	Guido W. Sonnemann, Marta Schuhmacher, Francesc Castellà	Incinerador de lixo	Terajoule de energia produzida	Cradle-to-grave	Crystal Ball	Eco-indicator 95	Não								x										x
A Bayesian hierarchical model for urban air quality prediction under uncertainty	10.1016/j.atmosenv.2008.08.018	China	Yong Liu, Huai Cheng Guo, Guozhu Mao, Pingjian Yang	Ar Urbano	Áreas de 1km²	-	WinBUGS	-	Não									x									
An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a life cycle assessment framework	10.1016/j.enb uid.2010.09.005	Reino Unido	J. Monahan, J.C Powell	Casa de baixo consumo de energia	Envólcro térmico de uma casa de 3 quartos com uma área superficial de 45 m² e um volume total interno de 220,5 m³	Cradle-to-site	SimaPro	-	Não																		
Life cycle energy and carbon assessment of double skin façades for office refurbishments	10.1021/es0263745	Alemanha, Austrália, Dinamarca, EUA, Holanda, Japão, Suíça	Sangwon Suh, Manfred Lenzen, Graham J. Treloar, Hiroki Hondo, Arpad Horvath, Gjalte Huppes, Olivier Jolliet, Uwe Klann, Wolfram Krewitt, Yuichi Moriguchi, Jesper Munksgaard, Gregory Norris	Fronteiras dos sistemas	-	-	-	-	Não																		
Eco-efficiency of fabric filters in the Italian ceramic tile industry	10.1016/j.jclepro.2005.08.015	Itália	Leo Breedveld, Giorgio Timellini, Giorgio Casoni, Alberto Fregni, Graziano Busani	Filtros de tecido	1kg de revestimento grês produzido	Somente a fase de produção dos revestimentos	SimaPro	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99) EPS 2000	Não	x	x	x			x						x						
How can the European ceramic tile industry meet the EU's low-carbon targets? A life cycle perspective	10.1016/j.jclepro.2018.07.176	Espanha, Itália	Teresa Ros-Dosdà, Pere Fullana-i-Palmer, Ana Mezquita, Paolo Masoni, Eliseo Monfort	Porcelanato	1m² de porcelanato/50 anos	Cradle-to-grave	GaBI	CML 2001	Sim	x	x	x			x												

Legenda:

AC: Alterações Climáticas, DO: Depleção do ozônio, AT: Acidificação terrestre, EutrAD: Eutrofização de água doce, EutrM: Eutrofização marinha, TH: Toxicidade humana, FOF: Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP: Formação de material particulado, ET: Ecotoxicidade terrestre, EcotoxAD: Ecotoxicidade de água doce, EcotoxM: Ecotoxicidade marinha, RI: Radiação ionizante, OTA: Ocupação de terras agrícolas, OTU: Ocupação de terra urbana, TTN: Transformação de terras naturais, DA: Depleção de água, DM: Depleção de metal e DF: Depleção de fósseis.

Estudo	DOI	Local de estudo (país)	Autores	Produto estudado	Unidade funcional	Fronteira utilizada	Software utilizado	Métodos de avaliação de impacto	EPD (SIM/NÃO)	Impactos avaliados																
										AC	DO	AT	EutrA D	EutrM	TH	FOF	FMP	ET	Ecotox AD	Ecotox M	RI	OTA	OTU	TTN	DA	DM
The drivers for adoption of eco-innovation	10.1016/j.jclepro.2015.11.033	Brasil	Marília Bonzanini Bossle, Marcia Dutra de Barcellos, Luciana Marques Vieira, Loïc Sauvee	Agentes para a adoção de práticas sustentáveis	-	-	-	-	-																	
Environmental performance indicators: a study on ISO 14001 certified companies	10.1016/j.jclepro.2015.03.019	Brasil	Lucila M.S.Campos, Daiane Aparecida de Melo Heizen, Miguel Angel Verdinelli, Paulo Augusto Cauchick Miguel	Empresas certificadas com a ISO 14001	-	-	-	-	-																	
Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review	10.1007/s11367-012-0432-9	França	Leslie Jacquemin, Pierre-Yves Pontalier, Caroline Sablayrolles	Aplicação de LCAs na indústria	-	-	-	-	-																	
Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review	10.1016/j.jclepro.2013.07.017	Alemanha	Johanna Klewitz, Erik G. Hansen	Inovação da sustentabilidade em empresas de médio porte	-	-	-	-	-																	
Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives	10.1016/j.jclepro.2011.11.060	Reino Unido	Rodrigo Lozano	Iniciativas empresariais para a sustentabilidade	-	-	-	-	-																	
Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing	10.1016/j.jclepro.2015.06.142	Brasil	Carmenlucia Santos Giordano Penteado, Eduardo Viviani de Carvalho, Rosa Cristina Cecche Lintz	Restos do esmalte cerâmico como blocos de pavimento	-	-	-	-	-																	
Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs	10.1016/j.jclepro.2013.04.009	União Europeia	Angela Triguero, Lourdes Moreno-Mondéjar, María A. Davia	Agentes para diferentes tipos de sustentabilidade em empresas europeias de médio porte	-	-	-	-	-																	
Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls	10.1016/j.jclepro.2016.07.069	Brasil	Danielle Maia de Souza, Mia Lafontaine, François Charron-Doucet, Benoit Chappert, Karine Kicak, Fernanda Duarte, Luis Lima	Tijolos (Cerâmicos x De concreto)	1m²/40 anos	-	SimaPro	IMPACT 2002+	Não	X																
Life cycle environmental and economic assessment of ceramic tile production: A case study in China	10.1016/j.jclepro.2018.04.112	China	Liping Ye, Jinglan Hong, Xiaotian Ma, Congcong Qi, Donglu Yang	Revestimentos Cerâmicos	1m²	Cradle-to-gate	SimaPro	ReCiPe Midpoint	Não	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant – a case study in Guangzhou, China	10.1016/j.jclepro.2012.12.013	China	Yi Huang, Jiwen Luo, Bin Xia	Aplicação de produção limpa como estratégia sustentável	-	-	-	-	-																	
Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand	10.1016/j.jmsy.2013.12.002	Tailândia	Nachawit Tikul, Panva Srichand	Revestimentos Cerâmicos	1m²	-	Idemat 2001	Eco-indicator 99		X	X	X					X			X		X				

[illegible]

Legenda:AC: Alterações Climáticas, DO: Depleção do ozônio, AT: Acidificação terrestre, EutrAD: Eutrofização de água doce, EutrM: Eutrofização marinha, TH: Toxicidade humana, FOF: Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP: Formação de material particulado, ET: Ecotoxicidade terrestre, EcotoxAD: Ecotoxicidade de água doce, EcotoxM: Ecotoxicidade marinha, RI: Radiação ionizante, OTA: Ocupação de terras agrícolas, OTU: Ocupação de terra urbana, TTN: Transformação de terras naturais, DA: Depleção de água, DM: Depleção de metal e DF: Depleção de fósseis.

Estudo	DOI	Local de estudo (país)	Autores	Produto estudado	Unidade funcional	Fronteira utilizada	Software utilizado	Métodos de avaliação de impacto	EPD (SIM/NÃO)	Impactos avaliados																
										AC	DO	AT	EutrA D	EutrM	TH	FOF	FMP	ET	Ecotox AD	Ecotox M	RI	OTA	OTU	TTN	DA	DM
Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies	10.1016/S1066-7938(01)00141-5	Singapura	Senthil Kumaran Durairaj, S.K Ong, A.Y.C. Nee, R.B.H. Tan	Metodologias de custo dos LCAs	-	-	-	-	-																	
Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications	10.1016/j.envint.2003.11.005	Alemanha, Dinamarca, EUA, Holanda Itália, Suécia, Suíça	G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W.-P. Schmidt, S. Suh, B.P. Weidemaier, D.W. Pennington	LCA: Objetivo, escopo, inventário e aplicações	-	-	-	-	-																	
Sustainability and life assessment of high strength natural fibre composites in construction	10.1016/B978-0-08-100411-1.00021-2	Reino Unido	C. Cao	LCA aplicado à compostos de fibra natural	-	-	-	-	-																	
Sustainability of using recycled plastic fiber in concrete	10.1016/B978-0-08-102676-2.00021-9	Austrália	Rabin Tuladhar, Shi Yin	Plásticos reciclados como concreto	40kg	Cradle-to-gate	SimaPro	-	Não	X																
Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review	10.3390/su1030674	Reino Unido	Mohamad Monkiz Khasreen, Phillip F.G. Banfill, Gillian F. Menzies	LCAs em construções no geral	-	-	-	-	-																	
Life Cycle Assessment of Ceramic Bricks	10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.815	Brasil	Jerônimo Moraes Gomes, Ana Luiza Folchini Salgado, Dachamir Hotza	Tijolos	1m²	-	SimaPro	Eco-indicator 99	Não	X																
Life cycle assessment and environmental profiling of building materials	10.1533/9781845699277.2.175	Reino Unido	K. Steele	LCAs em materiais de construção gerais	-	-	-	-	-																	
LIFE CYCLE ANALYSIS OF CERAMIC VERSUS PAINTING MATERIALS APPLIED TO EXTERNAL WALLS	-	Brasil	F.M.A Surgelas, G.F. Marques, C.d.S. Rodrigues	Materiais de tinta aplicados à paredes exteriores	Durabilidade	-	Umberto	CML, Eco-indicator 99	Não																	
Life Cycle Analysis of Polyurethane Foam Wastes	10.1016/B978-0-323-51133-9.00009-7	Lituânia	Angeliki Kyllili, Lina Sedulkyte, Paris A. Fokaides	Resíduos de poliuretano	-	Cradle-to-gate	-	CML, Eco-indicator 99	Não																	
Adjustment of spray-drying conditions for the production of grains used as water filtration beds	-	Portugal	Manuel J. Ribeiro, José Manuel Ventura, J.A. Labrincha	Grãos como filtros d'água	-	-	-	-	-																	

Legenda:

AC: Alterações Climáticas, DO: Depleção do ozônio, AT: Acidificação terrestre, EutrAD: Eutrofização de água doce, EutrM: Eutrofização marinha, TH: Toxicidade humana, FOF: Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP: Formação de material particulado, ET: Ecotoxicidade terrestre, EcotoxAD: Ecotoxicidade de água doce, EcotoxM: Ecotoxicidade marinha, RI: Radiação ionizante, OTA: Ocupação de terras agrícolas, OTU: Ocupação de terra urbana, TTN: Transformação de terras naturais, DA: Depleção de água, DM: Depleção de metal e DF: Depleção de fósseis.

Fonte: Autora (2022).