

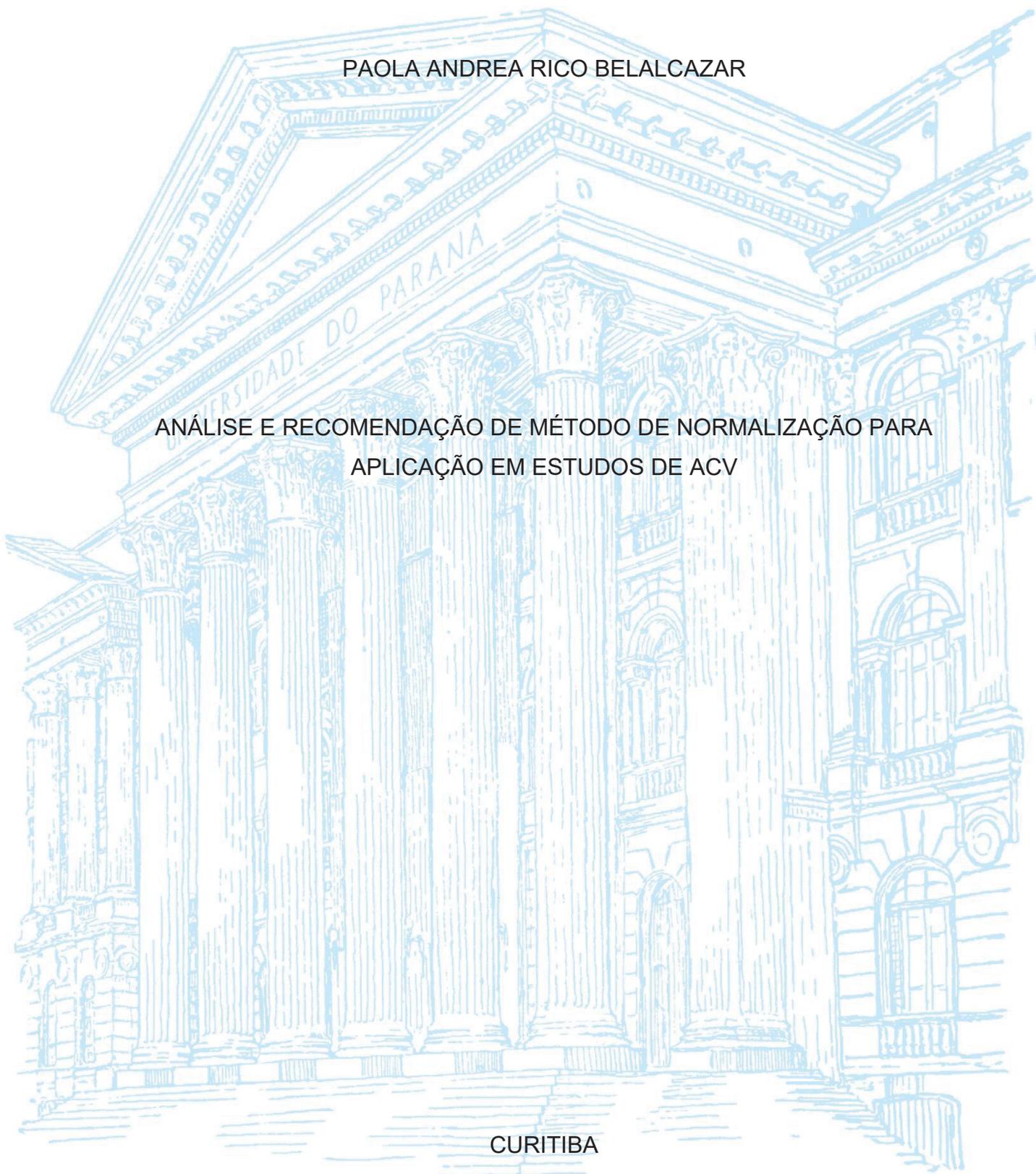
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAOLA ANDREA RICO BELALCAZAR

ANÁLISE E RECOMENDAÇÃO DE MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO PARA
APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE ACV

CURITIBA

2024



PAOLA ANDREA RICO BELALCAZAR

ANÁLISE E RECOMENDAÇÃO DE MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO PARA
APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE ACV

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, na área de Inovação em Produtos, Projetos e Processos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Belalcazar, Paola Andrea Rico

Análise e recomendação de método de normalização para aplicação em estudos de ACV / Paola Andrea Rico Belalcazar. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Marcell Mariano Corrêa Maceno

1. Ciclo de vida do produto – Avaliação. 2. Normalização. 3. Correlação (Estatística). I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Maceno, Marcell Mariano Corrêa. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **PAOLA ANDREA RICO BELALCAZAR** intitulada: **ANÁLISE E RECOMENDAÇÃO DE MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE ACV**, sob orientação do Prof. Dr. MARCELL MARIANO CORREA MACENO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Junho de 2024.

Assinatura Eletrônica

11/06/2024 14:36:41.0

MARCELL MARIANO CORREA MACENO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

11/06/2024 14:37:17.0

MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

11/06/2024 15:15:08.0

BRENO BARROS TELLES DO CARMO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ)

Av. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, 3º Andar, Prédio da Administração, Setor Tecnologia - Campus Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81530-000 - Tel: (41) 3361-3035 - E-mail: ppgep@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 372104

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 372104

RESUMO

A normalização é uma ferramenta amplamente difundida nos estudos da ACV para calcular a magnitude dos resultados obtidos nos indicadores de categoria. Ela é um elemento opcional na Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida, e pode ser considerada com uma ferramenta de apoio na interpretação dos resultados. Cabe mencionar que, dentre as vantagens oferecidas pela normalização, está a facilidade na comparação dos valores entre categorias e a identificação dos impactos ambientais mais relevantes. Além disso, a normalização permite encontrar possíveis inconformidades ou inconsistências nos dados. Uma das questões relacionadas à normalização na AICV é a confusão no momento de selecionar um método conforme o objetivo e escopo de cada estudo. Por esse motivo, o objetivo desta pesquisa é analisar e recomendar método(s) de normalização para aplicação em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida ambiental. Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com a finalidade de determinar os métodos mais utilizados nos últimos dez anos. Depois, os métodos selecionados foram aplicados em um estudo de caso de 5 processos produtivos para sua comparação e por último foi realizada uma análise de correlação para identificar a relação e significância dos métodos analisados. Dessa maneira, foi possível concluir que, tendo em conta as limitações da normalização referentes a acesso à informação, é recomendável usar os métodos de normalização externo como o global ou limites planetários para os estudos de ACV envolvendo o contexto brasileiro.

Palavras-chave: Normalização. Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida. Análise de correlação.

ABSTRACT

Normalization is a widely used tool in LCA studies to calculate the magnitude of results obtained in category indicators. It is an optional element in Life Cycle Impact Assessment and can be considered a support tool in interpreting results. It is worth mentioning that, among the advantages offered by normalization, are the ease of comparing values between categories and identifying the most relevant environmental impacts. Additionally, normalization allows for the identification of possible nonconformities or inconsistencies in the data. One of the issues related to normalization in LCIA is the confusion when selecting a method according to the goal and scope of each study. For this reason, the objective of this research is to analyze and recommend normalization method(s) for application in environmental Life Cycle Assessment studies. To achieve this, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted to determine the most commonly used methods in the last ten years. Then, the selected methods were applied in a case study of five production processes for comparison, and finally, a correlation analysis was performed to identify the relationship and significance of the analyzed methods. Thus, it was possible to conclude that, considering the limitations of normalization related to information access, it is advisable to use external normalization methods such as global or planetary boundaries for LCA studies involving the Brazilian context.

Keywords: Standardization. Life Cycle Impact Assessment. Correlation analysis.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. ETAPAS DA ACV | 16 |
| FIGURA 2. PROCEDIMENTO DA ANÁLISE DE INVENTÁRIO..... | 18 |
| FIGURA 3. ELEMENTOS DA AICV | 20 |
| FIGURA 4. CORRELAÇÃO DE ELEMENTOS NECESSÁRIOS NA AICV..... | 21 |
| FIGURA 5. CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO | 24 |
| FIGURA 9. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 29 |
| FIGURA 7. ETAPAS DA PESQUISA | 30 |
| FIGURA 9. FILTRO ARTIGO BASE DE DADOS | 38 |
| FIGURA 10. H-INDEX E FREQUÊNCIA DE ARTIGOS POR JOURNAL..... | 40 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| GRÁFICO 1. PROPÓSITO NORMALIZAÇÃO | 43 |
| GRÁFICO 2. TIPO DE NORMALIZAÇÃO | 44 |
| GRÁFICO 3. MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO | 44 |
| GRÁFICO 4. AICV EF v 3,1 PROCESSOS SIMILARES (CARACTERIZAÇÃO) | 46 |
| GRÁFICO 5. AICV EF v 3,1 PROCESSOS DIFERENTES (CARACTERIZAÇÃO)... | 46 |
| GRÁFICO 6. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO - ACIDIFICAÇÃO..... | 51 |
| GRÁFICO 7. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – MUDANÇA CLIMÁTICA..... | 52 |
| GRÁFICO 8. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO - EUTROFIZAÇÃO | 53 |
| GRÁFICO 9. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – USO DA TERRA | 53 |
| GRÁFICO 10. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – FORMAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO | 54 |
| GRÁFICO 11. CONSUMO VS PRODUÇÃO | 56 |
| GRÁFICO 12. GLOBAL VS LIMITES PLANETÁRIOS | 57 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1. ITEMS DO ESCOPO | 17 |
| QUADRO 2. ELEMENTOS DA PRIMEIRA FASE | 17 |
| QUADRO 3. MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO | 24 |
| QUADRO 4. PROTOCOLO RSL..... | 31 |
| QUADRO 5. RESUMO DA ACV..... | 33 |
| QUADRO 6. INVENTÁRIO LCI | 34 |
| QUADRO 7. ANÁLISE DE AMOSTRA FINAL DE ARTIGOS..... | 41 |
| QUADRO 8. AICV EF v 3,1 (CARACTERIZAÇÃO)..... | 47 |
| QUADRO 9. AVALORES DE REFERÊNCIAS PARA OS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO | 49 |
| QUADRO 12. COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO POR CATEGORIA DE IMPACTO - POLIPROPILENO | 55 |
| QUADRO 14. INVENTÁRIO PRODUÇÃO CIMENTO..... | 71 |
| QUADRO 15. INVENTÁRIO PRODUÇÃO POLIPROPILENO | 73 |
| QUADRO 16. INVENTÁRIO TRANSPORTE | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1. RESULTADOS DE NORMALIZAÇÃO | 50 |
| TABELA 2. RESULTADOS ANÁLISE DE CORRELAÇÃO | 55 |

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

| | |
|------|--|
| ACV | - Avaliação do Ciclo de Vida |
| AICV | - Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida |
| RSL | - Revisão Sistemática da Literatura |
| ONU | - Organização das Nações Unidas |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS | 12 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 12 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA..... | 13 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 14 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - ACV | 15 |
| 2.1.1 Definição de objetivo e escopo..... | 16 |
| 2.1.2 Análise de inventário | 17 |
| 2.1.3 Avaliação do impacto | 19 |
| 2.1.4 Interpretação | 19 |
| 2.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS NO CICLO DE VIDA – AICV..... | 19 |
| 2.2.1 Elementos obrigatórios..... | 20 |
| 2.2.2 Elementos opcionais | 22 |
| 2.3 NORMALIZAÇÃO..... | 22 |
| 2.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO | 26 |
| 3 METODOLOGIA | 29 |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 29 |
| 3.2 ETAPAS DA PESQUISA..... | 30 |
| 3.2.1 ESTÁGIO 1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA..... | 31 |
| 3.2.2 ESTÁGIO 2 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA..... | 31 |
| 3.2.3 ESTÁGIO 3 – ESTUDO DE CASO | 32 |
| 3.2.4 ESTÁGIO 4 – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO | 36 |
| 3.2.5 ESTÁGIO 5 – RESULTADOS | 36 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – RSL | 38 |
| 4.2 RESULTADOS COMPARATIVOS DA CARACTERIZAÇÃO DA AICV | 45 |
| 4.3 RESULTADOS DA NORMALIZAÇÃO DA AICV | 48 |
| 4.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO | 55 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 59 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| REFERÊNCIAS..... | 62 |
| APÉNDICE..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

Conforme a norma NBR ISO 14040, a avaliação do ciclo de vida (ACV) é composta por quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário (ICV), avaliação de impactos (AICV) e interpretação de resultados. A ACV permite identificar os aspectos ambientais e avaliar os impactos que podem estar relacionados ao processo produtivo de um produto. Dependendo do escopo, são considerados fatores desde a extração de matéria-prima para sua produção até sua disposição final. Por isso, a ACV é considerada uma técnica de apoio na tomada de decisões (ABNT, 2014a).

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase da ACV, tendo como finalidade associar e entender os possíveis impactos potenciais relacionados com o resultado obtido do inventário. A AICV integra os seguintes passos: classificação, caracterização, normalização, ponderação e agregação; sendo os três últimos não obrigatórios no processo. Tanto o nível de detalhamento como as metodologias e impactos avaliados são preestabelecidos no objetivo e escopo da ACV (ABNT, 2014a) (Pizzol *et al.*, 2017).

Apesar das considerações da norma NBR ISO 14040 não estabelecerem que a normalização seja um elemento obrigatório na fase de AICV, ela é uma ferramenta amplamente usada nos estudos da ACV para calcular a magnitude dos resultados obtidos nos indicadores de categoria. Desta maneira, os dados finais desta subfase da avaliação de impactos servem como apoio na fase de interpretação (Callau Ferreira, 2020) (Sousa, 2008).

Uma das questões da normalização na AICV é a diversidade de métodos que existem. Geralmente, são classificados em internos ou externos e são selecionados segundo o propósito que se deseja alcançar em cada estudo. É importante destacar a necessidade de análise prévia dos métodos, pois alguns deles não tem a adequabilidade necessária para desenvolver os estudos em ACV (Pizzol *et al.*, 2017) (Pilz, 2020).

Vale ressaltar que a normalização externa é disponibilizada pelos métodos de Avaliação de Impacto no Ciclo de Vida (AICV) mais comumente utilizados nos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), tais como IMPACT 2002+, CML 2001 e ReCiPe 2016 (Callau Ferreira, 2020). Nessa abordagem de normalização, para calcular a magnitude, são empregados valores de referência que podem ser locais, regionais ou

globais. Dessa forma, se os dados não estiverem atualizados, houver falta de informações ou se a escolha da região como característica for diferente do objeto de estudo, os resultados obtidos podem não representar a realidade que se deseja analisar (Ribeiro Tachard da Silva, 2010).

Portanto, esta pesquisa buscou responder à seguinte questão: Qual seria o método de normalização que apresenta maior confiabilidade ou adequabilidade para estudos de ACV ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Recomendar método(s) de normalização para aplicação em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida ambiental.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais métodos de normalização usados na AICV, por meio de uma análise sistemática de estudos sobre a avaliação do ciclo de vida de produtos.
- Aplicar os métodos de normalização mais frequentemente utilizados na ACV em um estudo de caso envolvendo 5 diferentes processos.

Analisar a correlação dos resultados para determinar o desempenho dos métodos empregados na ACV.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Norma NBR ISO 14044 (2014, p. 21), "o objetivo da normalização é entender a magnitude relativa para cada resultado de indicador do sistema de produto em estudo", ou seja, a normalização utiliza um fator de referência como base para que os resultados estejam numa mesma unidade, facilitando a análise. Além disso, também serve como base para as seguintes etapas da AICV, o agrupamento e a ponderação (ABNT, 2014b).

Adicionalmente, a normalização na AICV oferece duas perspectivas: A primeira é a interna, onde a normalização funciona como uma ferramenta que permite comparar o resultado dos indicadores e identificar qual categoria tem um maior impacto, ajustando os resultados na mesma unidade tomando como fator os valores próprios do estudo. A segunda é a externa, que contextualiza os resultados no tempo ou espaço, dependendo dos fatores de normalização selecionados (Ribeiro Tachard da Silva, 2010) (Sousa, 2008).

Dessa maneira, para os tomadores de decisões, o uso da normalização na AICV representa uma diferença significativa durante a interpretação dos resultados, dado que o uso da técnica facilita a identificação dos impactos mais relevantes e, assim, facilita o estabelecimento de ações que devem ser implementadas, tanto no contexto de uma empresa quanto nas políticas públicas (Callau Ferreira, 2020).

Por outro lado, é importante destacar que, dentre os desafios da normalização para os estudos de ACV, tem-se que, dependendo do método selecionado, os resultados podem variar. Além disso, encontram-se as limitações associadas às incertezas e possíveis vieses provenientes tanto dos dados do inventário da ACV quanto da base de dados usada nos fatores de normalização (Pizzol et al., 2017).

Neste contexto, estabelecer um caminho de escolha do método de normalização para a Avaliação dos Impactos no Ciclo de Vida de um produto é importante no sentido de reduzir incertezas nos resultados e facilitar a interpretação no apoio à tomada de decisão.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente dissertação teve como foco a análise dos métodos de normalização mais utilizados para a Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida de produtos na (ACV) para indicadores ambientais. Neste sentido, apesar de levantados os métodos de normalização internos, tais como valor máximo, linha de base, soma, Min-Max e standardização, este estudo buscou a análise de métodos de normalização externos, como baseados na produção - sistemas territoriais, baseados no consumo - sistemas territoriais, normalização global e limites planetários.

Para o estudo de caso, selecionaram-se 5 processos produtivos disponíveis na base de dados Ecoinvent 3.9.1, sendo eles a produção do polipropileno, produção de polietileno de baixa e alta densidade, produção do cimento e transporte. Optou-se

por 5 processos produtivos, de modo a se ter 3 processos produtivos distintos que possam ser considerados representativos em setores da economia de alto impacto ambiental, sendo eles: Embalagens, Construção civil e Logística. Além disso, foram utilizados mais 2 processos produtivos incluídos em um setor com processo já utilizado, no caso, o setor de embalagens, de modo a se analisar os resultados da normalização por diferentes métodos para produtos comparáveis dentro de um mesmo grupo de análise.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Conforme os objetivos estabelecidos, a dissertação está organizada em cinco capítulos principais, seguidos pelas referências bibliográficas.

O primeiro capítulo - **Introdução** - contextualiza o estudo através da descrição da problemática, justificativa, objetivos e delimitação da pesquisa.

O segundo capítulo - **Revisão de Literatura** - introduz os fundamentos e generalidades dos conceitos-chave abordados nesta pesquisa. Inicia-se pela Avaliação do Ciclo de Vida, segue para a fase de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida, e finaliza com a Normalização.

O terceiro capítulo - **Metodologia** - apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento da ferramenta de apoio na escolha do método de normalização na ACV.

O quarto capítulo – **Resultados** - expõe os resultados obtidos ao longo da pesquisa desenvolvida.

No quinto capítulo – **Considerações finais** - apresenta-se as conclusões do estudo referente aos resultados obtidos com os estudos de ACV e da análise de correlação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - ACV

Quando os primeiros estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foram iniciados, a técnica era conhecida como "eco balanço" ou "eco equilíbrio". Atualmente, ainda existem países onde a ACV é referida por esses nomes. No entanto, após numerosas pesquisas desenvolvidas, estabeleceu-se internacionalmente o termo "*Life Cycle Assessment*" em inglês, traduzido para o português como "Avaliação do Ciclo de Vida" ou como sinônimo "Análise do Ciclo de Vida" (Claudino & Talamini, 2013) (Tavares, 2007).

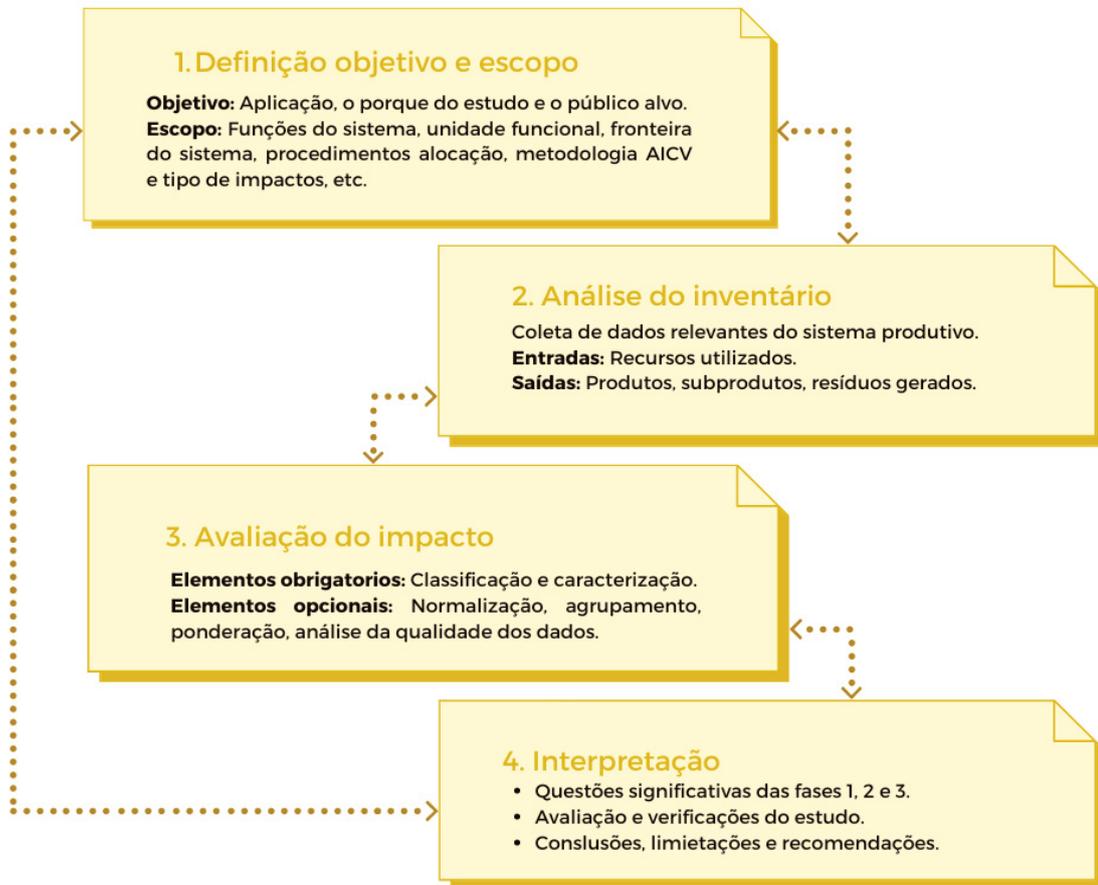
A Avaliação do Ciclo de Vida surgiu nos anos setenta, em meio às crises relacionadas ao petróleo. Naquela época, a ACV era desenvolvida com diversos métodos e estava geralmente associada a conceitos como avaliação do risco ambiental e avaliação do impacto ambiental. Como consequência, os resultados variavam segundo a metodologia escolhida (Chacón Vargas, 2008).

É importante destacar que um dos primeiros estudos e mais reconhecidos foi elaborado pela companhia Coca-Cola, onde foi implementada a metodologia *Resource and Environmental Profile Analysis*, com o objetivo de avaliar os impactos das embalagens usadas em seus produtos, levando em consideração o consumo de energia e materiais (Tavares, 2007).

Em 1997, devido à quantidade de estudos focados na Avaliação do Ciclo de Vida, foi publicada a primeira versão da norma internacional ISO 14040 pelo Comitê Técnico da ISO - TC-207 da *International Organization for Standardization* (ISO), que contém os princípios e o framework da ACV, servindo como guia para futuras pesquisas (Chacón Vargas, 2008). Atualmente, a norma possui uma versão atualizada e continua vigente.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que consiste em 4 etapas (FIGURA 1), apresentando informações das entradas e saídas dos processos que envolvem um produto. Isso permite analisar o desempenho ambiental de um sistema produtivo, relacionando aspectos ambientais com os impactos ambientais potenciais de um produto, desde a obtenção da matéria-prima, fabricação, uso e disposição, sendo considerada uma abordagem do berço ao túmulo (ABNT, 2014a).

FIGURA 1. ETAPAS DA ACV



FONTE: Baseado em (ABNT ISO, 2014).

2.1.1 Definição de objetivo e escopo

Esta etapa da ACV pode ser dividida em dois focos principais. O primeiro é a definição do objetivo, que deve ser claro e conter as considerações sobre porque o estudo está sendo desenvolvido, o propósito que se deseja cumprir e o público-alvo. O segundo é o escopo, onde é definida a complexidade do estudo por meio de itens-chave em todas as fases do estudo de ACV, como as funções do sistema, as fronteiras do sistema, a unidade funcional, procedimentos de alocação, metodologias da AICV, entre outros (ABNT, 2014a). No QUADRO 1, detalham-se esses elementos.

Segundo Jacquemin et al. (2012), nesta fase é possível ter o primeiro esboço do estudo com seus critérios definidos e limitações. Assim, são estabelecidos uma série de elementos com a finalidade de garantir que nenhuma parte relevante seja omitida. No

QUADRO 2. ELEMENTOS DA PRIMEIRA FASE se apresentam os elementos definidos na primeira fase da ACV.

QUADRO 1. ITENS DO ESCOPO

| ID | Item | Definição |
|----|---|--|
| 1 | Sistema de produto | Conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, que desempenha uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto |
| 2 | Função e unidade funcional | A unidade funcional é a quantificação da função do produto, sendo a função definida como as características de desempenho esperado |
| 3 | Fluxo de referência | Trata-se da quantidade de produtos necessária para desempenhar a função determinada na quantidade estabelecida pela unidade funcional |
| 4 | Fronteira do sistema | Critérios que especificam quais processos elementares fazem parte do sistema de produto |
| 5 | Alocação | Convém que seja considerada a necessidade de procedimentos de alocação, quando os sistemas envolvem múltiplos produtos (processos industriais com uma relação não linear entre entradas de matérias-primas e saídas) |
| 6 | Categoria de impacto e indicador de categoria | Classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário do ciclo de vida podem ser associados |
| 7 | Requisitos de qualidade de dados | Especificam em termos gerais as características dos dados necessários para o estudo. |

FONTE: Baseado em (ABNT ISO, 2014).

QUADRO 2. ELEMENTOS DA PRIMEIRA FASE

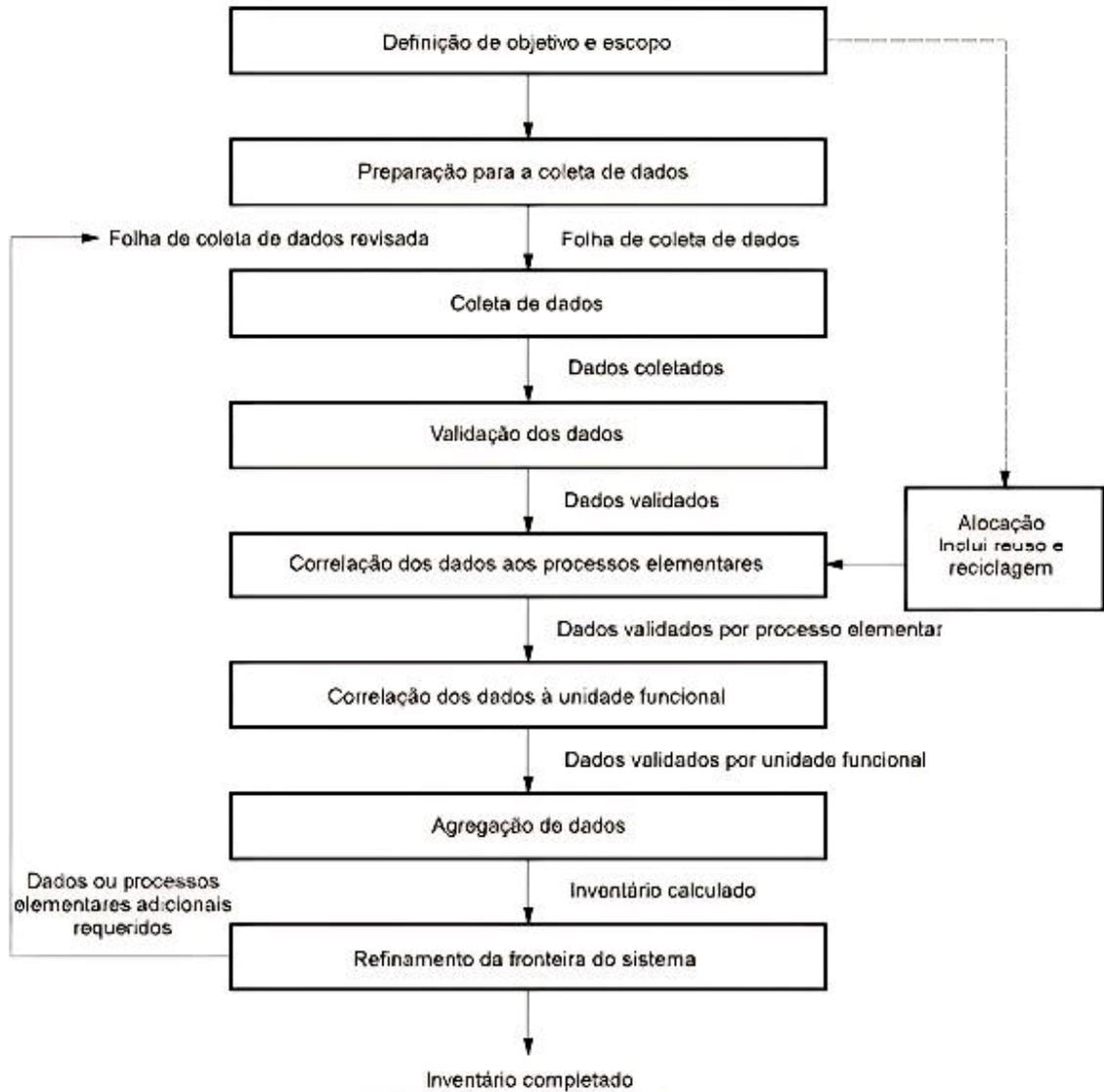
| Componente da ACV | Elementos |
|-------------------|---|
| Objetivo | Aplicação esperada, propósito do estudo, público-alvo |
| Escopo | As funções do sistema de produto ou sistemas, unidade funcional, sistema de produto a ser estudado, fronteiras do sistema de produto, procedimentos de alocação, tipos de impacto e metodologia na AICV, requisitos dos dados, suposições, limitações, requisitos da qualidade dos dados iniciais, tipo de análise crítica e formato. |

FONTE: Baseado em (ABNT ISO, 2014).

2.1.2 Análise de inventário

A análise de inventário da ACV envolve a coleta dos dados essenciais do sistema produtivo, incluindo os recursos utilizados (entradas) e os produtos, subprodutos ou resíduos gerados (saídas) de cada processo. A informação no inventário não é fixa, podendo mudar ao longo do seu desenvolvimento conforme as necessidades ou requisitos pré-estabelecidos (ABNT, 2014a). A FIGURA 2 apresenta as etapas previstas para a fase do inventário.

FIGURA 2. PROCEDIMENTO DA ANÁLISE DE INVENTÁRIO



FONTE: (ABNT ISO, 2014).

Cabe mencionar que, na ausência de informações completas sobre os materiais e processos nas etapas do ciclo de vida do produto a ser analisado, é viável realizar uma mineração de dados em bases já estabelecidas, contendo informações sobre materiais em uma região específica ou globalmente, como, por exemplo, a base EcolInvent (Farjana et al., 2019).

2.1.3 Avaliação do impacto

A informação necessária para a avaliação do impacto provém do inventário da ACV, que será relacionada com aspectos ambientais, permitindo prever os possíveis impactos que podem ser gerados pelo sistema produtivo. Esta fase pode ser obtida por meio dos seguintes processos: classificação, caracterização e ponderação. Cabe mencionar que existem diversas metodologias para a avaliação dos impactos, as quais variam segundo as delimitações da ACV; ainda não está estabelecida uma metodologia que possa ser aplicada a qualquer sistema (ABNT, 2014a). Maiores detalhes sobre a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida são descritas no item 2.2.

2.1.4 Interpretação

A interpretação permite entender e compreender a correlação entre o inventário e os impactos do sistema na ACV. Pode ser considerada como conclusões ou recomendações necessárias para a tomada de decisões em coerência com o objetivo e escopo propostos (ABNT, 2014a).

2.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS NO CICLO DE VIDA – AICV

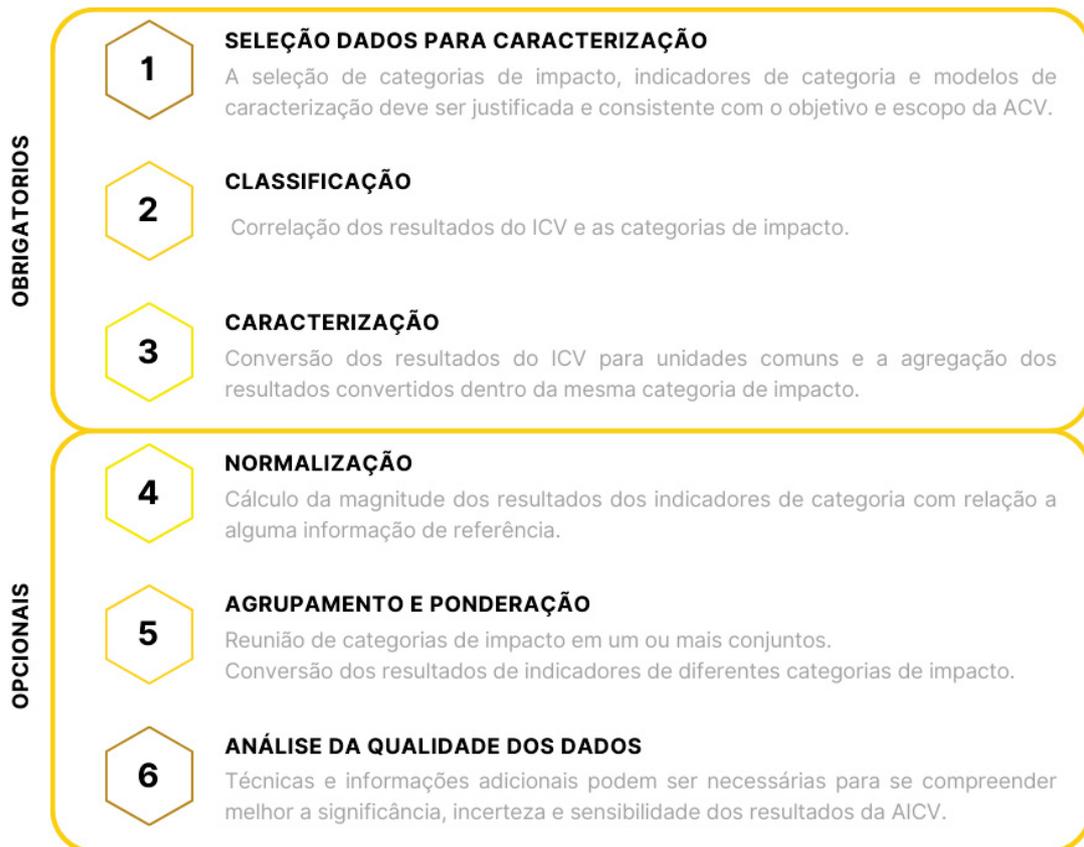
Na terceira fase da ACV, é possível obter uma compreensão mais clara dos potenciais impactos ambientais e sua significância. A AICV está intimamente relacionada com as outras fases da ACV, pois os aspectos desta são definidos já na primeira fase, como as metodologias ou categorias de impacto a serem analisadas. Da mesma forma, os resultados da segunda fase da ACV são as informações de entrada na avaliação dos impactos. Por essa razão, considera-se que a AICV é planejada ao longo do estudo da ACV (Assunção, 2020).

Como mencionado anteriormente, na fase do inventário são obtidos os dados necessários para conduzir a AICV. Portanto, é importante considerar a qualidade desses dados, uma vez que podem afetar a precisão dos resultados (Assunção, 2020).

De forma geral, a AICV estabelece aspectos ambientais com base na informação resultante do ICV, para serem associados a categorias de impacto e,

finalmente, avaliados (ABNT, 2014a). A Figura 3 apresenta os elementos obrigatórios e opcionais dentro da avaliação dos impactos ambientais estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 14044.

FIGURA 3. ELEMENTOS DA AICV



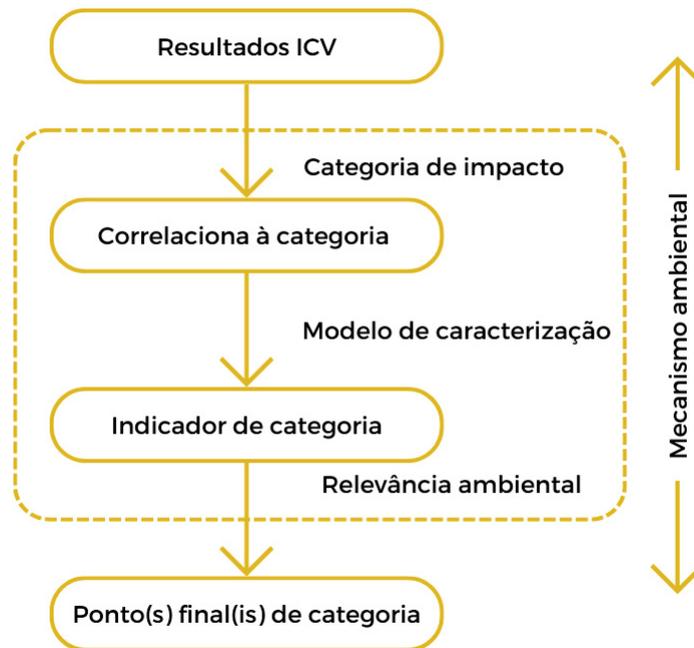
FONTE: Baseado em (ABNT ISO, 2014).

2.2.1 Elementos obrigatórios

a) Seleção dos dados para caracterização:

De acordo com o estabelecido nos objetivos e escopo da primeira fase da ACV, são definidos ou selecionados os seguintes dados: categorias de impacto, relacionadas aos aspectos ambientais do processo produtivo de um produto; indicadores de categoria, que permitem quantificar as categorias de impacto; o modelo de caracterização e o mecanismo ambiental, que correlacionam os resultados obtidos no ICV e os indicadores de categoria (ABNT, 2014b). Na FIGURA 4, é apresentada a relação entre os dados mencionados.

FIGURA 4. CORRELAÇÃO DE ELEMENTOS NECESSÁRIOS NA AICV



FONTE: Baseado em (ABNT ISO, 2014)

b) Classificação:

Nesta etapa, é realizada uma classificação dos resultados do ICV com base nas categorias de impacto. Portanto, devem ser identificados aqueles que se correlacionam com uma ou várias categorias (ABNT, 2014b).

c) Caracterização:

Nesta etapa, são utilizados fatores de caracterização para tratar os resultados do ICV, permitindo trabalhar com dados em unidades comuns. Isso é feito para melhorar a compreensão dos resultados dos indicadores (ABNT, 2014b).

Cabe destacar que tanto o modelo quanto os fatores de caracterização selecionados podem afetar a precisão dos resultados. Por este motivo, é importante

levar em consideração na escolha fatores como a geografia do estudo a ser desenvolvido e as categorias de impacto (ABNT, 2014b).

2.2.2 Elementos opcionais

d) Normalização:

A normalização, com o uso de um valor de referência, realiza o cálculo de magnitude, permitindo correlacionar os resultados dos indicadores e facilitando a análise do sistema produtivo avaliado. Além disso, a implementação desta fase identifica incoerências nos dados, a significância relativa dos resultados dos indicadores e serve como informação de entrada para as etapas seguintes dos elementos opcionais (ABNT, 2014b).

e) Agrupamento e ponderação:

O agrupamento consiste em colocar em um mesmo grupo as categorias de impacto com características similares (bases nominais) ou por uma hierarquia estabelecida conforme o objetivo e escopo da ACV (ABNT, 2014b). A ponderação utiliza fatores de conversão pré-selecionados segundo as preferências ou a significância para o estudo (ABNT, 2014b).

f) Análise da qualidade dos dados:

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 14044 (2014b), existem técnicas que facilitam a compreensão dos resultados da AICV, tais como a análise de contribuição, que identifica dados com maior contribuição nos indicadores das categorias; a análise de incerteza, relacionada com a confiabilidade do estudo; e a análise de sensibilidade, para perceber as mudanças geradas nos resultados dependendo das escolhas ao longo do estudo.

2.3 NORMALIZAÇÃO

A normalização, conforme mencionado na seção 2.2.2, consiste no cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores em função de um valor de referência escolhido conforme o objetivo e escopo da ACV (ABNT, 2014b). Segundo Laurent &

Hauschild (2015), os métodos de normalização seguem o formato apresentado na equação 1:

$$N_i^{SIS} = \frac{CS_i^{SIS}}{CS_i^{Ref}} \quad (1)$$

Onde,

N_i^{SIS} = Valor normalizado do indicador de impacto para a categoria de impacto i do sistema alvo de estudo.

CS_i^{SIS} = Valor caracterizado do indicador de impacto para a categoria de impacto i do sistema alvo de estudo.

CS_i^{Ref} = Valor caracterizado do indicador de impacto para a categoria de impacto i do sistema de referência, também conhecido como referência de normalização para a categoria de impacto i.

É importante destacar que, na equação 1, o valor que varia depende tanto do método de normalização selecionado quanto do objetivo e escopo do estudo, sendo o denominador de divisão o dado referente ao sistema de referência escolhido (Laurent & Hauschild, 2015).

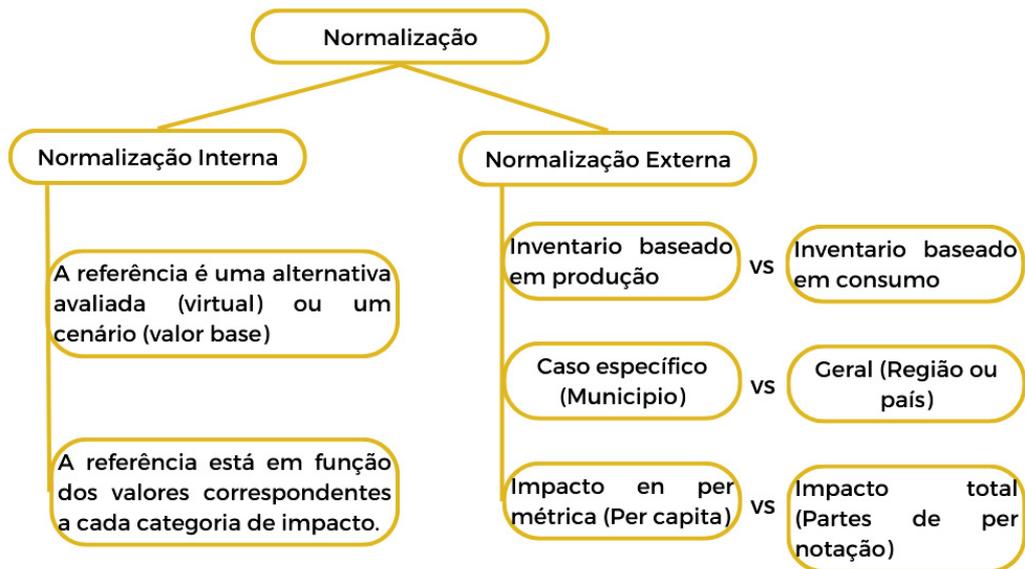
A normalização na AICV pode ser considerada uma ferramenta de apoio à interpretação dos resultados, facilitando a comparação entre os valores dos resultados das categorias de impacto ou de danos e identificando os impactos mais relevantes. Além disso, a normalização permite encontrar possíveis não conformidades ou inconsistências nos dados (ABNT, 2014b).

Considerando a importância do valor de referência, foi estabelecida uma classificação da normalização em duas abordagens, interna e externa (FIGURA 5). A primeira utiliza os mesmos valores dos indicadores de impacto, como o valor máximo ou a soma dos mesmos. Desta maneira, a normalização interna serve para comparar as categorias de impacto e identificar erros dentro do sistema a ser avaliado (Pizzol et al., 2017) (Laurent & Hauschild, 2015).

Por outro lado, o sistema de referência da normalização externa não são valores próprios do estudo. Esta abordagem considera como referência instituições, organizações ou pesquisas relacionadas com o objeto de estudo da ACV. Esta classificação é usada principalmente para contrastar os resultados obtidos no estudo

frente a uma região específica, uma empresa ou o tempo estabelecido no sistema de referência (Pizzol et al., 2017) (Laurent & Hauschild, 2015).

FIGURA 5. CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO



FONTE: Baseado em (LAURENT; HAUSCHILD, 2015)

No QUADRO 3, são apresentados os métodos de normalização mais comuns utilizados na fase de Avaliação de Impactos na ACV.

QUADRO 3. MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO

| ID | Classificação | Método | Descrição | Requisito |
|----|---------------|---------------|---|---|
| 1 | Interna | Valor máximo | Os resultados de caracterização de cada cenário alternativo são divididos pelo valor mais alto (obtido entre as alternativas) para cada categoria de impacto, repetindo esse procedimento para todos eles. Caracteriza-se por ser um método de fácil compreensão e simplicidade. Porém, dependente de valores atípicos que podem refletir erros nos dados de entrada. | O valor mais alto para cada categoria de impacto. |
| 2 | Interna | Linha de base | Os resultados da caracterização de cada cenário alternativo são divididos pelo resultado de uma linha de base de um cenário alternativo selecionado. | A linha base do cenário alternativo selecionado. |
| 3 | Interna | Soma | Os resultados da caracterização de cada cenário alternativo são divididos pela soma dos resultados de uma categoria de impacto. | A soma dos resultados de |

| ID | Classificação | Método | Descrição | Requisito |
|----|---------------|--|---|---|
| | | | Este procedimento é repetido para todos os resultados da caracterização. Uma vantagem importante é que mantém a proporcionalidade e os valores normalizados são idênticos aos originais, além de ser fácil de entender. Por outro lado, o método tem como negativo a Falta de interpretação significativa e sensibilidade a valores atípicos. | cada categoria de impacto. |
| 4 | Interna | Min-Max | Distância entre os piores e melhores desempenhos, compreendem entre 0 e 1. Redimensiona os dados em diferentes intervalos com base nos valores mínimo e máximo. Destaca o estabelecimento de limites e intervalos idênticos para todos os indicadores (0, 1). Mas, os valores atípicos afetam o índice e podem distorcê-lo mais do que o Z-score, a influência do intervalo máximo e mínimo afeta a saída dos dados finais e a diferença na variância não é eliminada. | Piores e melhores resultados. |
| 5 | Interna | Normalização (ou pontuações z) | Converte os indicadores a uma distribuição normal, com média zero e desvio padrão 1 sem impacto distorcido da média e a saída é sem dimensão. Limitações: Valores atípicos influenciam o índice, resultando em perda de proporcionalidade e alta subjetividade. | Média e desvio padrão |
| 6 | Externa | Normalização global | Os resultados dos indicadores caracterizados do(s) sistema em estudo dividem-se pelos resultados dos indicadores caracterizados do total das atividades realizadas no mundo ao longo da duração de referência. Fornece uma visão geral, mas não oferece precisão em relação a uma região ou país específico. | Balanço assumido entre consumo e produção |
| 7 | Externa | Sistemas territoriais baseados na produção | Os resultados dos indicadores caracterizados do(s) sistema em estudo são divididos pelos resultados dos indicadores caracterizados associados a todas as atividades territoriais numa região ou país, incluindo as suas exportações, mas excluindo as suas importações. Como o próprio nome sugere, esse método possibilita uma análise com foco na produção. No entanto, sem os dados completos de cada setor sob estudo, pode ser difícil obter uma resposta precisa ou conclusiva. | Fluxos ambientais que ocorrem dentro dos limites físicos ou geográficos dessa região/país durante a duração de referência. |
| 8 | Externa | Sistemas territoriais baseados no consumo | Os resultados dos indicadores caracterizados do(s) sistema em estudo dividem-se pelos resultados dos indicadores caracterizados associados ao consumo territorial total de uma região/país, incluindo as suas importações, mas excluindo as suas exportações. Esse método possibilita uma análise levando em conta o consumo de cada região ou país estudado. No entanto, enfrenta o mesmo desafio de exigir dados suficientes para obter os valores de referência necessários. | Fluxos ambientais que ocorrem dentro e fora dos limites físicos ou geográficos dessa região/país durante a duração de referência. |

FONTE: (FEIL, 2020; PIZZOL et al., 2017)

Cabe mencionar que os métodos listados no QUADRO 3, intitulado "MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO", foram selecionados com base na análise realizada na Revisão Sistemática de Literatura apresentada no capítulo de resultados.

2.4 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Frequentemente, surge a necessidade de avaliar a inter-relação entre duas ou mais variáveis. É possível determinar de forma precisa a influência que uma variável exerce sobre o resultado de outra. Os métodos associados à Análise de Correlação são ferramentas fundamentais em campos como as Ciências Sociais e Comportamentais, Engenharia e Ciências Naturais. É de extrema importância entender os vários métodos existentes e as suposições para sua aplicação, a fim de evitar o emprego de técnicas impróprias (GUIMARÃES, 2017; JORGE DAGNINO, 2014). Há vários critérios para avaliar essa relação, alguns voltados para variáveis com distribuição normal e outros para as que não seguem uma distribuição teórica conhecida. Dentre suas funções, destaca-se as seguintes:

- Medir a força da conexão entre duas ou mais variáveis.
- Desvendar se uma variável interfere no resultado da outra.
- Identificar padrões e tendências nos dados.

Escolher o método adequado para cada caso é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade da análise. Segue os tipos que podem ser consideradas durante a análise: distribuição normal, para variáveis que se comportam como uma curva em forma de sino, o Coeficiente de Correlação de Pearson é o recomendado; e terrenos desconhecidos: quando a distribuição das variáveis não é conhecida, o Coeficiente de Correlação de Spearman é a opção indicada para entender da melhor forma os dados (HEIJUNGS; DEKKER, 2022; ORTIZ PINILLA; ORTIZ RICO, 2021). Neste sentido, optou-se pela utilização da correlação de Pearson neste estudo.

Cabe mencionar que uma das vantagens da correlação é a de compreender a relação de Causa e Efeito, sendo que a correlação pode indicar a influência de uma variável sobre a outra. Outra possibilidade é a previsão de comportamento futuro,

considerando a identificação de padrões de dados passados (histórico passado). Finalmente, desvendar correlações espúrias, fazendo referência que nem toda correlação é real, o que significa que às vezes fatores externos podem criar a ilusão de uma relação que não existe (ORTIZ PINILLA; ORTIZ RICO, 2021).

O coeficiente de correlação de Pearson, representado por ρ , é uma ferramenta que quantifica a relação linear entre duas variáveis aleatórias. A versão amostral deste coeficiente, geralmente indicada por r , foi objeto de estudo aprofundado por pioneiros da estatística moderna, como Galton, Pearson e Fisher (LY; MARSMAN; WAGENMAKERS, 2018).

Fisher, utilizando seus conhecimentos em geometria, conseguiu, em 1915 e 1921, derivar a distribuição de amostragem exata de r . Ele também demonstrou que essa distribuição de amostragem tende a uma distribuição normal conforme o tamanho da amostra se expande (LY; MARSMAN; WAGENMAKERS, 2018).

A pesquisa de Fisher sobre correlação resultou na descoberta de transformações que estabilizam a variância, suficiência (FISHER, 1920) e, indiscutivelmente, o estimador de máxima verossimilhança (FISHER, 1922; STIGLER, 2007).

Por fim, o coeficiente é determinado utilizando os valores observados de pares de dados numéricos de duas variáveis quantitativas, X e Y, que são avaliadas em um conjunto de indivíduos (HERNÁNDEZ et al., 2018). Ele é definido como a covariância amostral entre os componentes padronizados dos pares de dados:

$$r_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s(x)} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s(y)} \right) \quad (2)$$

Onde,

$s(x)$ é o desvio padrão da amostra.

Entre as propriedades do coeficiente de Pearson, destacam-se as seguintes: adimensionalidade, o que significa que será gerado um índice sem dimensões facilitando a interpretação de resultados; intervalo definido entre 1 e -1; relação linear; simetria e independência da origem (ORTIZ PINILLA; ORTIZ RICO, 2021).

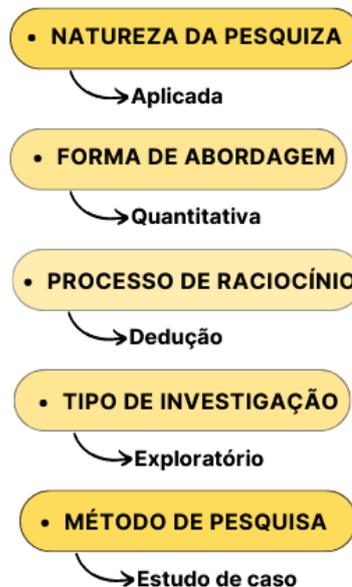
3 METODOLOGIA

Este Capítulo apresenta a proposta metodológica da pesquisa, organizada nas seguintes etapas: Caracterização da pesquisa e Etapas metodológicas.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Os princípios fundamentais de pesquisa podem ser observados na FIGURA 6. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

FIGURA 6. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: A autora (2024)

- Quanto à natureza de pesquisa: como o estudo busca gerar um conhecimento prático sobre a normalização na AICV e busca ser aplicado na análise dos impactos associados as fraldas, a pesquisa é classificada como aplicada (GIL, 2022).
- Quanto à forma de abordagem: é considerada quantitativa devido à natureza dos dados necessários para o cálculo dentro da avaliação dos impactos na ACV (GIL, 2022).

- Quanto ao processo de raciocínio: para o desenvolvimento da ferramenta de apoio é utilizada como base a informação recolhida na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) referente aos métodos mais utilizados de normalização na ACV (CAUCHICK, 2018).
- Quanto ao tipo de investigação: o estudo se mostra exploratório, pois, tem uma RSL com a finalidade de melhorar a compreensão da aplicação dos métodos de normalização na ACV (GIL, 2022) (CAUCHICK, 2018).
- Quanto ao método de pesquisa: a investigação se enquadra como um estudo de caso, devido a que se deseja implementar a ferramenta de apoio desenvolvida para a avaliação de impactos das fraldas a través da ACV.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da pesquisa que foram desenvolvidas no estudo para alcançar os objetivos propostos são apresentadas na FIGURA 7.

FIGURA 7. ETAPAS DA PESQUISA



FONTE: A autora (2024)

3.2.1 ESTÁGIO 1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Foram estabelecidas as delimitações do estudo, o objetivo geral e específicos que permitem ter uma visão geral dos resultados esperados e dos direcionamentos estabelecidos para desenvolver a ferramenta de apoio na escolha do método de normalização na ACV. Adicionalmente, inclui uma breve descrição da problemática abordada no trabalho e sua justificativa.

3.2.2 ESTÁGIO 2 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar os métodos de normalização utilizados na avaliação de impactos de produtos na ACV, bem como suas características e requisitos. A seguir, é apresentado o protocolo no QUADRO 4, utilizado para o mapeamento de artigos, com base nos critérios de inclusão e exclusão.

QUADRO 4. PROTOCOLO RSL

| | |
|------------------------------|--|
| Objetivo | Identificar os métodos de normalização mais usados na fase Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida. |
| Palavras Chaves | Normalização, Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida, AICV, Avaliação do Ciclo de Vida, ACV, Produto. |
| Combinações | "Normalization" AND "Life Cycle Assessment" "Normalization" AND "LCA" "Normalization" AND "Life Cycle Impact Assessment" "Normalization" AND "LCIA" |
| Espaço de tempo | 2012 - 2023 |
| Bases de dados | Web of Science Science Direct |
| Etapas RSL | Análise de duplicidade Análise de título, abstract, documento completo |
| Critérios de inclusão | Normalização na AICV ACV de produtos |
| Critérios de exclusão | Normalização no ICV |

FONTE: A autora (2024).

Com o objetivo de analisar artigos que reflitam a realidade atual, foi estabelecido um período de estudo de 10 anos (2012 - 2023). Segundo Lo Piano &

Benini (2022), em seu estudo de Revisão Bibliométrica da Literatura, observou-se que a partir do ano de 2010 o número de publicações relacionadas a estudos de ACV começou a se estabilizar, e em 2016 houve um aumento de 30%.

As buscas foram limitadas a duas bases de dados, *Web of Science* e *Science Direct*, devido ao acesso a periódicos de alto impacto que oferecem uma ampla variedade e quantidade de artigos (MARTÍN-MARTÍN et al., 2021; PILZ, 2020). É importante mencionar que as palavras-chave foram pesquisadas no título, resumo e palavras-chave dos artigos nas bases de dados.

A Revisão Sistemática da Literatura foi dividida em três etapas. Na primeira etapa, foi estabelecido um filtro considerando a relevância das revistas com base na quantidade de artigos por revista e no *h-index*, seguido pela análise de duplicatas. Os resultados obtidos com as palavras-chave na *Web of Science* e na *Science Direct* foram baixados no formato RIS e, utilizando o programa Mendeley, os artigos duplicados nos resultados das bases de dados foram removidos. Finalmente, na terceira etapa, foi realizada a análise do título, resumo e documento completo. A amostra final de artigos, após a análise de duplicatas, foi lida nessa ordem. Inicialmente, foram selecionados os artigos que mencionavam a realização da normalização na AICV em seus estudos. Em seguida, no texto completo, foram selecionados os artigos que detalhavam a normalização, seus objetivos e os métodos utilizados no estudo.

3.2.3 ESTÁGIO 3 – ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de comparar os métodos de normalização escolhidos no estágio 2 para a aplicação em estudos de avaliação de impactos do ciclo de vida, foram selecionados cinco processos produtivos para o estudo de caso: produção de polipropileno (PP), produção de polietileno de baixa e alta densidade (PEAD e PEBD), produção de cimento e transporte. Para o critério de seleção, considerou-se que os processos produtivos estivessem definidos e as bases de dados completas. Além disso, os 3 produtos distintos (PP, Cimento e Transporte) foram selecionados por representarem importantes produtos em seus setores de utilização (Logística, Construção Civil e Embalagens). Neste sentido, a ideia foi analisar a influência da normalização para diferentes produtos representantes de impactos ambientais consideráveis. Além disso, foram selecionados 3 tipos de plástico (PP, PEAD e

PEBD), de modo a se analisar os impactos ambientais normalizados de produtos que apresentam similaridades de uso, de modo a se entender a influência desta normalização nestes produtos. Assim, foram desenvolvidas todas as fases da ACV. Primeiramente, definiu-se o objetivo e o escopo da ACV, que consistiu na identificação dos principais impactos gerados pelos processos. O QUADRO 5 detalha os elementos desta fase.

QUADRO 5. RESUMO DA ACV

| Componente | | Característica |
|------------|------------------------|--|
| OBJETIVO | Aplicação pretendida | Levantar os impactos potenciais utilizando a ACV para: <ul style="list-style-type: none"> • Produção de polipropileno, • Produção de polietileno de baixa densidade, • Produção de polietileno de alta densidade, • Produção de cimento e • Transporte. |
| | Público alvo | Comunidade acadêmica, indústrias e comércios em geral. |
| | Razão | Identificar os processos que geram o maior impacto para cada um dos processos produtivos analisados |
| ESCOPO | Função | <ul style="list-style-type: none"> • Produzir polipropileno como matéria prima para a elaboração de outros materiais • Produzir polietileno de baixa e alta densidade como matéria prima para a elaboração de outros materiais • Produzir cimento como matéria prima para outros processos produtivos • Realizar fretes por caminhão |
| | Unidade Funcional | <ul style="list-style-type: none"> • 1 kg de polipropileno produzido • 1 kg de polietileno de baixa densidade • 1 kg de polietileno de alta densidade • 1 t de cimento Portland • 1 tkm de frete transportado por caminhão |
| | Fluxo de referência | <ul style="list-style-type: none"> • 1 dia de trabalho de produção • 1 caminhão |
| | Sistema de produto | Extração das matérias-primas, produção, uso e destinação final ao aterro sanitário, excluindo os impactos do transporte após a fabricação. |
| | Fronteira do sistema | Do berço ao portão (da extração de matéria-prima até a produção). |
| | Metodologia de impacto | EF v 3.1 |
| | Software | OpenLCA |

FONTE: A Autora (2024)

Para a metodologia de impacto, foi selecionado o EF v 3.1, pois permite facilitar a comparação entre os métodos de normalização por causa das unidades. As categorias de impacto analisadas foram acidificação - excedência acumulada, mudança climática - potencial de aquecimento global, eutrofização marinha - fração de nutrientes que atinge o compartimento final marinho, uso da terra - índice de

qualidade do solo e formação de material particulado - impacto na saúde humana. É importante mencionar que as categorias de impacto analisadas foram selecionadas considerando tanto a disponibilidade de dados do Brasil do consumo e produção das emissões como os fatores de conversão para criar a referência de normalização necessária para os métodos que devem ser construídos.

Cabe mencionar que para a análise dos 5 processos produtivos selecionados foi usado o software OpenLCA. Para a segunda fase da ACV, elaborou-se o inventário usando a informação pronta da base de dados ECOINVENT versão 3.9.1. O QUADRO 6 apresenta o inventário utilizado no estudo de ACV para cada um dos processos: produção de cimento, transporte, produção de polipropileno, produção de polietileno de baixa densidade e produção de polietileno de alta densidade (Nos apêndices os processos são detalhados a maior detalhe).

QUADRO 6. INVENTÁRIO LCI

| Elemento | Quantidade | Unidade | Referência ECOINVENT 3.9.1 |
|---|------------|---------|--|
| Polipropileno | 1 | kg | polypropylene production, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U RER |
| Polietileno de alta densidade | 1 | kg | polyethylene production, high density, granulate polyethylene, high density, granulate Cutoff, U RER |
| Polietileno de baixa densidade | 1 | kg | polyethylene production, low density, granulate polyethylene, low density, granulate Cutoff, U RER |
| Cimento Portland | 1 | kg | cement production, Portland cement, Portland Cutoff, U BR |
| Transporte, carga, camião 16-32 toneladas métricas, EURO2 | 1 | t*km | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 Cutoff, U BR |

FONTE: A Autora (2024)

Após a obtenção dos resultados das categorias de impacto para cada um dos 5 produtos analisados no software OpenLCA através do método de AICV EF 3.1, foram realizadas as definições dos fatores de normalização e a realização dos cálculos de normalização para cada categoria de impacto, e para cada produto em análise. Neste estudo foram considerados quatro métodos de normalização externa: na produção territorial), Limites Planetários e *Consumption-based, territorial systems* (Normalização baseada no consumo territorial). Maiores discussões sobre a escolha destes métodos são realizadas no tópico 4.1 deste trabalho.

Para obter os valores das referências de normalização, foi realizada uma revisão na literatura sobre os valores de referência para cada um dos métodos de

normalização na AICV. Determinou-se que para a normalização global e os limites planetários, já existem referências estabelecidas na literatura. No entanto, para os métodos baseados no consumo e na produção, foi necessário realizar um processo de cálculo para determinar as referências com base nos dados do Brasil.

As referências para o método de normalização global foram encontradas no estudo desenvolvido pela comissão europeia Joint Research Centre (JRC) em 2017 (CRENNA et al., 2017), enquanto os limites planetários foram definidos no estudo realizado por Sala S et al. E, 2019. Para os métodos de normalização baseados no consumo e produção, conforme (PIZZOL et al., 2017), os dados podem ser calculados usando as seguintes equações:

$$C = E_T + E_I - E_E \quad (3)$$

$$P = E_T + E_E - E_I \quad (4)$$

Onde:

C representa as emissões geradas pelo consumo

P representa as emissões geradas pela produção

E_T são as emissões territoriais

E_I emissões por importações

E_E emissões por exportações

Cabe mencionar que as informações referentes as emissões nas equações (3) e (4) foram definidas para o Brasil no ano 2011. Os outros dados referentes aos valores requeridos para os cálculos necessários para obter as referências de normalização baseadas no consumo e na produção foi encontrada na base de dados *Eora*, que é um banco de dados da cadeia de suprimentos global da Eora consiste em um modelo de tabela de insumo-produto multirregional (MRIO) que fornece uma série temporal de tabelas de IO de alta resolução com contas satélite ambientais e sociais correspondentes para 190 países (EORA, 2024).

Finalmente, para tornar os valores das referências de normalização em dados per capita, foi buscada a população no Brasil para o ano 2011, sendo 192.376.496 pessoas (CRENNA et al., 2017). Devido a que os dados estabelecidos para o método de limites planetários eram de diferentes anos, foi pesquisada a população mundial

para os anos 2015, 2017 e 2019 sendo 7.349.000.000.000 (UNITED NATIONS; AFFAIRS; DIVISION, 2015), 7.550.000.000.000 (UNITED NATIONS; DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS; POPULATION DIVISION, 2017) e 7.713.468.000.000 (UNITED NATIONS, 2019) pessoas, respectivamente. Para a normalização global na literatura o valor já estava com unidades per capita.

Assim, com estes procedimentos executados, foi possível obter os resultados normalizados per capita para cada categoria de impacto em cada produto de análise.

3.2.4 ESTÁGIO 4 – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Para o cálculo da análise de correlação, tendo em conta a recomendação de diversos autores que preferem o método desenvolvido por Pearson para a análise de correlação, foi selecionado o coeficiente de Pearson (HEIJUNGS; DEKKER, 2022). Além disso, considera-se que a escala e o origem dos dados não interferem na obtenção dos resultados da correlação de Pearson (ORTIZ PINILLA; ORTIZ RICO, 2021).

Conforme os autores, a correlação de Pearson é amplamente implementada em estudos para realizar análises de comparação entre métodos seguindo a equação (2) explicada na seção do trabalho 2.4 (HERNÁNDEZ et al., 2018). Lembrando que os dados de usados para a análise de correlação foram os obtidos dos diferentes métodos de normalização aplicados nos 5 processos produtivos estudados. Dessa forma, a correlação de Pearson realiza uma comparação de pares, analisando a relação de dois em dois entre os resultados da normalização global, limites planetários, baseado no consumo e baseado na produção (HEIJUNGS; DEKKER, 2022; HERNÁNDEZ et al., 2018).

Nesse trabalho, foi utilizado o software *MiniTab 17* para estudantes para fazer os cálculos para a obtenção das correlações e sua significância, selecionando a função de estatística básica - correlação. Como informação de entrada foram ingressados os resultados normalizados das categorias de impacto analisadas para os 5 processos produtivos.

3.2.5 ESTÁGIO 5 – RESULTADOS

Baseando-se nos dados apresentados e nas etapas descritas anteriormente, no próximo Capítulo são conduzidas a Revisão Sistemática da Literatura para definir os principais métodos de normalização aplicados na AICV, as avaliações do impacto ambiental potencial dos processos produtivos através da avaliação do ciclo de vida utilizando a metodologia EF 3.1 com a finalidade de aplicar e comparar os métodos de normalizar na fase de AICV.

Após a Caracterização e Normalização do estudo de ACV foi realizada a análise de correlação de Pearson para identificar a relação entre os métodos de normalização e sua significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

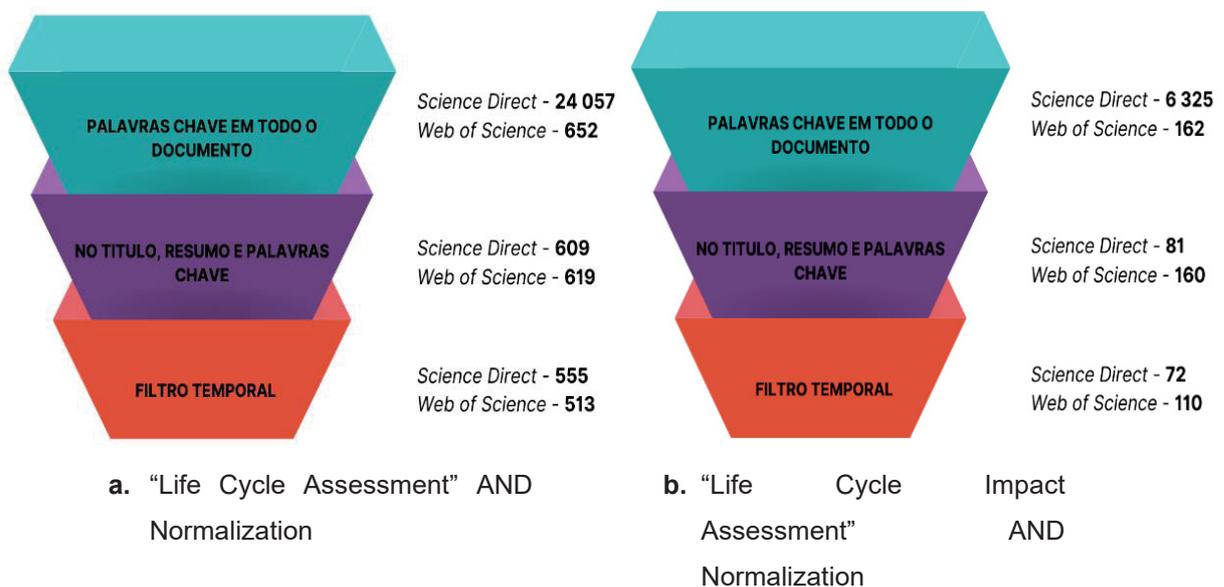
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – RSL

A RSL foi conduzida com o objetivo de identificar os métodos de normalização mais frequentemente empregados, tanto internos quanto externos, na Avaliação do Ciclo de Vida, especialmente na fase de AICV.

Para realizar as buscas, seguiu-se o protocolo de RSL apresentado no Quadro 6, utilizando duas bases de dados, *Science Direct* e *Web of Science*, com foco no título, palavras-chave e resumo. Além disso, foi estabelecido um intervalo de tempo de até 10 anos, cobrindo o período de 2012 a 2023.

Observou-se nas duas bases de dados, inicialmente, a quantidade de artigos que incluem as palavras "*Normalization*", "*Life Cycle Assessment*", "LCA", "*Life Cycle Impact Assessment*" e "LCIA", considerando apenas as palavras-chave como filtro. Ou seja, as buscas foram realizadas em todos os campos do documento. Este primeiro filtro resultou em 31.214 documentos. Em seguida, foi aplicado outro filtro com as mesmas palavras-chave definidas no protocolo, restringindo a pesquisa ao título, resumo ou palavras-chave, o que resultou em 1.469 artigos. Por fim, foi aplicado o filtro temporal de 10 anos, abrangendo o período de 01 de janeiro de 2012 a 26 de setembro de 2023, resultando em 1.250 documentos (FIGURA 9).

FIGURA 8. FILTRO ARTIGO BASE DE DADOS



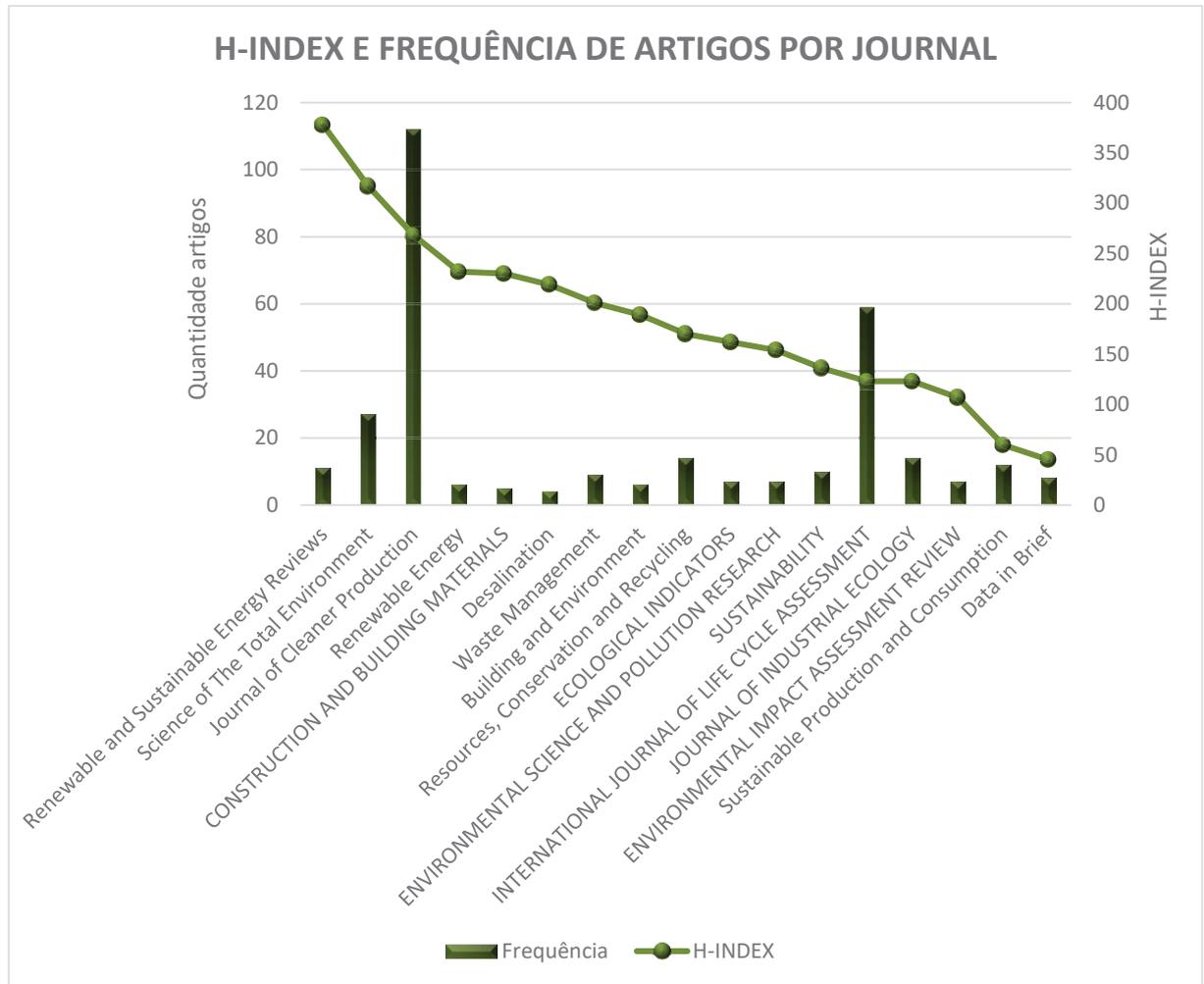
FONTE: A autora (2024)

Os resultados iniciais revelaram um total de 627 artigos na base de dados da *Science Direct* e 623 na *Web of Science*, totalizando 1250 artigos. Ao analisar a quantidade de revistas que publicaram durante o período estabelecido no filtro temporal da base de dados, identificou-se um total de 178 revistas. Durante essa análise, levou-se em conta o número de pesquisas divulgadas por cada uma das revistas, encontradas tanto na *Science Direct* quanto na *Web of Science*. Por fim, como critério de exclusão, optou-se por remover as revistas que publicaram apenas cinco artigos ou menos como máximo, resultando em 161 revistas excluídas.

No portfólio bibliográfico (PB), dos periódicos 17 mais prevalentes encontra-se o *Journal of Cleaner Production* (35,22%), o *International Journal of Life Cycle Assessment* (18,55%) e o *Science of The Total Environment* (8,49%). Essas revistas abrangem mais da metade dos estudos selecionados, destacando as principais áreas de pesquisa cobertas por esses periódicos.

Além disso, foi analisado o *h-index* das revistas mais comuns no PB. Esse índice, introduzido por Hirsch (2005), é utilizado para avaliar a produtividade e a influência de pesquisadores e periódicos no meio acadêmico, e foi consultado no site *Scimago Journal & Country Rank*. Quanto maior o valor do *h-index*, maior é a produtividade e o impacto do pesquisador ou periódico. Na análise conduzida (FIGURA 10), os periódicos com os maiores *h-index* foram o *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, o *Science of The Total Environment* e o *Journal of Cleaner Production*, com índices de 378, 317 e 268, respectivamente.

FIGURA 9. H-INDEX E FREQUÊNCIA DE ARTIGOS POR JOURNAL



FONTE: A autora (2023)

Para classificar a amostra final composta por 82 artigos, foram estabelecidos três critérios de análise. O primeiro critério considerou o propósito da normalização dentro do estudo, conforme definido na norma NBR ISO 14044 (2014b), que inclui verificar inconsistências, fornecer e comunicar informações sobre a significância relativa dos resultados dos indicadores, e preparar procedimentos adicionais, como agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida. O segundo critério levou em conta o tipo de normalização, distinguindo-se entre interna e externa. Por último, foram analisados os métodos específicos de normalização utilizados. O QUADRO 7 apresenta as classificações dos artigos da amostra final.

QUADRO 7. ANÁLISE DE AMOSTRA FINAL DE ARTIGOS

| Propósito | Tipo | Métodos | Referências |
|--|------------------------------|---|---|
| Verificar inconsistências | Interna (3) Externa (5) | Baseado no consumo (3) Normalização Global (1) Normalização Regional (2) Soma (2) | (ZAGKLIS et al., 2021) (PINTO et al., 2020) (LANGKAU; ERDMANN, 2021) (WOWRA; ZELLER; SCHEBEK, 2022a) (WEISBROD; VAN HOOF, 2012) (WANG et al., 2021) |
| Fornecer e comunicar informações sobre a significância relativa dos resultados dos indicadores | Interna (14) Externa (66) | Baseado no consumo (4) Baseado na produção (1) Normalização Global (33) Normalização Regional (25) Soma (4) Valor Máximo (4) Valor Mínimo (1) Diferencia Max-Min (6) Ranking (1) Limites planetários (5) Linha Base (1) | (FAMIGLIETTI et al., 2021) (ZHANG et al., 2022a) (DOMINGUES et al., 2015) (AL-KAABI et al., 2021) (GISLON et al., 2023a) (SCHWAICKHARDT; MACHADO; LUTTERBECK, 2017) (JI; HONG, 2016) (Demetrious et al., 2018) (Cheng et al., 2022) (Helias et al., 2020) (Ingwersen et al., 2016) (Miao et al., 2021) (Aleisa & Al-Shayji, 2018) (Pineda et al., 2017) (Marinković et al., 2017) (Abin et al., 2018) (Bayo et al., 2012) (Garcia-Herrero et al., 2017) (Nikkhah et al., 2017) (Dick et al., 2021) (Bhattacharyya et al., 2019) (Ding et al., 2022) (Chen et al., 2019) (Moretti et al., 2020a) (Vera et al., 2015) (Zhou et al., 2021) (Ghimire et al., 2019) (Lecksiwilai & Gheewala, 2020a) (Corbala-Robles, Sastafiana, Van Linden, et al., 2018) (Kawajiri et al., 2018) (N. Zhang et al., 2022) (Kwofie & Ngadi, 2017) (E. Wang & Yuan, 2014) (Hennequin et al., 2018) (W. Zhang et al., 2021) (de Kock et al., 2019) (Ridoutt et al., 2014) (Li et al., 2023) (Luo et al., 2019) (Grassauer et al., 2021) (Khanali et al., 2020) (Duman et al., 2020) (Slorach et al., 2020) (González-García et al., 2021) (Wen et al., 2018) (Beigbeder et al., 2019) |

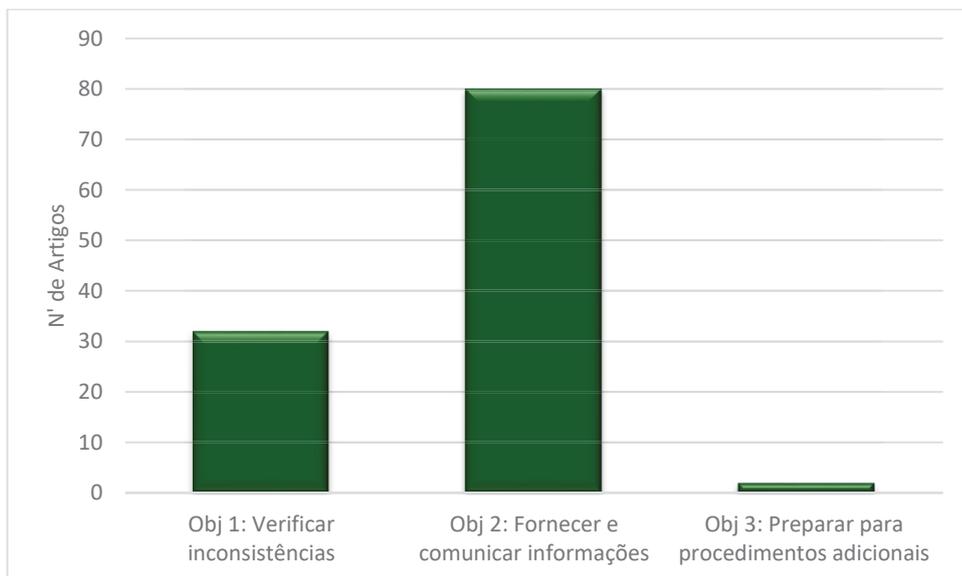
| Propósito | Tipo | Métodos | Referências |
|--|----------------------------|-------------------------------------|--|
| | | | (Zhao et al., 2021) (Babaizadeh & Hassan, 2013) (Zagklis et al., 2021) (Seng Liew et al., 2023) (Akinyele et al., 2017) (Page et al., 2014) (Wowra et al., 2022b) (Arfelis et al., 2023) (Thyberg & Tonjes, 2017) (Guo et al., 2022) (Pinto et al., 2020) (Entrena-Barbero et al., 2023) (Yazdanbakhsh et al., 2018) (Dong & Ng, 2014) (Wohner et al., 2020) (Langkau & Erdmann, 2021) (Powar et al., 2021) (Dehkordi & Forootan, 2020) (Wowra et al., 2022a) (Kasah, 2014) (Weisbrod & Van Hoof, 2012) (Wulf et al., 2017) (S. S. Wang et al., 2021) (Hou et al., 2011) (Kim et al., 2013) (Galafton et al., 2023) (De Vlieghere et al., 2023) (C. E. Andersen et al., 2020) (Sillman et al., 2021) (Uusitalo et al., 2019) (S. C. Andersen et al., 2022) (De Laurentiis et al., 2023a) |
| Preparar procedimentos adicionais, tais como agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida | Interna (1) Externa (1) | Normalização Global (1) Soma (1) | (Fernández-Tirado et al., 2021) (Myllyviita et al., 2012) (Gislon et al., 2023b) (Ji & Hong, 2016) (Demetrious et al., 2018) (Hélias et al., 2020) (Garcia-Herrero et al., 2017) (Nikkhah et al., 2017) (Moretti et al., 2020b) (Lecksiwilai & Gheewala, 2020b) (Corbala-Robles, Sastafiana, Van linden, et al., 2018) (Liang et al., 2018) (N. Zhang et al., 2022) (W. Zhang et al., 2021) (de Kock et al., 2019) (Grassauer et al., 2021) (Slorach et al., 2020) (Akinyele et al., 2017) (Page et al., 2014) (Arfelis et al., 2023) (Thyberg & Tonjes, 2017) (Guo et al., 2022) (Entrena-Barbero et al., 2023) (Dong & Ng, 2014) (Wohner et al., 2020) |

| Propósito | Tipo | Métodos | Referências |
|-----------|------|---------|---|
| | | | (Powar et al., 2021) (Dehkordi & Forootan, 2020) (Wulf et al., 2017) (Hou et al., 2011) (Kim et al., 2013) (Galafton et al., 2023) (Sillman et al., 2021) |

FONTE: A autora (2024)

Para o primeiro critério de classificação, aproximadamente 66,67% dos artigos selecionados na amostra final, totalizando 80 artigos, utilizaram métodos de normalização dentro da ACV com o objetivo de "fornecer e comunicar informações sobre a significância relativa dos resultados dos indicadores" (Objetivo 1); 26,67%, equivalente a 32 artigos, para "preparar procedimentos adicionais, tais como agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida" (Objetivo 2); 13,4%, correspondendo a 8 artigos, usaram a normalização com os dois objetivos mencionados; e finalmente, 2,4%, representando 2 artigos, para "verificar inconsistências" (Objetivo 3). (GRÁFICO 1. PROPÓSITO NORMALIZAÇÃO)

GRÁFICO 1. PROPÓSITO NORMALIZAÇÃO

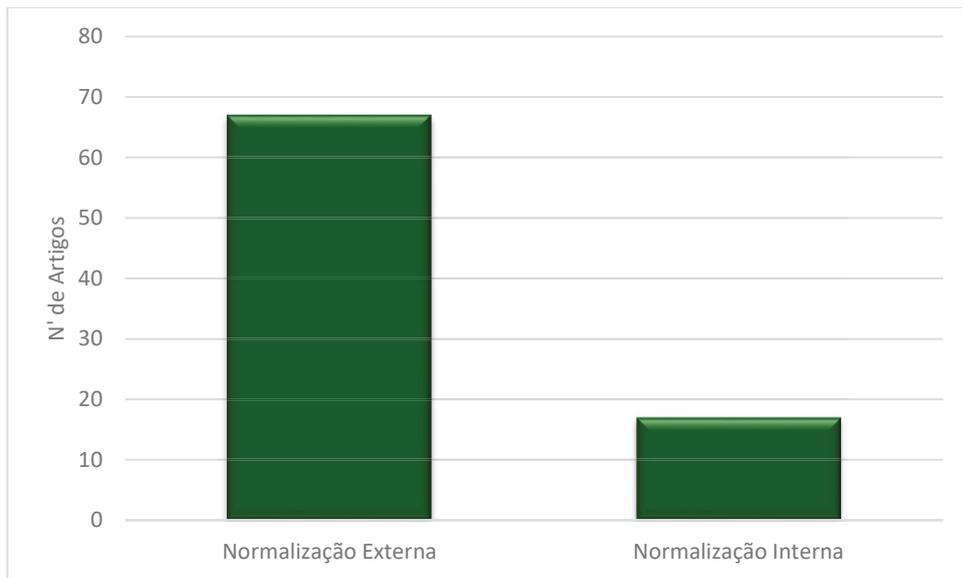


FONTE: A autora (2024)

Para o segundo critério de classificação, observa-se que a normalização externa é predominante, representando 80% da amostra final, o que corresponde a 67 artigos. Em contraste, 20% dos artigos, totalizando 17, optaram pela normalização interna (GRÁFICO 2). De acordo com (Wulf et al., 2017), essa prevalência da

normalização externa pode ser atribuída à possibilidade de reversão de classificação após a agregação, que é uma preocupação na normalização interna. Nesse contexto, a ordem de preferência das alternativas pode ser invertida, o que significa que, ao incluir uma nova alternativa na avaliação, a classificação entre as alternativas existentes pode ser alterada ($A > B$; $B > A > C$). Devido a essa questão, a normalização interna é alvo de controvérsia na ACV, levando muitos profissionais a preferirem a normalização externa.

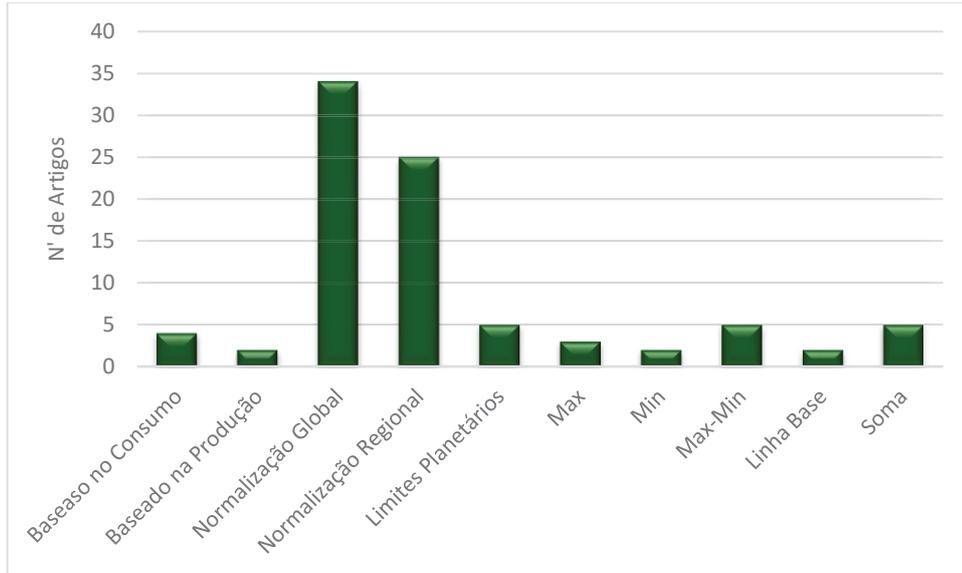
GRÁFICO 2. TIPO DE NORMALIZAÇÃO



FONTE: A autora (2024)

Por último, no terceiro critério, destaca-se que os cinco métodos de normalização mais utilizados entre os artigos analisados foram identificados. A normalização global foi a mais frequente, representando 40%, o que equivale a 34 artigos; seguida pela normalização regional, com 30%, totalizando 25 artigos. Os métodos de limites planetários, soma e diferença entre o valor máximo e mínimo foram menos comuns, cada um representando 6%, o que corresponde a 5 artigos cada (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3. MÉTODO DE NORMALIZAÇÃO



FONTE: A autora (2024)

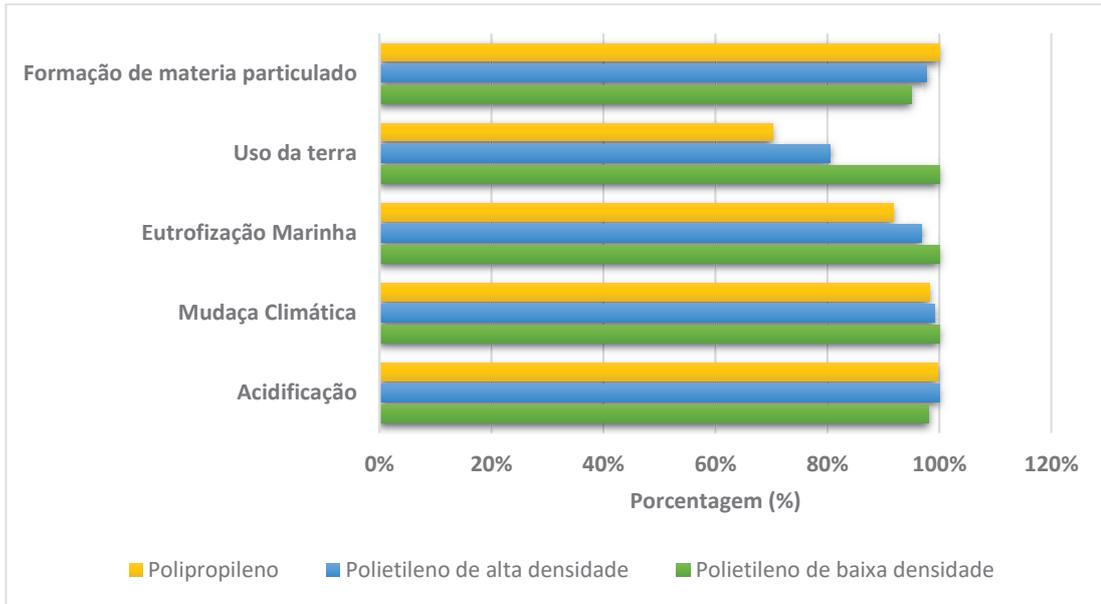
Finalmente, com base tanto nos resultados obtidos nesta seção quanto nos principais métodos aplicados nos estudos de ACV, destaca-se que são usados principalmente os métodos de normalização externa. Por esse motivo, os métodos de normalização externa selecionados para serem analisados neste estudo foram a normalização global, baseada no consumo, baseada na produção e os limites planetários. Além disso, diversos autores recomendam em suas pesquisas a aplicação dos métodos de normalização externa, pois permite uma análise mais abrangente e, em comparação com a normalização interna, a externa possibilita avaliar os três propósitos da normalização mencionados na normativa (Verones et al., 2017).

4.2 RESULTADOS COMPARATIVOS DA CARACTERIZAÇÃO DA AICV

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados comparativos das categorias de impacto (acidificação - excedência acumulada, mudança climática - potencial de aquecimento global, eutrofização marinha - fração de nutrientes que atinge o compartimento final marinho, uso da terra - índice de qualidade do solo e formação de material particulado - impacto na saúde humana) para os diferentes processos em análise (produção de cimento, transporte, produção de polipropileno, produção de polietileno de baixa densidade e produção de polietileno de alta densidade).

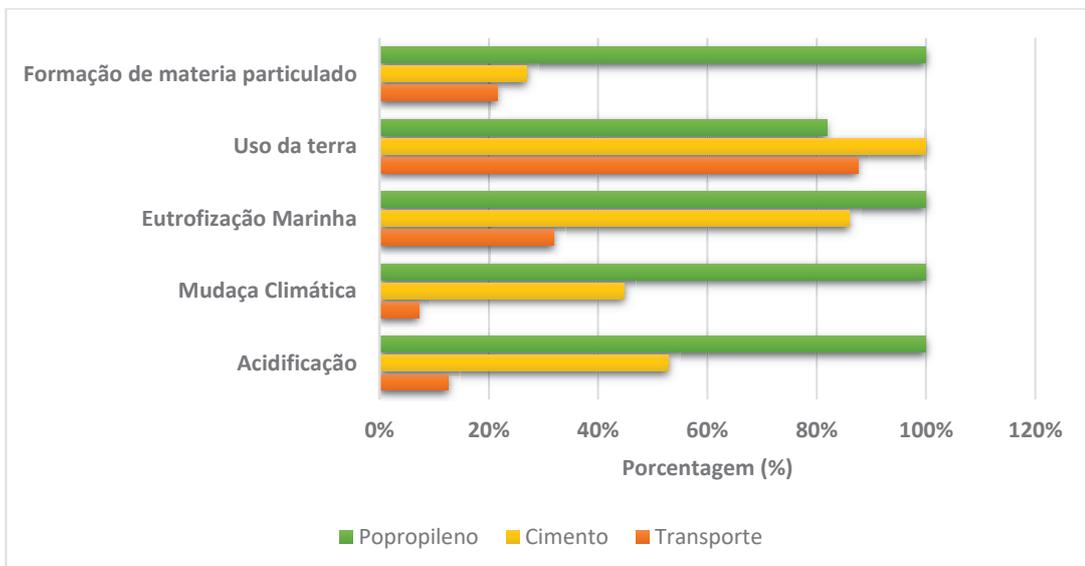
Primeiramente, apresenta-se o gráfico que ilustra como as categorias de impacto potencial se comportam de acordo com a metodologia EF v 3,1 v.1.06 (GRÁFICO 4), considerando os processos produtivos similares (produção de PP, produção de PEAD e produção de PEBD).

GRÁFICO 4. AICV EF v 3,1 PROCESSOS SIMILARES (CARACTERIZAÇÃO)



FONTE: A autora (2024)

GRÁFICO 5. AICV EF v 3,1 PROCESSOS DIFERENTES (CARACTERIZAÇÃO)



FONTE: A autora (2024)

Os resultados apresentados no GRÁFICO 4 indicam que os processos de fabricação do polietileno de baixa e alta densidade são os que registram os maiores impactos ambientais potenciais destacando em 4 das 5 categorias analisadas. Cabe mencionar que, apesar da identificação de maior e menor impacto ambiental potencial, os resultados dos 3 processos produtivos de plásticos apresentam similaridades de resultados.

Já no GRÁFICO 5, para os processos produtivos de processos de diferentes setores, destaca-se a produção de polipropileno nas 5 categorias de impactos seguido pelo cimento. Finalmente, o processo produtivo que apresenta um menor impacto ambiental potencial é o transporte.

É importante notar que as categorias de impacto potencial no gráfico de Caracterização exibem uma tendência de comportamento, mas não permitem uma avaliação completa da magnitude apenas por meio delas. Para uma avaliação mais completa, é necessário examinar os valores dos impactos ambientais potenciais da Caracterização de cada categoria de impacto para cada processo produtivo em análise considerando as suas unidades reais de medida, ou seja, os indicadores de categoria.

Assim, no QUADRO 8, são exibidos os valores obtidos na caracterização da AICV, representando as categorias de impacto para cada processo em análise. É importante destacar que as células em vermelho indicam os valores mais elevados e as em azul os mais baixos.

QUADRO 8. AICV EF v 3,1 (CARACTERIZAÇÃO)

| Categorias | Unidades | Polipropileno | Polietileno de baixa densidade | Polietileno de alta densidade | Cimento | Transporte |
|---|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------------|
| Acidificação | mol H+-Eq | 5,99E-03 | 5,89E-03 | 6,01E-03 | 3,17E-03 | 7,57E-04 |
| Mudança climática | kg CO2-Eq | 1,88E+00 | 1,92E+00 | 1,90E+00 | 8,44E-01 | 1,35E-01 |
| Eutrofização: marinha | kg N-Eq | 1,09E-03 | 1,18E-03 | 1,15E-03 | 9,34E-04 | 3,48E-04 |
| Uso da terra | Adimensional | 1,51E+00 | 2,16E+00 | 1,73E+00 | 1,85E+00 | 1,62E+00 |
| Formação de material particulado | Incidência de doenças | 7,11E-08 | 6,76E-08 | 6,95E-08 | 1,92E-08 | 1,53E-08 |

FONTE: A autora (2024)

Com base nos resultados apresentados no QUADRO 8, foi possível identificar que os maiores impactos ambientais potenciais entre os 5 processos produtivos são gerados principalmente pela produção de plástico, com destaque para o polietileno de baixa densidade, enquanto o processo produtivo com o menor impacto potencial é o transporte.

Subdividindo os processos produtivos analisados entre os de setor similar (embalagens) e de setores diferentes, pode-se verificar que, para os plásticos, a produção de polietileno de baixa densidade se destaca com maior impacto ambiental potencial nas categorias Mudança climática, Eutrofização marinha e

Uso da terra. Por outro lado, a produção de polipropileno apresenta o menor impacto ambiental potencial.

Para os processos produtivos de polipropileno, cimento e transporte, o que apresenta maior impacto potencial é o polipropileno, enquanto o transporte tem o menor impacto nas categorias de Acidificação, Mudança climática, Eutrofização marinha, Uso da terra e Formação de material particulado.

Cabe mencionar que, tanto para o polietileno de baixa densidade quanto para o polipropileno, o processo que gerou o maior impacto ambiental potencial foi o tratamento dos resíduos perigosos na produção dos plásticos. No caso do transporte, o maior impacto está relacionado com o mercado das estradas, especificamente com o processo de construção das estradas.

Por fim, vale destacar que, apesar de se ter identificado os processos de maior e menor impacto ambiental potencial entre os diferentes setores, esta análise serviu somente para gerar dados para se analisar posteriormente a influência nos resultados dos diferentes métodos de normalização aplicados à processos de diferentes setores da economia. Ou seja, não se pode afirmar que o processo de produção de polipropileno possui maior impacto ambiental do que o processo de fabricação do cimento ou o processo de transporte, dado que as funções de produto, unidades funcionais e fluxos de referência não são comparáveis.

4.3 RESULTADOS DA NORMALIZAÇÃO DA AICV

Nesta etapa dos resultados são detalhadas as pontuações das categorias de impacto ambiental potencial para os métodos de normalização externa selecionados

na RSL para serem aplicados na fase da AICV dos seguintes processos produtivos: Produção de polipropileno, Produção de polietileno de baixa e alta densidade, Produção de cimento, e transporte, sendo os cases de estudo estabelecidos.

No QUADRO 9 são apresentados os valores das referências de normalização obtidas mediante as revisões de literatura para a normalização global e limites planetários, e os valores para os métodos baseados no consumo produção, conforme cálculos descritos na metodologia.

QUADRO 9. AVALORES DE REFERÊNCIAS PARA OS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO

| Categorias | Normalização Global^a | Baseado na Produção^b | Limites Planetários^a | Baseado no Consumo^b |
|--|--|--|--|---------------------------------------|
| Acidificação - excedência acumulada (AE) | 5,55E+01 | 6,77E+04 | 8,15E+04 | 1,32E-01 |
| Mudança climática - potencial de aquecimento global (GWP100) | 8,40E+03 | 8,45E+09 | 1,01E+10 | 9,27E-01 |
| Eutrofização: marinha - fração de nutrientes que atinge o compartimento final marinho (N) | 7,34E-01 | 2,01E+05 | 2,49E+05 | 7,91E-04 |
| Uso da terra - índice de qualidade do solo | 2,83E+01 | 4,29E+18 | 5,54E+18 | 2,74E-02 |
| Formação de material particulado - impacto na saúde humana | 1,40E+06 | 2,88E+13 | 4,35E+13 | 1,73E+00 |
| Acidificação - excedência acumulada (AE) | 7,18E-04 | 1,22E+07 | 1,42E+07 | 6,69E-08 |
| Mudança climática - potencial de aquecimento global (GWP100) | 5,55E+01 | 6,77E+04 | 8,15E+04 | 1,32E-01 |

FONTE: a(Sala S et al., 2019), b(A autora, 2024)

Na TABELA 1, os resultados para os processos produtivos selecionados são apresentados para cada um dos métodos de normalização analisados em cada categoria de impacto. Os valores máximos em cada método são destacados em vermelho, enquanto os valores mínimos são destacados em azul. Com isso, foi possível identificar que, nos processos de produção de polipropileno, polietileno de baixa e alta densidade, os métodos de normalização com maior congruência em relação às categorias de maior e menor impacto são aqueles baseados em produção e consumo. Também foi observado que nesses processos, os métodos global e limites planetários apresentaram uma similaridade de resultados. Cabe destacar que, nos processos relacionados a plásticos, os resultados obtidos na normalização seguem um padrão semelhante (ou seja, a posição dos processos de maior e de menor

impacto ambiental potencial). Quanto à produção de cimento e transporte, os métodos baseados em produção e consumo revelaram que as categorias de maior e menor impacto eram as mesmas.

TABELA 1. RESULTADOS DE NORMALIZAÇÃO

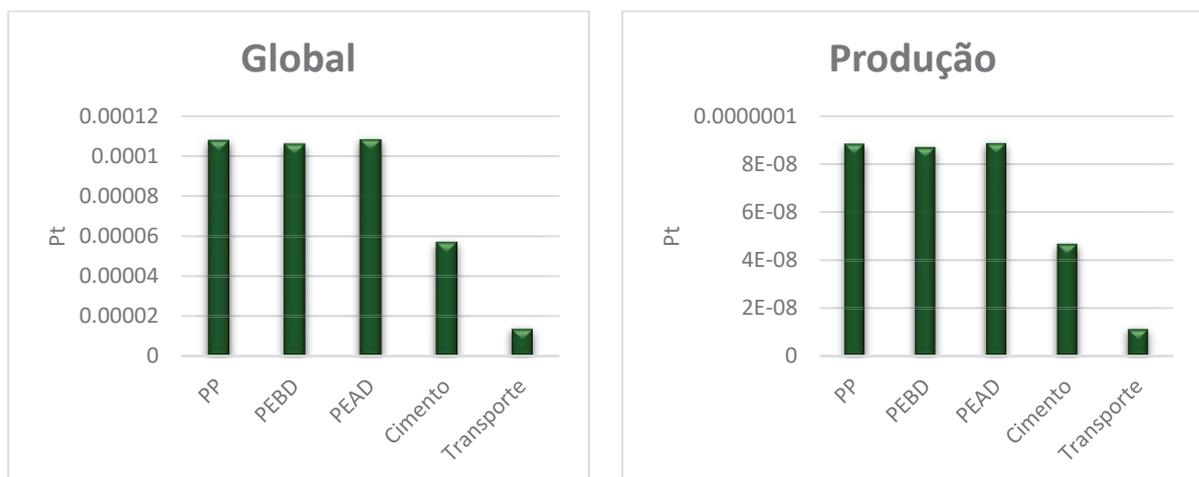
| Categorias | PP | | | |
|----------------------------------|---------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | Global | Baseado na Produção | Limite Planetários | Baseado no Consumo |
| Acidificação | 1,1E-04 | 8,8E-08 | 4,5E-02 | 7,3E-08 |
| Mudança climática | 2,2E-04 | 2,2E-10 | 2,0E+00 | 1,9E-10 |
| Eutrofização: marinha | 3,8E-05 | 2,5E-22 | 4,0E-02 | 2,0E-22 |
| Uso da terra | 1,1E-06 | 5,3E-14 | 8,8E-01 | 3,5E-14 |
| Formação de material particulado | 9,9E-05 | 5,8E-15 | 1,1E+00 | 5,0E-15 |
| PEBD | | | | |
| | G | P | LP | C |
| Acidificação | 1,1E-04 | 8,7E-08 | 4,4E-02 | 7,2E-08 |
| Mudança climática | 2,3E-04 | 2,3E-10 | 2,1E+00 | 1,9E-10 |
| Eutrofização: marinha | 4,2E-05 | 2,8E-22 | 4,3E-02 | 2,1E-22 |
| Uso da terra | 1,5E-06 | 7,5E-14 | 1,2E+00 | 5,0E-14 |
| Formação de material particulado | 9,4E-05 | 5,5E-15 | 1,0E+00 | 4,8E-15 |
| PEAD | | | | |
| | G | P | LP | C |
| Acidificação | 1,1E-04 | 8,9E-08 | 4,5E-02 | 7,4E-08 |
| Mudança climática | 2,3E-04 | 2,3E-10 | 2,1E+00 | 1,9E-10 |
| Eutrofização: marinha | 4,1E-05 | 2,7E-22 | 4,2E-02 | 2,1E-22 |
| Uso da terra | 1,2E-06 | 6,0E-14 | 1,0E+00 | 4,0E-14 |
| Formação de material particulado | 9,7E-05 | 5,7E-15 | 1,0E+00 | 4,9E-15 |
| Cimento | | | | |
| | G | P | LP | C |
| Acidificação | 5,7E-05 | 4,7E-08 | 2,4E-02 | 3,9E-08 |
| Mudança climática | 1,0E-04 | 1,0E-10 | 9,1E-01 | 8,3E-11 |
| Eutrofização: marinha | 3,3E-05 | 2,2E-22 | 3,4E-02 | 1,7E-22 |
| Uso da terra | 1,3E-06 | 6,4E-14 | 1,1E+00 | 4,2E-14 |
| Formação de material particulado | 2,7E-05 | 1,6E-15 | 2,9E-01 | 1,4E-15 |
| Transporte | | | | |
| | G | P | LP | C |
| Acidificação | 1,4E-05 | 1,1E-08 | 5,7E-03 | 9,3E-09 |
| Mudança climática | 1,6E-05 | 1,6E-11 | 1,5E-01 | 1,3E-11 |
| Eutrofização: marinha | 1,2E-05 | 8,1E-23 | 1,3E-02 | 6,3E-23 |

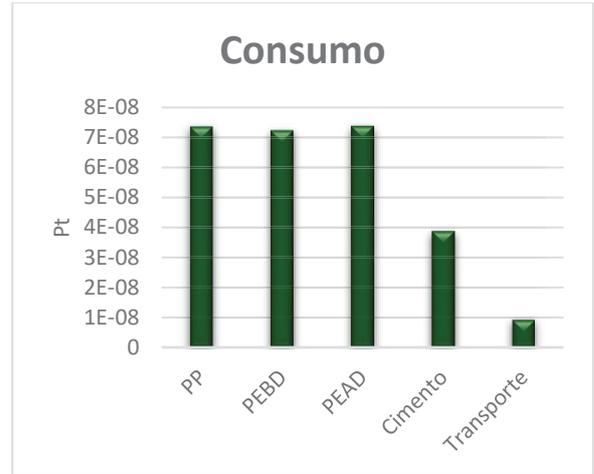
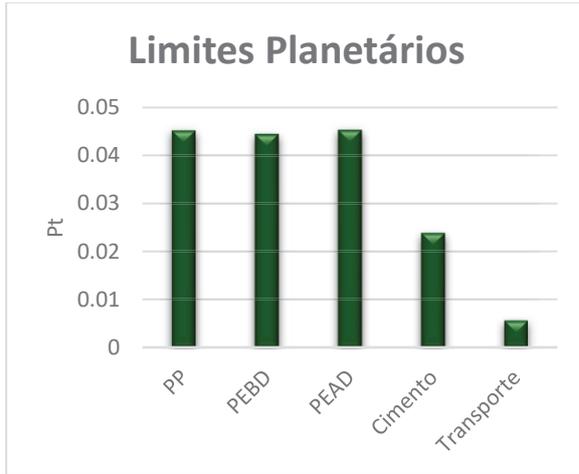
| | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Uso da terra | 1,2E-06 | 5,6E-14 | 9,4E-01 | 3,7E-14 |
| Formação de material particulado | 2,1E-05 | 1,3E-15 | 2,3E-01 | 1,1E-15 |

FONTE: A autora (2024)

Com o intuito de examinar a variação entre cada método, foram analisadas graficamente todas as categorias de impacto. Nos GRÁFICOS 6, 7, 8, 9 e 10, foram plotados os 5 processos produtivos com os resultados dos 4 métodos de normalização para as 5 categorias de impacto analisadas: acidificação - excedência acumulada, mudança climática - potencial de aquecimento global, eutrofização marinha - fração de nutrientes que atinge o compartimento final marinho, uso da terra - índice de qualidade do solo, e formação de material particulado - impacto na saúde humana, respectivamente. O objetivo destas plotagens foi identificar a tendência de comportamento (ou seja, tendência do desenho gráfico) para os diferentes processos, para cada categoria de impacto, nos diferentes métodos de normalização externa estudados. Dessa maneira, nota-se que, apesar da diferença de grandeza nos resultados para cada método de normalização, todos apresentam o mesmo padrão referente aos impactos potenciais dos processos produtivos selecionados.

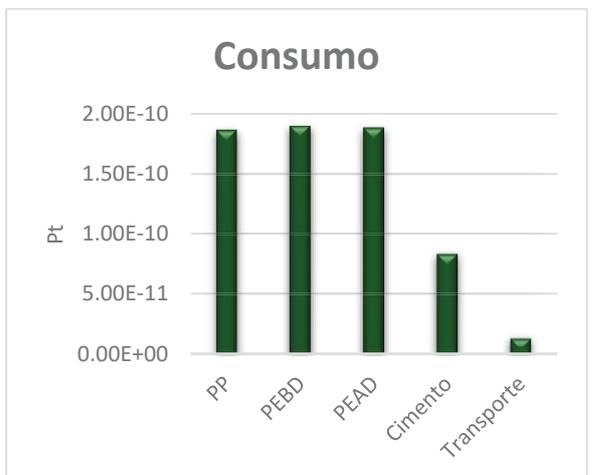
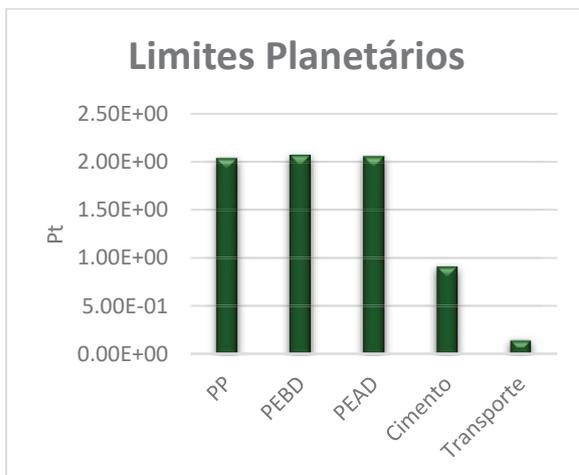
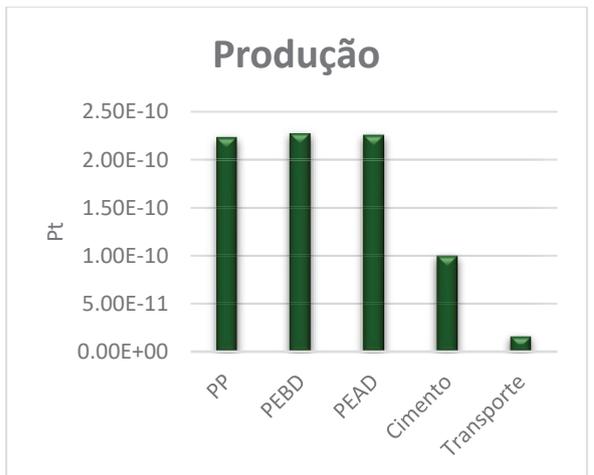
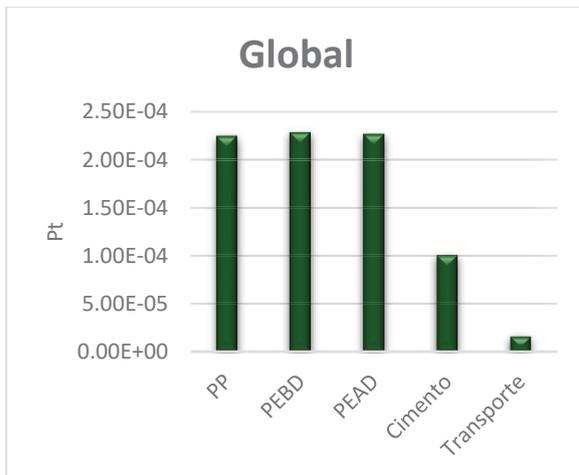
GRÁFICO 6. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO - ACIDIFICAÇÃO





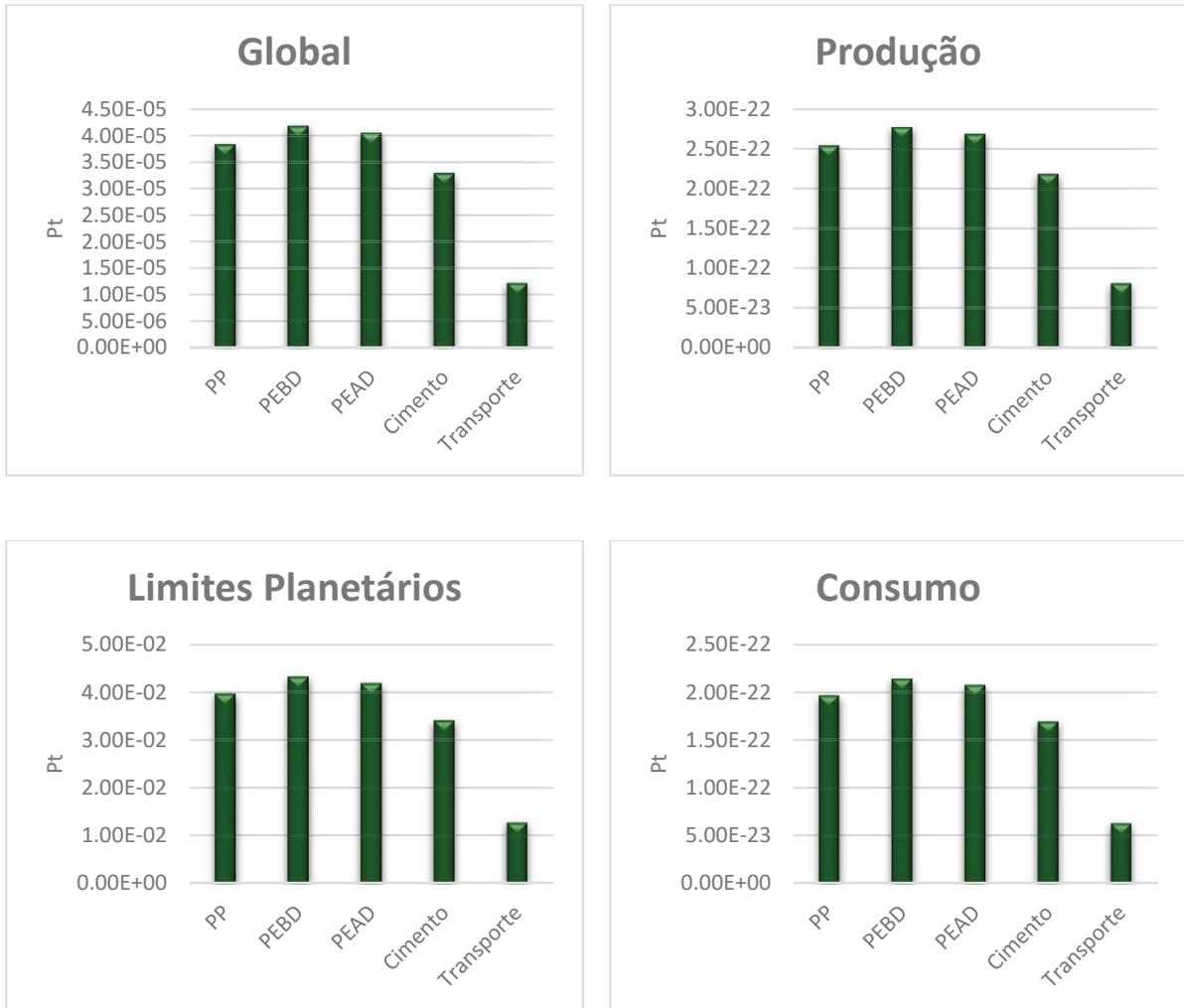
FONTE: A autora (2024)

GRÁFICO 7. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – MUDANÇA CLIMÁTICA



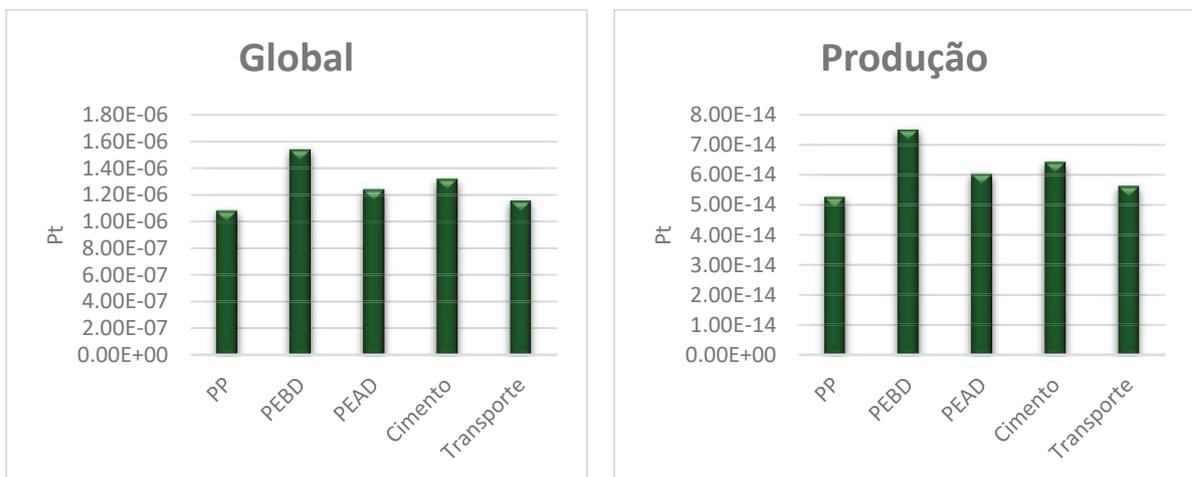
FONTE: A autora (2024)

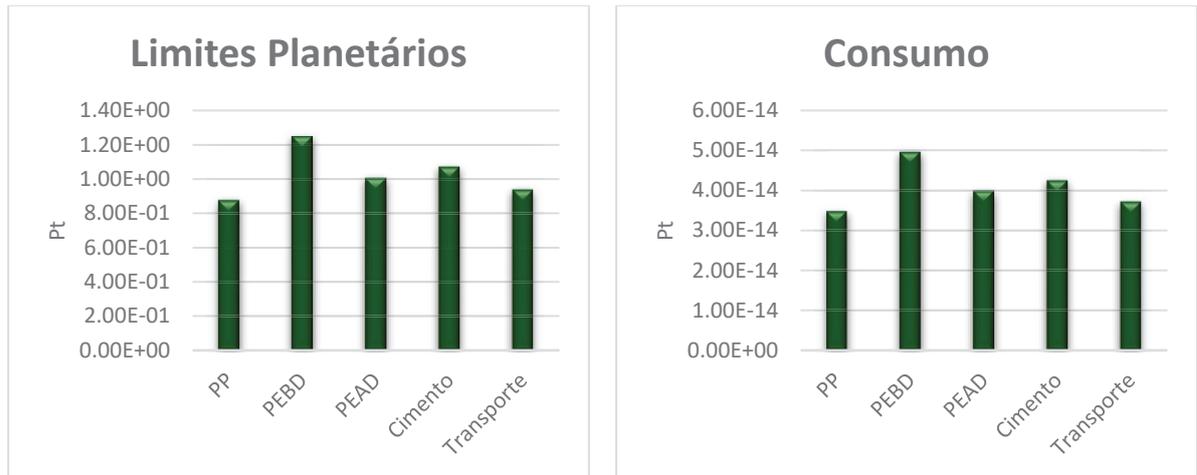
GRÁFICO 8. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO - EUTROFIZAÇÃO



FONTE: A autora (2024)

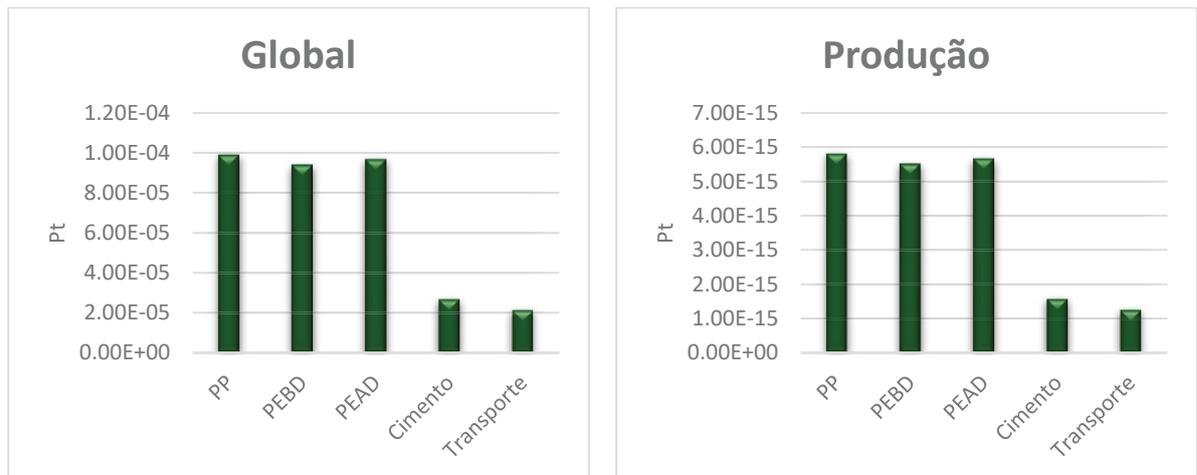
GRÁFICO 9. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – USO DA TERRA





FONTE: A autora (2024)

GRÁFICO 10. COMPARAÇÃO GRÁFICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO – FORMAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO



FONTE: A autora (2024)

Adicionalmente, foi realizada uma análise estatística usando o coeficiente de variação (CV) entre cada método de normalização por categoria de impacto no QUADRO 10.

QUADRO 10. COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DOS MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO POR CATEGORIA DE IMPACTO - POLIPROPILENO

| Categoria de Impacto | Média | Desvio Padrão | CV |
|---|--------------|----------------------|-----------|
| Acidificação: terrestre (TAP) | 2,20E-10 | 2,21E-10 | 100,46 |
| Potencial de aquecimento global (GWP100) | 8,05E-07 | 1,39E-06 | 173,20 |
| Eutrofização: água doce (FEP) | 1,97E-14 | 1,98E-14 | 100,46 |
| Eutrofização: marinha (MEP) | 5,79E-17 | 5,79E-17 | 100,02 |
| Uso do solo (LOP) | 2,19E-16 | 3,79E-16 | 172,89 |
| Formação de partículas (PMFP) | 7,58E-10 | 1,15E-09 | 152,18 |
| Uso da água (WCP) | 1,77E-05 | 1,79E-05 | 100,95 |

FONTES: A autora (2024)

Segundo o exposto por Garcia (1989), os coeficientes de variação com valores acima o 30% são muito altos. Os resultados obtidos no QUADRO 12 para cada categoria de impacto revelam que os métodos de normalização exibem porcentagens bastante elevadas, evidenciando uma grande discrepância entre eles. O que se pode atribuir a divergência na escala dos resultados para cada método de normalização analisado.

4.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A partir da determinação dos resultados obtidos de cada método de normalização estudado para cada um dos processos produtivos (produção de polipropileno, produção de polietileno de baixa e alta densidade, cimento e transporte), foi realizada uma análise de correlação no software *Minitab* 17 utilizando a correlação de Pearson. Na TABELA 2, são apresentados os resultados das correlações obtidas.

TABELA 2. RESULTADOS ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

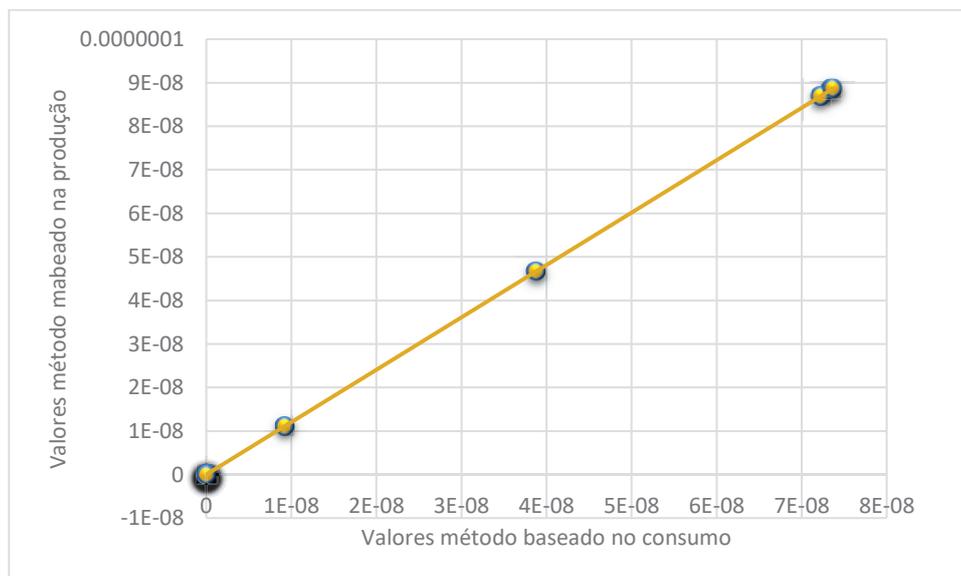
| | Global | Produção | Limites planetários |
|----------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| Produção | 0,184 | - | - |
| p | 0,378 | - | - |
| Limites planetários | 0,607 | -0,394 | - |

| | Global | Produção | Limites planetários |
|----------------|--------|----------|---------------------|
| p | 0,001 | 0,051 | - |
| Consumo | 0,184 | 0,9999 | -0,394 |
| p | 0,378 | 0 | 0,051 |

FONTE: A autora (2024)

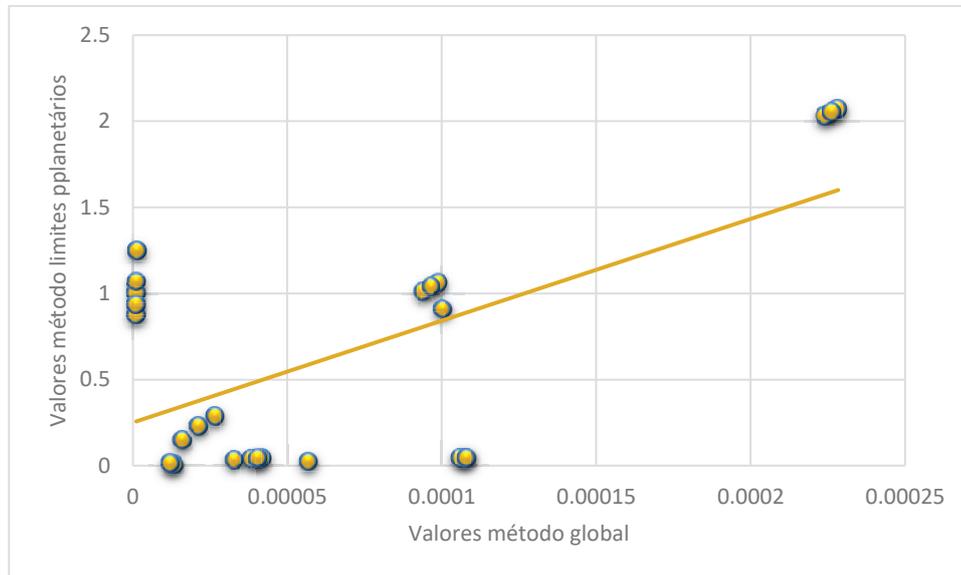
Dessa forma, pode-se verificar que os métodos de normalização que apresentam uma maior convergência nos resultados são aqueles baseados em consumo e produção, com uma correlação de 99,9% e um valor de p significativo < 0,05. Em seguida, os métodos com maior correlação são os limites planetários e o global, com uma porcentagem de 60,7% e um valor de p de 0,001, o que é estatisticamente significativo. Esses resultados são observados nos GRÁFICOS 11 e 12, onde é possível identificar uma tendência linear nos dados, evidenciada pelo coeficiente de Pearson.

GRÁFICO 11. CONSUMO VS PRODUÇÃO



FONTE: A autora (2024)

GRÁFICO 12. GLOBAL VS LIMITES PLANETÁRIOS



FONTE: A autora (2024)

Para o GRÁFICO 10, que representa a relação entre os métodos baseados no consumo e produção, destaca-se a tendência linear, com valores bastante próximos entre os 2 métodos de normalização.

Por outro lado, no GRÁFICO 11, que mostra a relação para os métodos de normalização limites planetários e global, percebe-se que alguns dos valores são dispersos e a tendência linear não é tão bem definida quanto a outra, o que explica o porquê o valor obtido para o coeficiente de Pearson representa uma magnitude mediana conforme o descrito por Ortiz Pinilla & Ortiz Rico, (2021). Entretanto, existe a correlação positiva e significativa.

Finalmente, tendo em conta os resultados obtidos nos diferentes estágios dessa pesquisa, pode-se perceber que existe uma discrepância entre os resultados gerados na análise gráfica da normalização da AICV, onde todos os métodos apresentam o mesmo padrão, e a análise de correlação, onde os métodos de normalização baseados no consumo e produção apresentam entre si uma forte correlação, enquanto ocorre uma correlação mediana entre a normalização global e os limites planetários. Isso pode ocorrer devido a várias questões que podem afetar os resultados, como o tamanho da amostra sendo um fator relevante no momento de realizar análises estatísticas, a escala dos dados, as incertezas nos cálculos e os dados obtidos para as referências de normalização. Este último ponto é bastante

importante quando se fala nas referências de normalização para os métodos de normalização baseados no consumo e na produção, dado que para estas referências ocorreram limitações de estimativa relacionadas à base limitada de dados regionais para o consumo e produção em relação às substâncias consideradas em cada categoria de impacto.

Neste sentido, considerando os resultados obtidos das correlações entre os métodos de normalização global e limites planetários, e a ausência de correlação entre estes métodos e os métodos de normalização baseados no consumo e na produção, e considerando ainda que estudos tem recomendado usar métodos de normalização globais tais como limites planetários ou normalização global para garantir a consistência entre a referência de normalização e o estudo, e que dados globalizados tendem a ser mais representativos que os regionalizados dado a extensão global da maioria das cadeias de produção que fazem parte dos estudos de ACV (Crenna et al., 2019; De Laurentiis et al., 2023b), este estudo apresenta como recomendação a utilização dos métodos de normalização global ou limites planetários para a normalização de resultados em estudo de ACV no Brasil. Além disso, devido a correlação positiva e significativa entre os métodos de normalização global e limites planetários, entende-se que a escolha de qualquer um dos dois métodos é adequada para realização do procedimento de normalização, dado que elas tendem a apresentar resultados com tendência similares no sentido da distinção entre produtos ou processos de maior ou menor impacto ambiental potencial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação apresentou como objeto de estudo a análise dos métodos de normalização aplicados na fase de avaliação de impactos no ciclo de vida. Foram examinados os métodos de normalização externa, incluindo aqueles baseados na produção e no consumo, bem como os métodos globais e os limites planetários. Como estudo de caso, foram selecionados os processos produtivos de produção de polipropileno, polietileno de baixa e alta densidade, cimento e transporte.

Para a seleção dos métodos de normalização, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, da qual foi possível identificar duas classificações: interna e externa, que variam conforme o objetivo de análise de cada pesquisa. Os métodos de normalização que se destacaram na revisão sistemática foram principalmente os externos, sendo os métodos de normalização global e limites planetários para serem analisados neste trabalho. Dessa maneira, com base nos resultados da RSL e o encontrado na literatura foi definido que os métodos a serem aplicados foram os externos tais como os baseados no consumo e produção, normalização global e limites planetários.

Os processos produtivos selecionados para a aplicação da ACV foram definidos com base em seu amplo uso e disponibilidade de dados completos, importância em seus setores de utilização e significância para comparar. Assim, os processos produtivos utilizados no estudo de caso são a produção de polipropileno, polietileno de baixa e alta densidade, cimento e transporte. Os três primeiros processos referem-se a plásticos, permitindo a identificação do comportamento dos métodos de normalização para processos semelhantes, enquanto os dois últimos são completamente diferentes entre si, possibilitando sua comparação correspondente.

Cabe mencionar que a aplicação da ACV teve como objetivo analisar o comportamento dos métodos de normalização para processos selecionados, tanto similares quanto diferentes, por meio da metodologia de impacto EF v3.1, utilizando o software OpenLCA, que é de acesso livre.

Após a caracterização, procedeu-se à comparação dos métodos de normalização de forma numérica, gráfica e estatística. Dessas análises, foi possível concluir que os métodos com maior congruência são aqueles baseados no consumo e na produção. Na análise numérica, observou-se que as categorias com maior e menor impacto que foram indicadas pelos produtos eram semelhantes,

independentemente de os processos produtivos serem similares ou diferentes. Na análise gráfica, constatou-se que todos os métodos de normalização apresentavam o mesmo padrão para as categorias de impacto nos processos produtivos analisados, o que levou à conclusão de que um fator importante a ser destacado é a escala dos dados analisados, que diferiam significativamente, dificultando sua interpretação. Por último, na análise estatística, foi calculado o coeficiente de variação, revelando que os métodos de normalização exibem porcentagens bastante elevadas, evidenciando uma grande discrepância entre eles, o que pode ser atribuído à escala dos valores.

Finalmente, na análise de correlação, identificou-se que os métodos com um coeficiente de Pearson igual a 1 e um valor p significativo menor que 0,05 foram os baseados no consumo e na produção. Em seguida, os métodos de limites planetários e global apresentaram um coeficiente de Pearson de 60,7 e um valor de p de 0,001. Para as outras relações entre os métodos, os coeficientes de Pearson não foram significativos, o que pode ser atribuído à diferença na escala de valores ou ao tamanho da amostra de dados analisados.

Dessa maneira, foi possível alcançar os objetivos definidos no primeiro capítulo. Ao final desta pesquisa, ficou estabelecido que os principais métodos de normalização aplicados em estudos de ACV são os externos. Esses métodos foram aplicados para comparação em um estudo de caso envolvendo cinco processos produtivos, tanto similares (PP, PEBD, PEAD) quanto diferentes (PP, cimento e transporte). Destacou-se que os maiores impactos potenciais são atribuídos aos plásticos, enquanto os menores impactos são associados ao transporte.

Além disso, foi realizada uma análise de correlação para identificar a relação e significância entre os métodos de normalização, revelando que os métodos baseados no consumo e na produção apresentam alta correlação, enquanto os métodos de limites planetários e normalização global apresentam uma correlação mediana. Com isso, concluiu-se que, devido às limitações durante a definição e aplicação dos métodos, são recomendados aqueles que possuem referências de normalização globais, como o método de limites planetários e o método global.

Nessa perspectiva, devido à resposta obtida tanto na análise dos resultados da normalização como a correlação dos mesmos, ficam como indicações para futuros estudos relacionados a análise de métodos de normalização aplicados em estudos de ACV, especificamente na fase de AICV os seguintes itens:

1. Analisar uma amostra de dados maior (maior número de processos simulados) para que se possa melhor observar o comportamento dos resultados normalizados, de modo a se identificar com maior clareza a tendência de comportamento dos resultados.
2. Aplicar outros métodos estatísticos de análise que permitam complementar e dar uma maior robustez aos resultados da pesquisa, tais como o coeficiente de Spearman, combinação entre a correlação de Pearson e Spearman ou outro tipo de método de correlação.

REFERÊNCIAS

- ABIN, R. et al. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 179, p. 160–168, 2018.
- ABNT ISO. ABNT NBR ISO 14044 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. [s.l.: s.n.].
- AKINYELE, D. O.; RAYUDU, R. K.; NAIR, N. K. C. Life cycle impact assessment of photovoltaic power generation from crystalline silicon-based solar modules in Nigeria. *Renewable Energy*, v. 101, p. 537–549, 2017.
- ALEISA, E.; AL-SHAYJI, K. Ecological-economic modeling to optimize a desalination policy: Case study of an arid rentier state. *DESALINATION*, v. 430, p. 64–73, 2018.
- AL-KAABI, A. et al. Assessment of water quality variations on pretreatment and environmental impacts of SWRO desalination. *Desalination*, v. 500, p. 114831, 2021.
- ANDERSEN, C. E. et al. Assessment of absolute environmental sustainability in the built environment. *Building and Environment*, v. 171, p. 106633, 2020.
- ANDERSEN, S. C. et al. Evaluating the environmental impacts of conventional and modular buildings in absolute measures: A case study across different geographical contexts. *Building and Environment*, v. 223, p. 109509, 2022.
- ARFELIS, S. et al. Sustainability of cellulose micro-/nanofibers: A comparative life cycle assessment of pathway technologies. *Science of The Total Environment*, v. 874, p. 162482, 2023.
- BABAIZADEH, H.; HASSAN, M. Life cycle assessment of nano-sized titanium dioxide coating on residential windows. *Construction and Building Materials*, v. 40, p. 314–321, 2013.
- BAYO, J. et al. Environmental assessment of pig slurry management after local characterization and normalization. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 32, p. 227–235, 2012.
- BEIGBEDER, J. et al. How to manage biocomposites wastes end of life? A life cycle assessment approach (LCA) focused on polypropylene (PP)/wood flour and polylactic acid (PLA)/flax fibres biocomposites. *Waste Management*, v. 83, p. 184–193, 2019.
- BHATTACHARYYA, N. et al. Environmental impacts of wheat-based vodka production using life cycle assessment. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 231, p. 642–648, 2019.
- CAUCHICK, P. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 3rd ed. ed. [s.l.] E-Book, 2018.

CHEN, X. D. et al. Evaluating engineering properties and environmental impact of pervious concrete with fly ash and slag. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 237, 2019.

CHENG, B. Q. et al. Comprehensive assessment of embodied environmental impacts of buildings using normalized environmental impact factors. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 334, 2022.

CORBALA-ROBLES, L. et al. Life cycle assessment of biological pig manure treatment versus direct land application - a trade-off story. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 131, p. 86–98, 2018a.

CORBALA-ROBLES, L. et al. Life cycle assessment of biological pig manure treatment versus direct land application – a trade-off story. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 131, p. 86–98, 2018b.

CRENNA, E. et al. Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization factors for LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 24, n. 10, p. 1851–1877, 25 out. 2019.

CRENNA, ELEONORA. et al. Global normalisation factors for the environmental footprint and Life Cycle Assessment. [s.l.: s.n.].

DE KOCK, L.; RUSSO, V.; VON BLOTTNITZ, H. Carbon intensive but decarbonising quickly? Retrospective and prospective Life Cycle Assessments of South African pome fruit. *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 139–150, 2019.

DE LAURENTIIS, V. et al. Exploring alternative normalization approaches for life cycle assessment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, 2023a.

DE LAURENTIIS, V. et al. Exploring alternative normalization approaches for life cycle assessment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, 2023b.

DE VliegHERE, A.; VAN VEGHEL, A. S.; GEERAERD, A. Life cycle assessment of importing canned tuna into Aruba through different supply chains, in varying can sizes and in oils, brine or tomato sauce. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, 2023.

DEHKORDI, A. L.; FOROOTAN, M. Estimation of energy flow and environmental impacts of quinoa cultivation through life cycle assessment methodology. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, v. 27, n. 17, p. 21836–21846, 2020.

DEMETRIOUS, A. et al. Comparison of alternative methods for managing the residual of material recovery facilities using life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 136, p. 33–45, 2018.

DICK, M. et al. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 311, 2021.

DING, J. et al. Environmental life cycle assessment of monosodium glutamate production in China: Based on the progress of cleaner production in recent ten years. *Science of The Total Environment*, v. 818, p. 151706, 2022.

DOMINGUES, A. R. et al. Applying Multi-Criteria Decision Analysis to the Life-Cycle Assessment of vehicles. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 107, p. 749–759, 2015.

DONG, Y. H.; NG, S. T. Comparing the midpoint and endpoint approaches based on ReCiPe-a study of commercial buildings in Hong Kong. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 19, n. 7, p. 1409–1423, 2014.

DUMAN, A. K.; ÖZGEN, G. Ö.; ÜÇTUĞ, F. G. Environmental life cycle assessment of olive pomace utilization in Turkey. *Sustainable Production and Consumption*, v. 22, p. 126–137, 2020.

ENTRENA-BARBERO, E. et al. Water-Energy-Food nexus index proposal as a sustainability criterion on dairy farms. *Science of The Total Environment*, v. 874, p. 162507, 2023.

EORA. The Eora Global Supply Chain Database. Disponível em: <<https://worldmrio.com/>>. Acesso em: 19 maio. 2024.

FAMIGLIETTI, J. et al. A comparative environmental life cycle assessment between a condensing boiler and a gas driven absorption heat pump. *Science of The Total Environment*, v. 762, p. 144392, 2021.

FEIL, A. A. Methods of Standardization, Weighting and Aggregation in the Formation of Sustainability Index. *Risus-Journal on Innovation and Sustainability*, v. 11, n. 4, p. 167–187, 2020.

FERNÁNDEZ-TIRADO, F.; PARRA-LÓPEZ, C.; ROMERO-GÁMEZ, M. A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel alternatives in Spain: Life cycle assessment normalization and weighting. *Renewable Energy*, v. 164, p. 1195–1203, 2021.

FISHER, R. A. A mathematical Examination of the Methods of determining the Accuracy of Observation by the Mean Error, and by the Mean Square Error. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 80, n. 8, p. 758–770, 1920.

FISHER, R. A. On the mathematical foundations of theoretical statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, v. 222, n. 594–604, p. 309–368, jan. 1922.

- GALAFTON, C. et al. Life cycle assessment of different strawberry production methods in Germany with a particular focus on plastic emissions. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 28, n. 6, p. 611–625, 2023.
- GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Em: *IPEF: Filosofia de trabalho de uma elite de empresas florestais brasileiras*. [s.l.: s.n.]. v. 171p. 11.
- GARCIA-HERRERO, I. et al. Environmental challenges of the chlor-alkali production: Seeking answers from a life cycle approach. *Science of The Total Environment*, v. 580, p. 147–157, 2017.
- GHIMIRE, S. R. et al. Life cycle assessment of a rainwater harvesting system compared with an AC condensate harvesting system. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 146, p. 536–548, 2019.
- GIL, A. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 7th ed. ed. [s.l.] E-Book, 2022.
- GISLON, G. et al. Bovine beta casein polymorphism and environmental sustainability of cheese production: The case of Grana Padano PDO and mozzarella cheese. *Sustainable Production and Consumption*, v. 35, p. 85–94, 2023a.
- GISLON, G. et al. Bovine beta casein polymorphism and environmental sustainability of cheese production: The case of Grana Padano PDO and mozzarella cheese. *Sustainable Production and Consumption*, v. 35, p. 85–94, 2023b.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Evaluating the environmental profiles of winter wheat rotation systems under different management strategies. *Science of The Total Environment*, v. 770, p. 145270, 2021.
- GRASSAUER, F. et al. Eco-efficiency of farms considering multiple functions of agriculture: Concept and results from Austrian farms. *Journal of Cleaner Production*, v. 297, p. 126662, 2021.
- GUIMARÃES, P. R. B. *Análise de Correlação e medidas de associação*. p. 1–26, 2017.
- GUO, X. et al. The impact of packaging recyclable ability on environment: Case and scenario analysis of polypropylene express boxes and corrugated cartons. *Science of The Total Environment*, v. 822, p. 153650, 2022.
- HEIJUNGS, R.; DEKKER, E. Meta-comparisons: how to compare methods for LCA? *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 27, n. 7, p. 993–1015, 2022.
- HELIAS, A.; ESNOUF, A.; FINKBEINER, M. Consistent normalization approach for Life Cycle Assessment based on inventory databases. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 703, 2020.

HÉLIAS, A.; ESNOUF, A.; FINKBEINER, M. Consistent normalization approach for Life Cycle Assessment based on inventory databases. *Science of The Total Environment*, v. 703, p. 134583, 2020.

HENNEQUIN, T. et al. A framework for performing comparative LCA between repairing flooded houses and construction of dikes in non-stationary climate with changing risk of flooding. *Science of The Total Environment*, v. 642, p. 473–484, 2018.

HERNÁNDEZ et al. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, v. 37, n. 5, p. 586–601, 2018.

HOU, J. et al. Life cycle assessment of biodiesel from soybean, jatropha and microalgae in China conditions. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, v. 15, n. 9, p. 5081–5091, 2011.

INGWERSEN, W. et al. Detailed life cycle assessment of Bounty® paper towel operations in the United States. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 509–522, 2016.

JI, C.; HONG, T. Comparative analysis of methods for integrating various environmental impacts as a single index in life cycle assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 57, p. 123–133, 2016.

JORGE DAGNINO, S. Correlación. *Revista Chilena de Anestesia*, v. 43, n. 2, p. 150–153, 2014.

KASAH, T. LCA of a newsprint paper machine: a case study of capital equipment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 19, n. 2, p. 417–428, 2014.

KAWAJIRI, K. et al. Revealing hidden CO₂ impacts from consequential consumption by matrix analysis: Application to Japanese single households. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 172, p. 582–590, 2018.

KHANALI, M. et al. Energy flow modeling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, v. 246, p. 118997, 2020.

KIM, D. et al. Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 18, n. 5, p. 1019–1035, 2013.

KWOFIE, E. M.; NGADI, M. A comparative lifecycle assessment of rural parboiling system and an integrated steaming and drying system fired with rice husk. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 622–630, 2017.

LANGKAU, S.; ERDMANN, M. Environmental impacts of the future supply of rare earths for magnet applications. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY*, v. 25, n. 4, p. 1034–1050, 2021.

LAURENT, A.; HAUSCHILD, M. Z. Normalisation. Em: *LCA Compendium - The Complete World of Life Cycle Assessment, Life Cycle Impact Assessment*. [s.l.: s.n.]. p. 271–300.

LECKSIWILAI, N.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment of biofuels in Thailand: Implications of environmental trade-offs for policy decisions. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, v. 22, p. 177–185, 2020a.

LECKSIWILAI, N.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment of biofuels in Thailand: Implications of environmental trade-offs for policy decisions. *Sustainable Production and Consumption*, v. 22, p. 177–185, 2020b.

LI, J. et al. Comparative life cycle assessment of ammonia production by coke oven gas via single and coproduction processes. *Science of The Total Environment*, v. 882, p. 163638, 2023.

LIANG, L. et al. Life Cycle Assessment of China's agroecosystems. *Ecological Indicators*, v. 88, p. 341–350, 2018.

LUO, H. et al. Comparative life cycle assessment of station-based and dock-less bike sharing systems. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 146, p. 180–189, 2019.

LY, A.; MARSMAN, M.; WAGENMAKERS, E. Analytic posteriors for Pearson's correlation coefficient. *Statistica Neerlandica*, v. 72, n. 1, p. 4–13, 5 fev. 2018.

MARINKOVIĆ, S. et al. Environmental assessment of green concretes for structural use. *Journal of Cleaner Production*, v. 154, p. 633–649, 2017.

MARTÍN-MARTÍN, A. et al. Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. [s.l.] Springer International Publishing, 2021. v. 126

MIAO, J. et al. Distance-to-target weighting factor sets in LCA for China under 2030 vision. *Journal of Cleaner Production*, v. 314, p. 128010, 2021.

MORETTI, C.; JUNGINGER, M.; SHEN, L. Environmental life cycle assessment of polypropylene made from used cooking oil. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 157, p. 104750, 2020a.

MORETTI, C.; JUNGINGER, M.; SHEN, L. Environmental life cycle assessment of polypropylene made from used cooking oil. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 157, 2020b.

MYLLYVIITA, T. et al. Assessing environmental impacts of biomass production chains - application of life cycle assessment (LCA) and multi-criteria decision analysis (MCDA). *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 29–30, p. 238–245, 2012.

NIKKHAH, A. et al. Environmental impacts modeling of Iranian peach production. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, v. 75, p. 677–682, 2017.

ORTIZ PINILLA, J.; ORTIZ RICO, A. F. ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? *Comunicaciones en Estadística*, v. 14, n. 1, p. 53–63, 2021.

PAGE, G.; RIDOUTT, B.; BELLOTTI, B. Location and technology options to reduce environmental impacts from agriculture. *Journal of Cleaner Production*, v. 81, p. 130–136, 2014.

PILZ, T. L. Comparação dos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida de fatores de normalização: Um estudo de caso de paredes internas Não-Estruturais. *Dissertação de Mestrado—[s.l.] Universidade Federal do Paraná*, 2020.

PINEDA, P.; GARCIA-MARTINEZ, A.; CASTIZO-MORALES, D. Environmental and structural analysis of cement-based vs. natural material-based grouting mortars. Results from the assessment of strengthening works. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, v. 138, p. 528–547, 2017.

PINTO, J. et al. Towards a new, green and dynamic scoring tool, G2, to evaluate products and processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 276, p. 123079, 2020.

PIZZOL, M. et al. Normalisation and weighting in life cycle assessment: quo vadis? *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 6, p. 853–866, 2017.

POWAR, A. et al. Environmental Profile Study of Ozone Decolorization of Reactive Dyed Cotton Textiles by Utilizing Life Cycle Assessment. *SUSTAINABILITY*, v. 13, n. 3, 2021.

RIDOUTT, B. G. et al. Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in southern Australia. *Journal of Cleaner Production*, v. 73, p. 24–30, 2014.

SALA S et al. Consumption and Consumer Footprint: methodology and results Indicators and assessment of the environmental impact of European consumption. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/jrc>>.

SCHWAICKHARDT, R. D.; MACHADO, E. L.; LUTTERBECK, C. A. Combined use of VUV and UVC photoreactors for the treatment of hospital laundry wastewaters: Reduction of load parameters, detoxification and life cycle assessment of different configurations. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 590, p. 233–241, 2017.

SENG LIEW, C. et al. Life cycle assessment: Sustainability of biodiesel production from black soldier fly larvae feeding on thermally pre-treated sewage sludge under a tropical country setting. *Waste Management*, v. 164, p. 238–249, 2023.

SILLMAN, J. et al. Contribution of honeybees towards the net environmental benefits of food. *Science of The Total Environment*, v. 756, p. 143880, 2021.

SLORACH, P. C. et al. Environmental sustainability in the food-energy-water-health nexus: A new methodology and an application to food waste in a circular economy. *Waste Management*, v. 113, p. 359–368, 2020.

STIGLER, S. M. The Epic Story of Maximum Likelihood. *Statistical Science*, v. 22, n. 4, p. 598–620, 27 maio 2007.

THYBERG, K. L.; TONJES, D. J. The environmental impacts of alternative food waste treatment technologies in the U.S. *Journal of Cleaner Production*, v. 158, p. 101–108, 2017.

UNITED NATIONS. World population 2019. *World Population Prospects*, p. 14–15, 2019.

UNITED NATIONS; AFFAIRS, D. OF E. AND S.; DIVISION, P. *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. [s.l.: s.n.].

UNITED NATIONS; DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS; POPULATION DIVISION. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. [s.l.: s.n.].

UUSITALO, V. et al. Environmental sustainability assessment from planetary boundaries perspective – A case study of an organic sheep farm in Finland. *Science of The Total Environment*, v. 687, p. 168–176, 2019.

VERA, L. et al. LCA based comparative study of a microbial oil production starch wastewater treatment plant and its improvements with the combination of CHP system in Shandong, China. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 96, p. 1–10, 2015.

VERONES, F. et al. LCIA framework and cross-cutting issues guidance within the UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 957–967, set. 2017.

WANG, E.; YUAN, C. A hybrid life cycle assessment of atomic layer deposition process. *Journal of Cleaner Production*, v. 74, p. 145–154, 2014.

WANG, S. S. et al. Life-Cycle Assessment of Carbon Footprint of Bike-Share and Bus Systems in Campus Transit. *SUSTAINABILITY*, v. 13, n. 1, 2021.

WEISBROD, A. V; VAN HOOFF, G. LCA-measured environmental improvements in PampersA (R) diapers. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 17, n. 2, p. 145–153, 2012.

WEN, Z. et al. Evaluation of flue-gas treatment technologies for municipal waste incineration: A case study in Changzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, v. 184, p. 912–920, 2018.

WOHNER, B. et al. Environmental and economic assessment of food-packaging systems with a focus on food waste. Case study on tomato ketchup. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 738, 2020.

WOWRA, K.; ZELLER, V.; SCHEBEK, L. Evaluation of the Environmental Performance of Cropping Systems under Different Nitrogen Management Scenarios Considering Regional Nitrogen Resilience. *SUSTAINABILITY*, v. 14, n. 22, 2022a.

WOWRA, K.; ZELLER, V.; SCHEBEK, L. Regional nitrogen resilience as distance-to-target approach in LCA of crop production systems. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 97, p. 106869, 2022b.

WULF, C. et al. Lessons Learned from a Life Cycle Sustainability Assessment of Rare Earth Permanent Magnets. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY*, v. 21, n. 6, p. 1578–1590, 2017.

YAZDANBAKHSI, A. et al. Comparative LCA of concrete with natural and recycled coarse aggregate in the New York City area. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, v. 23, n. 6, p. 1163–1173, 2018.

ZAGKLIS, D. et al. Life cycle assessment of the anaerobic co-digestion of used disposable nappies and expired food products. *Journal of Cleaner Production*, v. 304, p. 127118, 2021.

ZHANG, C. et al. A comparative LCA study on aluminum electrolytic capacitors: From liquid-state electrolyte, solid-state polymer to their hybrid. *Journal of Cleaner Production*, v. 375, p. 134044, 2022a.

ZHANG, N. et al. Regional comprehensive environmental impact assessment of renewable energy system in California. *Journal of Cleaner Production*, v. 376, p. 134349, 2022b.

ZHANG, W. et al. Analyzing the environmental impact of copper-based mixed waste recycling-a LCA case study in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 284, p. 125256, 2021.

ZHAO, X. et al. Identifying environmental hotspots and improvement strategies of vanillin production with life cycle assessment. *Science of The Total Environment*, v. 769, p. 144771, 2021.

ZHOU, Y. et al. Life cycle assessment and life cycle cost analysis of compound microbial fertilizer production in China. *Sustainable Production and Consumption*, v. 28, p. 1622–1634, 2021.

APÉNDICE

TABELAS DESCRITIVAS INFORMAÇÃO INVENTÁRIO LCI

QUADRO 11. INVENTÁRIO PRODUÇÃO CIMENTO

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|-----------------|---|--|------------|---------|--|
| ENTRADAS | Fábrica de cimento | Construção de outros projetos de engenharia civil | 2,73E-11 | Item(s) | Valor da literatura a partir do conjunto de dados produção de cimento, Portland /CH (acedido em 20170810) |
| | Clnquer | Fabrico de cimento, cal e gesso | 0,889 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Matéria-prima para produção de cimento. |
| | Dietilenoglicol | Fabrico de produtos químicos de base | 0,00066 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Auxiliar de moagem para produção de cimento. |
| | Eletricidade, média tensão | Produção, transporte e distribuição de energia eléctrica | 0,051 | kWh | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Energia eléctrica para moagem e funcionamento da fábrica. |
| | Gesso, mineral | Extração de pedra, areia e argila | 0,065 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. 0,062 kg é de gesso mineral (matéria-prima primária) e 0,003 kg é de fosfogesso (matéria-prima secundária, subproduto da produção de ácido fosfórico); o "gesso mineral" é utilizado como substituto porque o fosfogesso não estava disponível na base de dadosecoinvent durante o desenvolvimento do conjunto de dados. |
| | Calor, distrital ou industrial, gás natural | Produção de vapor e ar condicionado | 0,00503 | MJ | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Calor para secagem de matérias-primas. |
| | Calor, urbano ou industrial, | Produção e distribuição de vapor e ar condicionado | 0,0155 | MJ | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---|---|------------|---------|--|
| com exceção do gás natural | | | | fabricantes. Calor para secagem de matérias-primas. |
| Calcário, triturado, para moagem | Extração de pedra, areia e argila | 0,046 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Matéria-prima para produção de cimento. |
| Óleo lubrificante | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 0,00000546 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Manutenção de equipamentos de processo. |
| Aço, de baixa liga | Fabricação de ferro e aço de base | 0,0000711 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Substituição de peças de desgaste de equipamentos de processo. |
| Borracha sintética | Fabricação de matérias plásticas e de borracha sintética sob formas primárias | 0,00000878 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Substituição de peças de desgaste de equipamentos de processo. |
| Água da torneira | Captação, tratamento e distribuição de água | 0,00145 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Água para fins sanitários. |
| Água, colhida de águas pluviais | Captação, tratamento e distribuição de água | 0,00397 | kg | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Água para resfriamento de equipamentos e controle de poeira. |
| Água, rio, BR | Fluxos elementares/Recursos/água | 0,000124 | m3 | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Água para resfriamento de equipamentos e controle de poeira. |
| Água, origem natural não especificada, BR | Fluxos elementares/recursos hídricos | 0,00000203 | m3 | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Água para resfriamento de equipamentos e controle de poeira. |
| Água, poço, no solo | Fluxos elementares/recursos hídricos | 0,0000565 | m3 | Valor medido. Média ponderada dos valores informados pelos fabricantes. Água para |

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---------------|---|---|------------|--|--|
| | | | | | resfriamento de equipamentos e controle de poeira. |
| SAÍDAS | cimento Portland | Fabrico de cimento, cal e gesso | 1 | kg | A densidade aparente do cimento varia entre 2,8 g/cm³ e 3,2 g/cm³. |
| | sucata de aço | Tratamento e eliminação de resíduos não perigosos | 0,0000711 | kg | Estimativa baseada na entrada correspondente. |
| | Resíduos de óleo mineral | Tratamento e eliminação de resíduos perigosos | 0,00000546 | kg | Estimativa baseada na entrada correspondente. |
| | Resíduos de borracha, não especificados | Tratamento e eliminação de resíduos não perigosos | 0,00000878 | kg | Estimativa baseada na entrada correspondente. |
| | Águas residuais, média | Esgotos | 0,00000145 | m3 | Estimativa. Calculado como: (água torneira/1000)*cimento. Considerou-se que toda a água da torneira deixa o processo como um efluente. |
| Água | Fluxos elementares/Emissão para o ar/não especificado | 0,000187 | m3 | Estimativa. Calculada como: (entrada de água+ entrada de água de poço + entrada de água de rio + (entrada de água de chuva/1000))*cimento. Considerou-se que todas as entradas de água, exceto a água da torneira, saem do sistema como água evaporada, uma vez que a água é utilizada para arrefecimento. | |

QUADRO 12. INVENTÁRIO PRODUÇÃO POLIPROPILENO

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|-----------------|---|--|-----------------|----------|---|
| ENTRADAS | Fábrica de produtos químicos, orgânicos | Construção de outros projectos de engenharia civil | 4E-10 | Item (s) | Calculado com base em dados de literatura publicados pela indústria. |
| | Química, inorgânica | Fabrico de produtos químicos de base | 4,1111 1E-06 | kg | Soma dos parâmetros de entrada que abrangem informações parcialmente confidenciais sobre aditivos, solventes e catalisadores. Média ponderada dos materiais de entrada comunicados. |
| | Químico, orgânico | Fabricação de produtos químicos de base, adubos e compostos azotados, matérias plásticas | 0,0071 10457 | kg | Soma dos parâmetros de entrada que abrangem informações parcialmente confidenciais sobre aditivos, solventes e catalisadores. Média |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição | |
|---|--|--|-----------------|--|---|
| | | | | ponderada dos materiais de entrada comunicados. | |
| Ar comprimido, calibre 600 kPa | Fabrico de produtos químicos de base | 0,0398 99118 | m3 | Média ponderada das entradas reportadas | |
| Eletricidade, média tensão | Produção, transporte e distribuição de energia eléctrica | 0,3515 42416 | kWh | Média ponderada das entradas reportadas | |
| Etileno | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 0,0545 1431 | kg | Média ponderada dos dados de entrada comunicados | |
| Calor, de vapor, na indústria química | Produção e distribuição de vapor e ar condicionado | 0,5685 66529 | MJ | Média ponderada das entradas reportadas | |
| Hidrogénio, líquido | Fabricação de produtos químicos de base | 0,0001 9513 | kg | Média ponderada do input reportado | |
| Gás natural, alta pressão | Produção de gás; distribuição de combustíveis gasosos por condutas | 0,0050 78376 | m3 | Média ponderada do input reportado | |
| Gás natural, alta pressão | Produção de gás; distribuição de combustíveis gasosos por condutas | 3,6387 3E-05 | m3 | Média ponderada do input reportado | |
| Azoto, líquido | Fabricação de produtos químicos de base | 0,0526 17868 | kg | Média ponderada do input reportado | |
| Propileno | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 0,9876 64626 | kg | Média ponderada do input reportado | |
| Solvente, orgânico | Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas e artificiais | 0,0007 39521 | kg | Média ponderada do input reportado | |
| Tetracloro de titânio | Fabrico de metais preciosos e outros metais não ferrosos de base | 0,0010 94933 | kg | Média ponderada do input reportado | |
| Água, arrefecimento, origem natural não especificada, RER | Fluxos elementares/Recursos/água | 0,0192 50314 | m3 | Média ponderada do input reportado | |
| Água, origem natural não especificada, RER | Fluxos elementares/Recursos hídricos | 0,0005 86742 | m3 | Média ponderada do input reportado | |
| SAIDAS | Aluminium III | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,0935 3E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| | Ammonium | Fluxos elementares/Emissão para a água | 5,6362 8E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| | AOX, Adsorbable Organic Halogen | Fluxos elementares/Emissão para a água | 6,7489 7E-08 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| | Arsenic ion | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,5181 3E-09 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| | Cadmium II | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,4872 9E-10 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---|---|-------------------|----------------|---|
| Carbon dioxide, fossil | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 0,0415 7327 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Carbon monoxide, fossil | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 1,5869 9E-05 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Chloride | Fluxos elementares/Emissão para a água | 0,0001 45564 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Chromium III | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,1777 8E-08 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Copper ion | Fluxos elementares/Emissão para a água | 8,1143 9E-09 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Dinitrogen monoxide | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 8,2733 9E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Ethylene | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 7,2611 1E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Fluoride | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,2368 1E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| hazardous waste, for incineration | Tratamento e eliminação de resíduos perigosos | 0,0022 26001 | kg | Média ponderada dos resíduos reportados |
| hazardous waste, for incineration | Tratamento e eliminação de resíduos perigosos | 5,8186 3E-05 | kg | Média ponderada dos resíduos reportados |
| Hydrogen | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 5,7307 6E-08 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Lead II | Fluxos elementares/Emissão para a água | 2,3009 1E-09 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Mercury II | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,4232 4E-11 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Methane, fossil | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 3,2054 3E-06 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Nickel II | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,7228 8E-09 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Nitrate | Fluxos elementares/Emissão para a água | 7,3913 8E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Nitrogen oxides | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 2,0023 6E-05 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Nitrogen, organic bound | Fluxos elementares/Emissão para a água | 3,1327 6E-06 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 0,0002 68994 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---|--|-----------------|-----------|---|
| Particulate Matter, > 10 um | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 6,6180 5E-06 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Particulate Matter, > 2.5 um and < 10um | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 2,7743 3E-06 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Phosphorus | Fluxos elementares/Emissão para a água | 1,1389 4E-06 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| polypropylene, granulate | Tratamento e eliminação de resíduos perigosos | 1 | kg | Produto de referência |
| Propene | Tratamento e eliminação de resíduos perigosos | 3,8261 9E-05 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Sulfate | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 0,0001 47119 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Sulfur dioxide | Fluxos elementares/Emissão para a água | 6,3443 1E-08 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Sulfur hexafluoride | Fluxos elementares/Emissão para a água | 5,8114 7E-10 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| Suspended solids, unspecified | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 1,0437 2E-05 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |
| waste plastic, mixture | Fluxos elementares/Emissão para a água | 0,0018 42562 | kg | Média ponderada dos resíduos reportados |
| wastewater, average | Fluxos elementares/Emissão para a água | 0,0006 59381 | m3 | Média ponderada dos resíduos reportados |
| wastewater, average | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 1,6571 2E-05 | m3 | Média ponderada dos resíduos reportados |
| wastewater, unpolluted | Fluxos elementares/Emissão para a água | 0,0162 73781 | m3 | Média ponderada dos resíduos reportados |
| Water | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 0,0028 87322 | m3 | Calculado para fechar o balanço hídrico |
| Zinc II | Fluxos elementares/Emissão para o ar | 1,1112 9E-07 | kg | Média ponderada das emissões reportadas |

QUADRO 13. INVENTÁRIO TRANSPORTE

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|-----------------|-------------------|---|-------------|---------|--|
| ENTRADAS | diesel | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 0,031050865 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Éster metílico de | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 0,004234209 | kg | Dados relativos ao consumo de combustível |

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|--------|---|--|-------------|---------|--|
| | ácidos gordos | | | | extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Camião, 28 toneladas | Fabricação de veículos automóveis | 2,38792E-07 | Item(s) | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Manutenção, camião 28 toneladas | Manutenção e reparação de veículos automóveis/4520:Manutenção e reparação de veículos automóveis | 2,38792E-07 | Item(s) | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Estrada | Construção de estradas e caminhos-de-ferro | 0,001715398 | m*a | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Manutenção de estradas | Construção de estradas e caminhos-de-ferro | 0,000415076 | m*a | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| SAÍDAS | Amoníaco | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,86843E-07 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | lão arsénio | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,49303E-12 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Benzeno | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 5,58951E-07 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| | Emissões por desgaste dos travões, camião | Tratamento e eliminação de resíduos não perigosos | 1,86161E-05 | kg | Emissões específicas do transporte rodoviário de mercadorias sem gases de escape. O cálculo das emissões por desgaste dos travões foi atualizado com o Peso Bruto do Veículo (PBV) brasileiro. |
| | Cádmio II | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,03894E-10 | kg | Dados extrapolados do conjunto de dados original que abrange a região RER |
| | Dióxido de carbono, fóssil | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 0,098536035 | kg | Valor calculado com base no teor de carbono do combustível |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---------------------------------|---|-------------|---------|--|
| Dióxido de carbono, não fóssil | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 0,011981918 | kg | Valor calculado com base no teor de carbono do combustível |
| Monóxido de carbono, fóssil | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 0,000111151 | kg | Dados medidos de ensaios de emissões da produção e importação da frota nacional de veículos, ponderados pelos valores de venda (CETESB, 2019). |
| Monóxido de carbono, não fóssil | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,44345E-05 | kg | Dados medidos de ensaios de emissões da produção e importação da frota nacional de veículos, ponderados pelos valores de venda (CETESB, 2019). |
| Crómio III | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 1,04791E-09 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Crómio VI | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 2,09581E-12 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| lão de cobre | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 7,40523E-10 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Monóxido de dinitrogénio | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 1,16053E-06 | kg | Dados extrapolados do conjunto de dados original que abrange a região RER |
| Mercúrio II | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 1,85131E-10 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Metano, fóssil | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 8,03283E-07 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Níquel II | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,07386E-10 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Óxidos de azoto | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 0,000282676 | kg | Dados medidos de ensaios de emissões da produção e importação da frota nacional de veículos, |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|--|---|-------------|-------------|--|
| | | | | ponderados pelos valores de venda (CETESB, 2019). |
| COVNM, compostos orgânicos voláteis não-metânicos | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,26669E-05 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Partículas em suspensão, < 2,5 um | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 5,13068E-06 | kg | Dados medidos de ensaios de emissões da produção e importação da frota nacional de veículos, ponderados pelos valores de venda (CETESB, 2019). |
| Emissões de desgaste rodoviário, caminhão | Tratamento e eliminação de resíduos não perigosos | 1,60286E-05 | kg | Emissões específicas do transporte rodoviário de mercadorias sem gases de escape. O cálculo das emissões por desgaste dos travões foi atualizado com o Peso Bruto do Veículo (PBV) brasileiro. |
| Selênio IV | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,49303E-12 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que abrange a região da África do Sul. |
| Dióxido de enxofre | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 3,10509E-05 | kg | Valor calculado com base no teor de enxofre do combustível. |
| Transporte, carga, caminhão 16-32 toneladas métricas, EURO2 | Transportes rodoviários de mercadorias | 1 | t*km | |
| Emissões por desgaste dos pneus, caminhão | Tratamento e eliminação de resíduos não perigosos | 0,000184444 | kg | Emissões específicas do transporte rodoviário de mercadorias sem gases de escape. O cálculo das emissões por desgaste dos travões foi atualizado com o Peso Bruto do Veículo (PBV) brasileiro. |
| Zinco II | Fluxos elementares/Emissão para a atmosfera | 6,07089E-08 | kg | Dados extrapolados a partir do conjunto de dados original que |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|----------|-----------|------------|---------|------------------------------------|
| | | | | abrange a região da África do Sul. |

QUADRO 14. INVENTÁRIO PRODUÇÃO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|----------------|--|---|------------|-------------------------------------|---|
| ENTRADA | Fábrica de produtos químicos, orgânicos | Construção de outros projetos de engenharia civil | 4,0E-10 | Item(s) | Calculado com base em dados de literatura publicados pelo setor |
| | Química, inorgânica | Fabricação de produtos químicos básicos | 2,5E-04 | kg | Média ponderada de materiais de entrada relatados. |
| | Químico, orgânico | Fabricação de produtos químicos básicos, fertilizantes e compostos de nitrogênio, plásticos | 2,2E-02 | kg | Média ponderada de materiais de entrada relatados. |
| | Óxido de cromo, flocos | Fabricação de produtos químicos básicos | 1,5E-04 | kg | Média ponderada dos insumos relatados |
| | Ar comprimido, calibre de 600 kPa | Fabricação de produtos químicos básicos | 6,6E-02 | m3 | Média ponderada da entrada relatada |
| | Eletricidade, média tensão | Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica | 4,3E-01 | kWh | Média ponderada da entrada relatada |
| | Etileno | Fabricação de produtos refinados de petróleo | 1,0E+00 | kg | Média ponderada da entrada relatada |
| | Calor, de vapor, na indústria química | Fornecimento de vapor e ar condicionado | 1,1E+00 | MJ | Média ponderada dos insumos reportados |
| | Hidrogênio, líquido | Fabricação de produtos químicos básicos | 2,4E-04 | kg | Média ponderada da entrada relatada |
| | Gás natural, alta pressão | Fabricação de gás; distribuição de combustíveis gasosos pela rede elétrica | 3,4E-03 | m3 | Média ponderada da entrada relatada |
| | Gás natural, alta pressão | Fabricação de gás; distribuição de combustíveis gasosos pela rede elétrica | 2,4E-05 | m3 | Média ponderada da entrada relatada |
| | Nitrogênio, líquido | Fabricação de produtos químicos básicos | 1,0E-01 | kg | Média ponderada da entrada relatada |
| Propileno | Fabricação de produtos refinados de petróleo | 2,0E-05 | kg | Média ponderada da entrada relatada | |

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---------------|--|---|-------------------|----------------|--|
| | Solvente, orgânico | Fabricação de produtos químicos e de produtos químicos | 6,2E-03 | kg | Média ponderada da entrada relatada |
| | Tetracloroto de titânio | Fabricação de metais preciosos básicos e outros metais não ferrosos | 2,8E-05 | kg | Média ponderada da entrada relatada |
| | Água, resfriamento, origem natural não especificada, RER | Em água | 2,3E-02 | m3 | Média ponderada da entrada relatada |
| | Água, origem natural não especificada, RER | Na água | 7,7E-04 | m3 | Média ponderada da entrada relatada |
| SAÍDAS | Alumínio III | Emissão para a água | 1,7E-06 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Amônio | Emissão para a água | 2,3E-07 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | AOX, halogênio orgânico adsorvível | Emissão para a água | 2,7E-08 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Dióxido de carbono, fóssil | Emissão para o ar | 3,5E-02 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Monóxido de carbono, fóssil | Emissão para o ar | 6,7E-05 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Cloreto | Emissão para a água | 8,0E-05 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Cromo III | Emissão para o ar | 1,5E-08 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Cromo III | Emissão para a água | 9,3E-09 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Íon de cobre | Emissão para a água | 2,5E-09 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Monóxido de dinitrogênio | Emissão para o ar | 7,0E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Etileno | Emissão para o ar | 2,6E-04 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Fluoreto | Emissão para a água | 2,0E-07 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| | resíduos perigosos, para incineração | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 5,3E-04 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---|---|----------------|-----------|--|
| resíduos perigosos, para incineração | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 1,4E-05 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| Hidrogênio | Emissão para o ar | 1,4E-07 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Metano, fóssil | Emissão para o ar | 1,3E-06 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Níquel II | Emissão para a água | 6,9E-11 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Nitrato | Emissão para a água | 3,3E-07 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Óxidos de nitrogênio | Emissão para o ar | 1,2E-05 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Nitrogênio, ligação orgânica | Emissão para a água | 2,2E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| NMVOC, compostos orgânicos voláteis não-metânicos | Emissão para o ar | 2,4E-04 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Material particulado, > 10 um | Emissão para o ar | 5,9E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Material particulado, > 2,5 um e < 10 um | Emissão para o ar | 1,4E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Fósforo | Emissão para a água | 8,2E-07 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Polietileno de alta densidade, granulado | Fabricação de plásticos e borracha sintética em formas primárias | 1,0E+00 | kg | Produto de referência |
| mistura de solventes usados | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 8,8E-06 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| mistura de solvente usado | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 3,7E-04 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| Sulfato | Emissão para a água | 9,9E-05 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Dióxido de enxofre | Emissão para o ar | 7,3E-08 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Sólidos em suspensão, não | Emissão para a água | 1,1E-04 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |

| Elemento específico | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|-------------------------------|---|------------|---------|--|
| resíduos plásticos, mistura | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 1,3E-03 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| águas residuais, média | Esgoto | 6,7E-04 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| águas residuais, média | Esgoto | 1,7E-05 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| águas residuais, não poluídas | Esgoto | 1,8E-02 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| Água | Emissão para o ar | 4,6E-03 | m3 | Calculado para fechar o balanço hídrico |
| Zinco II | Emissão para a água | 2,9E-07 | kg | Média ponderada das emissões registradas |

QUADRO 15. INVENTÁRIO PRODUÇÃO DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição | |
|---|---|--|----------|--|--|
| Fábrica de produtos químicos, orgânicos | Construção de outros projetos de engenharia civil | 3,99E-10 | Item(s) | Calculado com base em dados de literatura publicados pelo setor. | |
| Química, inorgânica | Fabricação de produtos químicos básicos | 3,20E-04 | kg | Média ponderada dos materiais de entrada relatados. | |
| Produto químico, orgânico | Fabricação de produtos químicos básicos, fertilizantes e compostos de nitrogênio, plásticos | 1,82E-02 | kg | Média ponderada dos materiais de entrada relatados. | |
| Ar comprimido, calibre de 600 kPa | Fabricação de produtos químicos básicos | 2,87E-02 | m3 | Média ponderada de insumos relatados | |
| ENTRADAS | Eletricidade, média tensão | Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica/3510:Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica | 9,52E-01 | kWh | Média ponderada de insumos relatados |
| | Etileno | Fabricação de produtos refinados de petróleo | 9,96E-01 | kg | Média ponderada de insumos relatados |
| | Hidrogênio, líquido | Fabricação de produtos químicos básicos | 1,66E-07 | kg | Média ponderada dos insumos informados |
| | Gás natural, alta pressão | Fabricação de gás; distribuição de combustíveis gasosos pela rede elétrica | 5,72E-03 | m3 | Média ponderada dos insumos reportados |
| | Gás natural, alta pressão | Fabricação de gás; distribuição de combustíveis gasosos pela rede elétrica | 4,10E-05 | m3 | Média ponderada do input reportado |

| | Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|-----------------|--|--|-------------|--|--|
| | Nitrogênio, líquido | Fabricação de produtos químicos básicos | 1,54E-02 | kg | Média ponderada do input reportado |
| | Propileno | Fabricação de produtos refinados de petróleo | 3,19E-03 | kg | Média ponderada do input reportado |
| | Solvente, orgânico | Fabricação de produtos químicos e de produtos químicos | 2,85E-03 | kg | Média ponderada do input reportado |
| | Água, resfriamento, origem natural não especificada, RER | Em água | 4,13E-02 | m3 | Média ponderada do input reportado |
| | Água, origem natural não especificada, RER | Na água | 1,58E-03 | m3 | Média ponderada do input reportado |
| SAIDAS | Ammonium | Emissão para a água | 1,21078E-06 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | AOX, Adsorbable Organic Halogen | Emissão para a água | 1,49939E-07 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Arsenic ion | Emissão para a água | 1,29256E-09 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Cadmium II | Emissão para a água | 1,29863E-10 | kg | Média ponderada das emissões registradas |
| | Carbon dioxide, fossil | Emissão para o ar | 0,020183075 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Carbon monoxide, fossil | Emissão para o ar | 1,70701E-05 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Chloride | Emissão para a água | 0,000128678 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Chromium III | Emissão para a água | 1,88538E-08 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Copper ion | Emissão para a água | 1,39307E-08 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Dinitrogen monoxide | Emissão para o ar | 3,63653E-07 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Ethylene | Emissão para o ar | 0,000929289 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Fluoride | Emissão para a água | 2,87537E-07 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| | hazardous waste, for incineration | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 4,52618E-05 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| | hazardous waste, for incineration | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 0,001731555 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| | Hydrogen | Emissão para o ar | 3,42102E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| | Lead II | Emissão para a água | 1,29383E-09 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| | Mercury II | Emissão para a água | 2,50496E-11 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Methane, fossil | Emissão para o ar | 1,54005E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas | |
| Nickel II | Emissão para a água | 2,66759E-09 | kg | Média ponderada de emissões relatadas | |
| Nitrate | Emissão para a água | 4,92424E-07 | kg | Média ponderada das emissões relatadas | |

| Elemento | Categoria | Quantidade | Unidade | Descrição |
|---|---|-------------|-----------|---|
| Nitrogen oxides | Emissão para o ar | 2,44306E-05 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Nitrogen, organic bound | Emissão para a água | 6,17556E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| NMVOC, non-methane volatile organic compounds | Emissão para o ar | 0,001027926 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Particulate Matter, > 10 um | Emissão para o ar | 3,28644E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Particulate Matter, > 2.5 um and < 10um | Emissão para o ar | 9,27206E-08 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Phosphorus | Emissão para a água | 2,14625E-06 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| polyethylene, low density, granulate | Fabricação de plásticos e borracha sintética em formas primárias | 1 | kg | Produto de referência |
| Propene | Emissão para o ar | 1,95575E-05 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| spent solvent mixture | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 0,00125008 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| spent solvent mixture | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 2,92875E-05 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| Sulfate | Emissão para a água | 0,0003121 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Sulfur dioxide | Emissão para o ar | 6,53471E-07 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Sulfur hexafluoride | Emissão para o ar | 9,81747E-10 | kg | Média ponderada das emissões relatadas |
| Suspended solids, unspecified | Emissão para a água | 2,06661E-05 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| waste plastic, mixture | Tratamento e descarte de resíduos perigosos | 0,002373054 | kg | Média ponderada de resíduos relatados |
| wastewater, average | Esgoto | 0,00186787 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| wastewater, average | Esgoto | 4,69423E-05 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| wastewater, unpolluted | Esgoto | 0,030620965 | m3 | Média ponderada de resíduos relatados |
| Water | Emissão para o ar | 0,010306359 | m3 | Calculado para fechar o balanço hídrico |
| Zinc II | Emissão para o ar | 5,72686E-09 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |
| Zinc II | Emissão para a água | 4,01501E-07 | kg | Média ponderada de emissões relatadas |