UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE E DE BIOPLÁSTICO POR MEIO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL

IVANA MOISÉS ALVES NONATO

ORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA
COORIENTADORA: FLORA LYN DE ALBUQUERQUE FUJIWARA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: JULHO/2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE E DE BIOPLÁSTICO POR MEIO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL

IVANA MOISES ALVES NONATO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

_____

FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, PhD (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)

_____

CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA, D.r (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

VICTOR ALEXSANDER OLIVEIRA SILVA, MCs (SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA-DF)
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 21 DE JULHO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

NONATO, IVANA MOISES ALVES

Análise do processo produtivo de sacolas plásticas de polietileno de alta densidade e de bioplástico por meio de Avaliação do Ciclo de Vida no contexto do Distrito Federal.

ix, 100 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2023)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sacolas Plásticas 2. Avaliação do Ciclo de Vida

3. Mudanças Climáticas 4. Depleção de Recursos Abióticos

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Nonato, I. M. A. (2023). Análise do processo produtivo de sacolas plásticas de polietileno de alta densidade e de bioplástico por meio de Avaliação do Ciclo de Vida no contexto do Distrito Federal. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: IVANA MOISES ALVES NONATO

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Análise do processo produtivo de sacolas plásticas de polietileno de alta densidade e de bioplástico por meio de Avaliação do Ciclo de Vida no contexto do Distrito Federal.

GRAU: Bacharel em Engenharia Ambiental ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

_____

IVANA MOISES ALVES NONATO

ivananonatoag@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, que sempre me apoiou e incentivou. Sem ele eu não teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Dornelles e Ruan, por todos os momentos divididos.

Ao meu namorado, Dreyphus, por todo o amor, companheirismo, paciência e por melhorar os meus dias.

Ao meu orientador, prof. Francisco Pineda, por toda a ajuda, paciência e ensinamentos.

Às minhas amigas Bruna, Débora e Janara, que me acompanharam nessa jornada desde o início da graduação, dentro e fora da universidade. Obrigada por todas as ajudas e risadas, sem vocês tudo teria sido mais difícil.

Ao Sr. José Carlos por me receber na fábrica de sacolas plásticas e compartilhar parte de seu conhecimento comigo. E também à Flora e Camila por dedicarem seu tempo para esclarecer minhas dúvidas.

À Universidade de Brasília, pela excelente formação acadêmica proporcionada.

RESUMO

O uso em larga escala de sacolas de uso único em supermercados representa um grande problema para o meio ambiente. A tendência de substituição do uso de plásticos derivados do petróleo por outras fontes e tecnologias forneceu diferentes opções de sacola produzidas a partir de fontes alternativas, buscando diminuir a dependência por recursos finitos. O presente trabalho teve como proposta estimar os impactos ambientais, em termos de emissão de gases de efeito estufa e uso de recursos abióticos, associados ao ciclo produtivo de sacolas plásticas derivadas parcialmente de resinas de plástico verde, obtidas a partir de cana-de-açúcar, em comparação às sacolas plásticas de resina derivada totalmente do petróleo que são produzidas de polietileno de alta densidade (sacola de PEAD), que comumente são utilizadas em supermercados no Distrito Federal. Para a análise, foi utilizada a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida, onde a modelagem foi feita através do *software* OpenLCA com o método de impacto CML 2001 para as categorias de mudanças climáticas e depleção de recursos abióticos. Os dados para o estudo foram obtidos na literatura e base de dados *Ecoinvent* 3.6, e foi realizado sob a abordagem "do berço ao portão", de modo que os resultados são referentes às etapas do processo produtivo das sacolas. Nesse cenário, foi observado que a sacola produzida de fonte parcialmente renovável (chamada de sacola com bioplástico) apresentou um desempenho ambiental mais desfavorável em relação às mudanças climáticas e por outro lado, a sacola de PEAD teve o desempenho mais desfavorável em termos de consumo de recursos abióticos.

Palavras-chave: Sacolas Plásticas, Avaliação do Ciclo de Vida, Mudanças Climáticas, Depleção de Recursos Abióticos.

ABSTRACT

The widespread use of single-use plastic bags in supermarkets represents a significant environmental problem. The trend of replacing petroleum-derived plastics with other sources and technologies has provided different options for bag production, aiming to reduce dependency on finite resources. This study aims to estimate the environmental impacts, in terms of greenhouse gas emissions and abiotic resource use, associated with the production cycle of plastic bags partially derived from green plastic resins obtained from sugarcane, compared to plastic bags made entirely from petroleum-derived resin, specifically the high-density polyethylene (HDPE bags), commonly used in supermarkets in the Federal District. Analysis and modeling of both alternatives were based on the Life Cycle Assessment (LCA) using the OpenLCA software with the CML 2001 impact method for both impact categories. Data for the study was based on peer review publications and the Ecoinvent 3.6 database within the "cradle-to-gate" approach, focusing on the production stages. In this context, it was observed that the bag produced from partially renewable sources (bioplastic bags) showed a more unfavorable environmental performance concerning climate change. On the other hand, HDPE bags had the most unfavorable performance in terms of abiotic resource consumption.

Keywords: Plastic Bags, Life Cycle Assessment, Climate Change, Abiotic Resource Depletion.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2. OBJETIVOS 14

2.1. OBJETIVO GERAL 14

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 14

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15

3.1 PLÁSTICOS 15

3.2 A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO 18

3.3 POLIETILENO 21

3.3.1 Processo produtivo de polietileno 22

3.4 IMPLICAÇÕES DO USO DE SACOLAS PLÁSTICAS 23

3.5 ALTERNATIVAS PARA AS SACOLAS CONVENCIONAIS 24

3.5.1 Plásticos biodegradáveis 25

3.5.2 Plásticos verdes 27

3.6 PROIBIÇÃO DE SACOLAS PLÁSTICAS 30

3.7 POLIETILENO VERDE 32

3.7.1 Plantação de cana-de-açúcar 32

3.7.2 Cadeia produtiva do PE Verde 33

3.8 FABRICAÇÃO DE SACOLAS PLÁSTICAS 34

3.8.1 Rota de produção 37

3.9 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA 41

3.9.1 Definição do objetivo e do escopo 43

3.9.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV) 45

3.9.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) 46

3.9.4 Interpretação dos resultados 49

3.10 ESTUDOS SOBRE SACOLAS PLÁSTICAS USANDO ACV 50

4. METODOLOGIA 55

4.1 APLICAÇÃO DA ACV 56
4.1.1 Definição da unidade funcional 56
4.1.2 Sistema de produto 58
4.2 INVENTÁRIO ACV 61
4.3 MODELAGEM DE ACV 63
5. RESULTADOS 64
5.1 Mudanças climáticas 68
5.2 Depleção de recursos abióticos 70
5.3 Discussão 72
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80
APÊNDICE A – MODELAGEM NO OPENLCA 97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de eteno por matérias-primas na América do Sul.....20
Figura 2 - Esquema geral da cadeia petroquímica.....21
Figura 3 - Resina de polietileno.....34
Figura 4 - Barril com resinas e misturador.....35
Figura 5 - Esquema do processo de transformação por extrusão.....36
Figura 6 - Máquina Extrusora para filme tubular enrolado em bobinas.....37
Figura 7 - Etapas da ACV.....42
Figura 8 - Delimitação do sistema.....45
Figura 9 - Categorias de impacto nas estruturas *midpoint* e *endpoint* na AICV.....48
Figura 10 - Roteiro metodológico.....56
Figura 11 - Especificações da sacola plástica com resina verde.....58
Figura 12 - Sistema de produto da sacola PEAD.....59
Figura 13 - Sistema de produto da sacola de bioplástico.....60
Figura 14 - Comparação em relação a depleção de mudanças climáticas.....66
Figura 15 - Comparação em relação a depleção de recursos abióticos.....66
Figura 16 - Contribuição da sacola de PEAD para as mudanças climáticas.....69
Figura 17 - Contribuição da sacola de bioplástico para as mudanças climáticas.....70
Figura 18 - Contribuição da sacola de PEAD para a depleção de recursos.....71
Figura 19 - Contribuição da sacola de bioplástico para a depleção de recursos.....72
Figura 20 - Principais emissões de GEE contribuintes para a categoria de Mudanças Climáticas na produção da sacola de PEAD.....73
Figura 21 - Principais emissões de GEE contribuintes para a categoria de Mudanças Climáticas na produção da sacola de bioplástico.....76
Figura A.1 - Processo da sacola com bioplástico.....97
Figura A.2 - Parâmetros utilizados para o cálculo do transporte da sacola com bioplástico.....98
Figura A.3 - Processo da sacola de PEAD.....99
Figura A.4 - Parâmetros utilizados para o cálculo do transporte da sacola de PEAD.....100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descarte e reciclagem de plástico no mundo.....17
Tabela 2 - Plásticos usados na produção de sacolas.....29
Tabela 3 - Produção nacional de petróleo.....38
Tabela 4 - Produção de nafta por refinaria.....39
Tabela 5 - Capacidade de produção de eteno das centrais petroquímicas.....40
Tabela 6 - Principais áreas plantadas com cana-de-açúcar.....41
Tabela 7 - Métodos de AICV.....49
Tabela 8 - Referência de estudos sobre sacolas plásticas.....53
Tabela 9 - Características das sacolas plásticas analisadas.....57
Tabela 10 - Distâncias no transporte dos materiais.....62
Tabela 11 - Resultado dos impactos ambientais de cada alternativa considerando todos os processos.....64
Tabela 12 - Resultado dos impactos ambientais de cada alternativa.....65
Tabela 13 - Contribuição relativa de cada processo da sacola de PEAD.....67
Tabela 14 - Contribuição relativa de cada processo da sacola com bioplástico.....68

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abrelpe - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AICV - Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida

Al_2O_3 - Óxido de Alumínio

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível

BA - Bahia

C_2H_4- Etileno

CH_4 - Metano

CO - Monóxido de Carbono

CO_2 - Dióxido de Carbono

CO_2eq - Dióxido de Carbono Equivalente

DF - Distrito Federal

EN - Norma Europeia

GEE - Gases de Efeito Estufa

GPPS - Poliestireno Cristal

GWP - Potencial de Aquecimento Global

HIPS - Poliestireno de Alto Impacto

ICV - Inventário do Ciclo de Vida

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ISO - Organização Internacional de Normalização

µm - Micrômetro

mm - Milímetro

MPs - Matérias-primas Renováveis

Mt - Megatonelada

N_2O - Óxido Nitroso

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OH - Hidróxido

Oscan - Osório-Canoas

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEAD-APM - Polietileno de Alta Densidade de Alto Peso Molecular

PEBD - Polietileno de Baixa Densidade

PEMD - Polietileno de Média Densidade

PELBD - Polietileno Linear de Baixa Densidade

PET - Polietileno Tereftalato

PHA - Polihidroxialcanoato

PLASTIVIDA - Instituto Socioambiental de Plásticos

PP - Polipropileno

PS - Poliestireno

PVC - Policloreto de Vinila

REDUC - Refinaria Duque de Caxias

REFAP - Refinaria Alberto Pasqualini

REPLAN - Refinaria de Paulínia

REVAP - Refinaria Henrique Lage

RJ - Rio de Janeiro

RLAM - Refinaria Landulpho Alves

RS - Rio Grande do Sul

Sbeq - Antimônio Equivalente

SINDIPLAST - Sindicato das Indústrias de Plásticos

SP - São Paulo

t - Toneladas (de acordo com o Sistema Internacional de Unidades)

TEDUT - Terminal Marítimo Almirantes Soares Dutra

UF - Unidade Funcional

UV - Ultravioleta

WWF - Fundo Mundial para a Natureza

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de plásticos vêm crescendo e desempenham um papel importante no desenvolvimento da economia mundial, visto que há grande dependência desse insumo para a produção de materiais de diversos setores industriais, como das embalagens (SAIBUATRONG *et al.*, 2017). Nesse contexto, problemas ambientais globais como a demanda por petróleo e recursos energéticos, o aumento de resíduos e das mudanças climáticas, são influenciados pelo crescimento da população, do consumo e das indústrias, ainda mais que a maioria das aplicações de plásticos é em produtos de curta duração ou de uso único (AHAMED *et al.,* 2020).

As sacolas de uso único, que são descartadas após o primeiro uso, tornaram-se amplamente populares através de sua distribuição gratuita em supermercados e comércios, onde o consumo em larga escala de sacolas plásticas apresenta um impacto negativo significativo no meio ambiente, contribuindo para emissões de gases de efeito estufa e gerando milhões de toneladas de resíduos sólidos anualmente (MARTINS *et al*., 2010). A crescente preocupação ambiental e o desenvolvimento de alternativas produzidas a partir de fontes renováveis têm estimulado a substituição de plásticos derivados de petróleo pelos bioplásticos, visando à minimização de danos à natureza e do uso de recursos não renováveis. Os bioplásticos podem ser entendidos como os plásticos produzidos a partir de fonte renovável e/ou biodegradável (*European Bioplastics*, 2022). Com efeito, o uso de plástico verde, que é uma resina plástica de origem renovável obtido a partir da cana-de-açúcar (portanto, classificada como bioplástico), é um material de interesse para a confecção de produtos pois possui as mesmas características dos plásticos de origem fóssil e não é derivado do petróleo.

Para o presente trabalho optou-se por avaliar as sacolas produzidas parcialmente com plástico verde (sacolas com bioplástico), pois é crescente o mercado de bioplásticos e o interesse pela substituição de matérias-primas oriundas de recursos naturais não

renováveis. Desse modo, torna-se fundamental investigar os impactos que o uso de resina de cana-de-açúcar como alternativa para substituir as resinas derivadas do petróleo acarretam ao meio ambiente, visto que o bioplástico também é associado a importantes questões ambientais, como o desmatamento e uso de terra. Tais questões são ainda mais significativas quando se trata do uso do material para a produção de produtos com vida útil baixa, como as sacolas plásticas, pois o alto consumo intensifica a demanda por matéria-prima.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar os impactos ambientais de produtos levando em conta a energia e recursos consumidos pelos mesmos, bem como a geração de emissões de poluentes e resíduos durante sua vida útil. Dessa forma, utilizou-se a ACV para analisar as categorias de impacto referentes a emissões de gases de efeito estufa e depleção de recursos abióticos atreladas ao processo produtivo de sacolas plásticas compostas por 100% de resina de polietileno de alta densidade (PEAD) e as sacolas com bioplástico (compostas por 49% de PEAD e 51% de plástico verde), levando em conta que a fabricação das mesmas acontece no Distrito Federal. Para isso, adotou-se a abordagem do berço-ao-portão, onde foram considerados os processos desde a obtenção da matéria-prima até a fabricação do produto final. Os dados utilizados para o estudo foram obtidos a partir da literatura e base *Ecoinvent 3.6*. O enfoque do estudo foi dado para o processo produtivo de sacolas de uso único, cuja função é o transporte de mercadorias em supermercados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Verificar se a substituição parcial de matéria-prima na fabricação de sacola plástica resulta em um produto com menos impacto em relação às emissões de gases de efeito estufa e ao consumo de recursos abióticos durante seu processo produtivo.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estimar, através da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida, como o processo produtivo de sacolas plásticas de PEAD e de sacolas com bioplástico contribuem para as categorias de impacto de mudanças climáticas e depleção de recursos abióticos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PLÁSTICOS

A palavra “plástico” tem origem grega, cujo significado é “adequado à moldagem”. De acordo com o Instituto Socioambiental de Plásticos (PLASTIVIDA), os plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros que, por sua vez, são formadas por moléculas menores denominadas monômeros. São produzidos por meio de um processo químico conhecido como polimerização: a união química de monômeros que formam polímeros (SIMAN FILHO *et al.*, 2019).

O plástico é um polímero que pode ser obtido por meio de reações químicas ou através de macromoléculas que são encontradas na natureza, como a celulose. Além disso, são classificados quanto à sua capacidade de fundir, sendo divididos em duas categorias (DE ASSUMPÇÃO *et al*., 2018):

- Termoplásticos: São os plásticos que podem ser moldados, fundindo-se quando aquecidos e solidificando quando resfriados. Esse tipo de material é reciclável. Exemplos: polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno tereftalato (PET), etc.
- Termofixos ou termorrígidos: O emprego de temperatura nesse tipo de material acarreta em sua degradação, com isso, essa transformação é irreversível e torna-o rígido e incapaz de se fundir novamente. Portanto, não é remodelável.

O plástico substituiu uma gama de matérias-primas, como madeira e metal, que antigamente eram utilizadas para a confecção de inúmeros produtos, tal fato possibilitou o acesso a bens de consumo pela população de baixa renda (CUNHA, 2002). Os tipos de plásticos mais consumidos atualmente são os polietilenos (PE), polipropilenos (PP), poliestirenos (PS), policloretos de vinila (PVC) e os poliésteres (PET), que são produzidos e utilizados em tão grande quantidade que têm sido até mesmo considerados *commodities* (SINDIPLAST, 2022). O plástico de maior consumo é o polietileno; estima-se que 65% do material produzido é utilizado para

produção de embalagens, como sacolas de supermercado, embalagens de alimentos, sacos de lixo e filmes (AHAMED *et al*., 2021).

Entre 1950 e 2017 um total de 9,2 bilhões de toneladas de plástico foram produzidas, sendo a maior parte constituída por produtos e embalagens de uso único. Além disso, a publicação estima que, em 2025, a produção de plástico poderá atingir mais de 600 milhões de toneladas por ano (MONTENEGRO *et al.*, 2020). A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) divulgou no relatório "Perspectivas Mundiais do Plástico" que afirma que em 2019 foram produzidas 460 milhões de toneladas de plástico mundialmente e 353 milhões acabaram como resíduos. Quase dois terços dos resíduos plásticos vêm de usos de produtos com vida útil menor que 5 anos, onde as embalagens lideram com 40%. O relatório também divulga que apenas 9% dos resíduos plásticos foram reciclados, 19% foram incinerados, quase 50% foram para aterros sanitários e 22% foram descartados em lixões, queimados a céu aberto ou despejados para o meio ambiente. E ainda, geraram 1,8 bilhões de toneladas de emissões de gases de efeito estufa, equivalente a 3,4% das emissões globais, onde 90% foi resultante da produção a partir de energias fósseis.

O Brasil é o 4º maior produtor de resíduo plástico do mundo, atrás dos Estados Unidos, China e Índia. O país também é um dos que menos recicla este resíduo, onde apenas 1,28% é reciclado, sendo destinado 7,7 milhões de toneladas de plástico para os aterros sanitários e 2,4 milhões de toneladas são descartados de forma irregular, conforme apresentado na Tabela 1 (WWF, 2019).

Tabela 1 – Descarte e reciclagem de plástico no mundo

País	Total de resíduo plástico gerado (t)*	Total incinerado (t)	Total reciclado (t)
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677
Brasil	11.355.220	0	145.043
Indonésia	9.885.081	0	362.070
Rússia	8.948.132	0	320.088
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139

*Valor total de resíduo plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano.

(Fonte: WWF / KAZA *et al.*, 2018)

De acordo com os dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (Abrelpe), o volume de plástico descartado no Brasil em 2020 foi de 13,3 milhões de toneladas, representando um aumento em comparação ao ano de 2019, em que o país produzia quase 11,4 milhões de toneladas de lixo plástico por ano. Conforme Brito *et al.* (2022) relatam, visando solucionar a problemática dos plásticos, têm surgido pesquisas para desenvolvimento e aplicação de biopolímeros, que são plásticos oriundos de fontes renováveis, podendo ser ou não biodegradáveis.

Os recursos naturais de fontes renováveis se baseiam no conceito de que, se utilizados de forma consciente, são capazes de se renovar em um curto prazo comparado com o tempo de vida humano. Porém, apesar de possuírem a capacidade de renovação, eles não são inesgotáveis. Já os não-renováveis são aqueles que demoram muito tempo para conseguir se recompor na natureza, como o petróleo (BARBOSA, 2015).

3.2 A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

A produção de resinas termoplásticas tem início com a exploração de petróleo. De acordo com Rezende (2013), as atividades da indústria do petróleo envolvem desde a extração da matéria-prima até a entrega dos produtos finais, sendo agrupadas em segmentos distintos:

- *Upstream*: Esse segmento engloba os processos de exploração e produção do petróleo.
- *Downstream:* Envolve o transporte e refino do petróleo, além da logística dos derivados.
- Petroquímico: Produção, distribuição e comercialização dos produtos finais.

O petróleo é adquirido através da extração em reservas de petróleo, sendo posteriormente transportado até as unidades de refino, onde ganha a forma de vários produtos, como a gasolina, o querosene e a nafta. No contexto brasileiro, a maior parte das reservas se localiza em campos marítimos e grandes profundidades, como os campos do pré-sal (LIRA, 2016). O pré-sal se refere a áreas de reservas petrolíferas localizadas no fundo do oceano e que ficam abaixo de camadas de sal (PETROBRÁS, 2022)

A degradação ambiental é acelerada pela forma que os recursos naturais são consumidos, com impactos como a rápida liberação do carbono fóssil para a atmosfera, resultando em aumento da temperatura do planeta (REZENDE, 2013). Segundo dados divulgados pelo SEEG, do Observatório do Clima, em 2020 o setor

de energia teve 393,7 milhões de toneladas de CO_2eq emitidas. Esse setor engloba emissões oriundas da queima de combustíveis em atividades como transportes, indústria e geração de eletricidade; além das emissões fugitivas que são geradas pelo escape de gases de efeito estufa durante a exploração de petróleo e gás natural. As emissões fugitivas podem se originar de vazamentos das tubulações ou dos dutos subterrâneos.

Após chegar na refinaria, é feito o processo de destilação que envolve a separação de petróleo bruto pesado em grupos mais leves, chamados frações. Cada fração é uma mistura de cadeias de hidrocarbonetos (compostos químicos constituídos de carbono e hidrogênio), os quais diferem entre si em relação ao tamanho e à estrutura das suas moléculas. Uma dessas frações, nafta, é o elemento essencial para a fabricação de plásticos, sendo utilizada para a produção de etileno (também chamado de eteno), que posteriormente é polimerizado em polietileno (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A indústria petroquímica compreende o conjunto de atividades industriais entre o refino do petróleo e a transformação de plásticos, assim, ela é constituída por uma sucessão de processos industriais, que produzem insumos para serem utilizados nas fases subsequentes (HOMBEECK, 2019). Segundo a BRASKEM (2020), a principal matéria-prima para a produção de eteno na América do Sul é a nafta, que representa 66% da matriz, conforme se mostra na Figura 1.

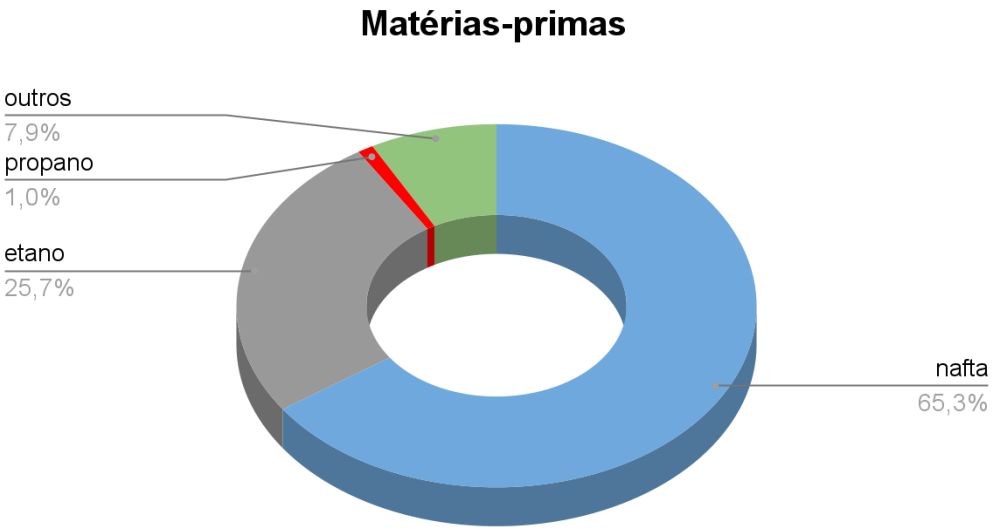


Figura 1: Produção de eteno por matérias-primas na América do Sul

Fonte: Braskem, 2020 (adaptado)

A indústria de transformados plásticos se encontra dentro da cadeia produtiva petroquímica, que é dividida em três gerações, sendo formada pelas indústrias de primeira, segunda e terceira gerações, conforme ilustrado na Figura 2 (BRASKEM, 2017).

- Primeira geração: São produzidos os produtos petroquímicos básicos, como o eteno, que servirão de insumo para a indústria subsequente.
- Segunda geração: Estão as produtoras de resinas termoplásticas, como o polietileno, e intermediários, que são transformados em produtos finais petroquímicos como PVC, poliestireno, polímeros para fibras sintéticas, dentre outros.
- Terceira geração: Refere-se às indústrias de transformação plástica, onde a partir dos insumos obtidos na segunda geração, é feita a transformação dos produtos gerados em produto final.

As principais unidades que compõem um polo petroquímico são as de primeira e segunda geração, de modo que são aproveitadas as sinergias logísticas, de infraestrutura e de integração operacional (GOMES *et al.*, 2005).

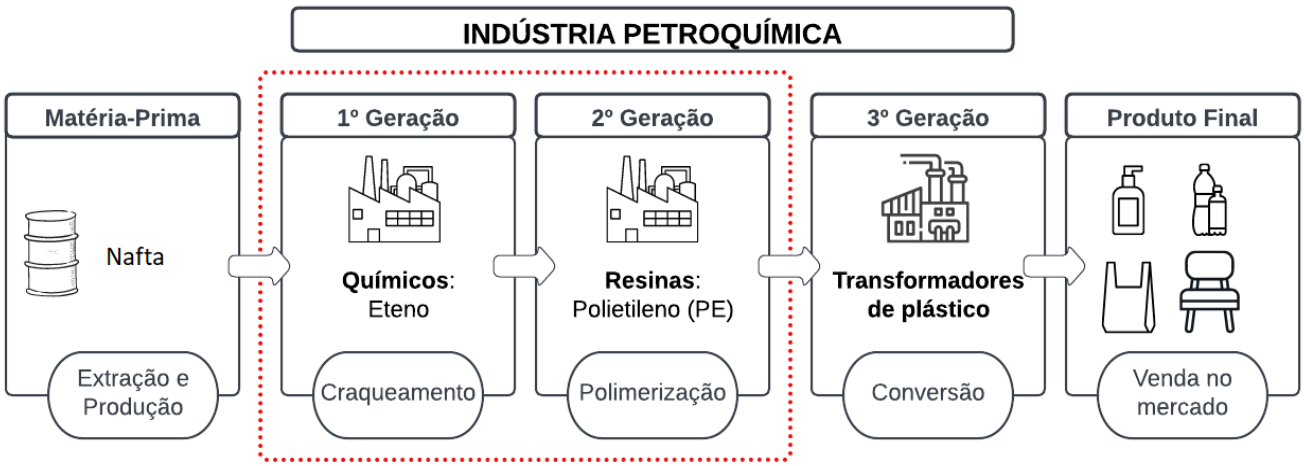


Figura 2 - Esquema geral da cadeia petroquímica

Fonte: BRASKEM, 2017 (adaptado)

3.3 POLIETILENO

O polietileno é um polímero sintético muito utilizado na fabricação das sacolas plásticas tradicionais, sendo um grande contribuinte na emissão de gases de efeito estufa e é o tipo de plástico mais produzido e descartado no mundo, tornando-se um problema ambiental pois demora séculos para se degradar (ROYER, 2018). Esse material faz parte da família de resina de poliolefina e apresenta diferentes tipos, que variam de acordo com a sua estrutura, podendo ser classificados principalmente quanto à sua configuração e densidade. Em relação à densidade, dividem-se em: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de média densidade (PEMD), polietileno de baixa densidade linear (PELBD), polietileno de baixa densidade (PEBD). Esse polímero é obtido a partir do petróleo, onde a produção de eteno, molécula no qual se produz polietileno, é feita a partir do processo de craqueamento térmico de hidrocarbonetos, sendo um dos principais produtos obtidos na indústria petroquímica (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

De acordo com Viana (2010), os grupos de polietileno mais utilizados na fabricação de sacolas plásticas tradicionais são os de alta densidade (PEAD) e os de baixa densidade (PEBD), pois possuem vários aspectos característicos desejáveis nas embalagens plásticas, tais como brilho, resistência e maleabilidade.

3.3.1 Processo produtivo de polietileno

A nafta, de acordo com Meirelles (2014), é uma fração leve oriunda da destilação do petróleo, porém, também pode ser obtida a partir da fração pesada do gás natural. Esse composto se caracteriza por ser incolor e volátil, e serve de matéria-prima para as resinas, solventes e outros produtos. A produção de plástico tem início nas empresas de extração e refino de petróleo, onde estima-se que 4% do petróleo produzido comercialmente no mundo é destinado para a fabricação desse material (MAGRINI *et al.*, 2012). Ao longo desse processo há impactos ambientais relacionados ao esgotamento de recursos não renováveis, emissões de gases de efeito estufa e uso de água.

Após a etapa de refino, encontra-se a indústria de primeira geração. Nessa indústria, é feito o craqueamento da nafta, por meio de seu aquecimento em elevadas temperaturas, ocasionando a quebra de suas moléculas complexas em moléculas mais simples, os monômeros, os quais são, por sua vez, utilizados para produção de polímeros. Na segunda geração, fabricam-se as resinas plásticas através da polimerização, onde é feita a conversão de monômeros, como o eteno, em polímeros, como o polietileno. Após a produção das resinas plásticas, feita na segunda indústria, esse material é fragmentado em pequenos grãos, sendo fornecido às indústrias de transformação (terceira geração), e se tornam matéria-prima para a fabricação de produtos como sacolas, embalagens, fios, dentre outros (LEONARDI, 2009).

3.4 IMPLICAÇÕES DO USO DE SACOLAS PLÁSTICAS

O ciclo de vida de nenhum produto começa e termina sem deixar seu impacto no meio ambiente. A produção, consumo e descarte de cada objeto resulta em impactos ambientais, cujo grau varia de acordo com o item e é amplamente influenciado por diversos fatores, dentre eles, a sua vida útil. Em geral, produtos com vida útil curta geram mais impactos do que os que duram mais (MUTHU E LI, 2014).

Nas últimas décadas houve o aumento no consumo de produtos industrializados, ocasionando maiores demandas de extração de matérias-primas, de produção e de utilização de materiais descartáveis, tais como embalagens. As funções das embalagens são classificadas como primária, secundária ou terciária (JORGE, 2013). A embalagem de função primária fica em contato direto com o produto, a de função secundária é responsável por abrigar as embalagens primárias, e as de função terciária auxiliam no agrupamento ou transporte de outras. Sacolas plásticas são embalagens de função terciária, portanto, possuem uma vida útil curta, uma vez que sua função não está relacionada diretamente com o conteúdo do produto de interesse do consumidor, sendo geralmente utilizada e posteriormente descartada.

Segundo o Instituto Socioambiental dos Plásticos (Plastivida), estima-se que, em 2016, foram usadas anualmente cerca de 13 bilhões de sacolas plásticas no Brasil. Geralmente, elas são usadas uma única vez e costumam ser descartadas de maneira incorreta, podendo levar séculos para se decompor. Com isso, o plástico se tornou um dos principais problemas ambientais atuais, uma vez que há emissões de gases de efeito estufa, aumento da poluição, entupimento de bueiros, vão parar em matas, rios e oceanos, onde prejudicam a vida marinha, visto que animais morrem sufocados ou presos nelas (AGÊNCIA SENADO, 2016).

Além disso, as sacolas plásticas intensificam a geração de microplásticos, que são micropartículas originadas a partir da fragmentação do plástico. Conforme Loureiro (2021) detalha, os microplásticos e nanoplásticos podem ser definidos como

partículas com tamanho entre 1 µm e 5 mm e partículas menores que 1 µm, respectivamente. Esses fragmentos podem ser originados a partir de qualquer tipo de material plástico que sofra ação de efeitos ambientais, como raios UV, variação de temperatura, umidade e ação das ondas, pois apesar do plástico apresentar grande resistência à degradação, quando exposto a essas condições ele pode fragmentar.

3.5 ALTERNATIVAS PARA AS SACOLAS CONVENCIONAIS

Com intuito de contornar a degradação ambiental ocasionada por plásticos derivados do petróleo, a substituição de recursos não renováveis por renováveis apresenta grande potencial de expansão (BRITO, 2011). O Brasil possui potencial para produção de etanol de cana-de-açúcar, que é matéria-prima para a fabricação da resina plástica denominada de polietileno verde, sendo tido como o maior produtor mundial da cana-de-açúcar e de etanol obtido dessa planta (GURSEL *et al.*, 2021). A produção a partir de cana-de-açúcar é apontada como um dos principais fatores benéficos para a substituição da resina fóssil, ainda mais que o plástico obtido a partir da resina de cana é funcionalmente semelhante ao plástico tradicional (BRASKEM, 2012). Nesse contexto, a busca por alternativas em relação às resinas de origem fóssil justifica-se pela finitude do petróleo e pela carga de emissão de gases de efeito estufa atrelados, principalmente, aos processos de aquisição de matérias-primas virgens e manufatura de produtos, que contribuem para a poluição ambiental e aquecimento global (NASCIMENTO *et al.*, 2022). De acordo com os dados compilados pela *European Bioplastics* (2022), há a previsão de que as capacidades globais de produção de bioplásticos cresçam cerca de 2,42 milhões de toneladas em 2021 para aproximadamente 7,59 milhões de toneladas em 2026. Além disso, o mercado de embalagens é o maior setor de aplicação de bioplásticos, com quase 48% (1,15 milhão de toneladas) do mercado total em 2021.

Bioplásticos podem ser definidos como polímeros de fonte renovável e/ou biodegradável. Assim, são obtidos ou sintetizados por meio de matéria-prima que pode ser derivada do milho, cana-de-açúcar, celulose, batata, quitina e outros. O

conceito para a classificação de bioplásticos adotado por boa parte dos países é o da *European Bioplastics*, que não define um percentual mínimo de matéria-prima de fonte renovável na composição do polímero para que ele seja classificado como bioplástico (JONES, 2020). Dessa forma, bioplásticos se classificam em três grupos (*European Bioplastics,* 2022*)*:

- Plásticos de fonte renovável (ou parcialmente renovável) e não biodegradáveis
- Plásticos de fonte renovável e biodegradáveis
- Plásticos de origem não renovável e biodegradáveis

O uso de bioplásticos na confecção de sacolas plásticas busca alcançar benefícios como a redução de gases poluentes, obter distintos meios de descarte, ampliação do setor econômico e atenuar o uso do petróleo como matéria-prima (NASCIMENTO *et al.*, 2022). De acordo com a BRASKEM (2012), no Brasil, a cana-de-açúcar é a maior fonte utilizada para produção de bioplásticos, onde foi criado o plástico verde a partir do etanol da cana-de-açúcar.

3.5.1 Plásticos biodegradáveis

A *European Bioplastics* (2022) define biodegradação como o processo de transformação química que um material sofre por ação de microrganismos sob condições adequadas, que convertem carbono orgânico em água, dióxido de carbono e biomassa. Deve haver condições favoráveis de temperatura, umidade, pH e disponibilidade de oxigênio para a atuação dos microorganismos.

Conforme Steinmetz *et al.* (2015) explica, os polímeros são definidos como biodegradáveis quando possuem a capacidade de se deteriorar e sofrer fragmentação seguida de degradação por microrganismos. Porém, esse processo pode demorar em condições ambientais normais. Quando os materiais são biodegradados em condições e dentro de um prazo definido pelas normas europeias para compostagem industrial EN 13432, eles podem ser certificados e rotulados como compostáveis

industrialmente. Conforme essa certificação, é previsto que a embalagem se decomponha em condições de compostagem industrial em 12 semanas, de forma que reste no máximo 10% do material original em fragmentos maiores que 2mm (BBC, 2020).

As sacolas compostáveis são um tipo de sacola biodegradável cujo material pode ser transformado, juntamente com alimentos e outros resíduos orgânicos, em adubo. Entretanto, sua decomposição ocorre apenas dentro do equipamento industrial apropriado, não podendo ser compostável em casa, pois sob condições normais, o processo de compostagem leva muito tempo e não produz um composto que possa ser utilizado no jardim (BBC, 2020; MONTENEGRO *et al.,* 2020). Nota-se que as condições estipuladas pela norma são definidas a partir de condições de compostagem industrial, não sendo aplicadas a aterros sanitários e ao ambiente natural, que são os principais destinos desses materiais (LOUREIRO, 2021).

Desse modo, para que a biodegradação da sacola compostável seja eficaz, seu descarte deve ser realizado de forma adequada. De acordo com Santos *et al.* (2012), a biodegradação dos biopolímeros provenientes de fontes renováveis pode ter a emissão de CO_2 considerada nula quando a biodegradação ocorre em condições aeróbicas, onde o resíduo é convertido em água, húmus e gás carbônico. Porém, no processo de biodegradação em condições anaeróbicas (ausência de oxigênio), há formação de gás metano (CH_4) ao invés do dióxido de carbono (CO_2) e a emissão de gases do efeito estufa deixa de ser nula. Observa-se, ainda, que o potencial de contribuição do metano para o aquecimento global é 28 vezes maior que o de CO_2 (IPCC, 2014). Portanto, o descarte de embalagens biodegradáveis em ambientes com ausência de oxigênio, como aterros e lixões, pode tornar essa alternativa mais poluente que as demais. Além disso, o descarte inadequado gera contaminação de corpos hídricos, solo e poluição visual.

Há também os plásticos oxibiodegradáveis, que são polímeros convencionais da classe de poliolefinas, como o polietileno, no qual é adicionado aditivos oxi-

degradáveis que aceleram sua deterioração por meio da quebra de polímeros em compostos de menor massa molecular por ação da radiação ultravioleta, calor e umidade (BRITO, 2011). Constata-se que ocorre a fragmentação dessas sacolas em pequenas partículas, mas estas não são consumidas pelos microorganismos, permanecendo micro-componentes plásticos no ambiente, ocasionando riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

Segundo Scott (2009), os plásticos oxibiodegradáveis foram projetados para fragmentarem e posteriormente serem degradados por microrganismos. No entanto, o resultado é que na presença de agentes naturais como a radiação ultravioleta e oxigênio, os plásticos oxibiodegradáveis apenas se desgastam e ficam quebradiços, resultando na geração de microplásticos que não conseguem ser consumidos pelos microrganismos, diferentemente das sacolas de plástico compostável cujo material se decompõem integralmente pela ação de microrganismos que quebram as cadeias do polímero, tal como acontece na compostagem industrial (BRASKEM, 2012). Scott (2009) informa que os plásticos oxibiodegradáveis não são projetados para a compostagem e nem aterros sanitários. De acordo com a ABIPLAST (2018), resíduos plásticos que possuem aditivos pró-degradantes prejudicam o processo de reciclagem quando são misturados a outros plásticos, além de que comprometem as propriedades finais do material reciclado, diminuindo sua vida útil.

3.5.2 Plásticos verdes

O termo polímero verde é atribuído aos polímeros que eram sintetizados a partir de matéria-prima proveniente de fontes fósseis, mas que devido ao avanço da ciência e o maior interesse em reduzir os impactos ambientais relacionados ao uso de recursos não renováveis, passaram também a ser produzidos a partir de fontes renováveis, como a cana de açúcar, milho e amido (BRITO, 2011). Entre estes, tem-se o polietileno verde (PE verde), que é uma resina plástica com características físico-químicas semelhantes à de origem fóssil, mas é oriundo do etanol de cana de açúcar (SILVA *et al.*, 2020).

O polietileno verde não é um material capaz de passar pelo processo de biodegradação, porém é 100% reciclável e é vendido como uma alternativa menos poluente em comparação ao plástico tradicional, recebendo a classificação de bioplástico pois tem origem de fonte renovável. O polietileno verde é um termoplástico que possui a mesma estrutura e propriedade do polietileno de origem petroquímica. Dessa forma, a sua estrutura não consegue ser degradada pelos microrganismos e, portanto, leva o mesmo tempo do plástico comum para se decompor (JONES, 2020). Assim como o polietileno petroquímico, o PE verde possui uma grande versatilidade de aplicações, sendo usado na produção de garrafas, sacolas plásticas, caixas, artigos de higiene pessoal e doméstica, componentes automotivos etc.

O aumento do uso de plástico verde demanda maior quantidade de terra fértil para o plantio de cana-de-açúcar, o que envolve menor disponibilidade de terra para produção de alimentos, maior consumo de água, desmatamento, uso de fertilizantes e outros insumos, que contribuem de forma negativa ao meio ambiente (KISS *et al.*, 2018).

As sacolas plásticas comumente comercializadas como biodegradáveis podem ser produzidas a partir de plástico oxibiodegradável, compostável ou plástico verde, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Plásticos usados na produção de sacolas

	Oxibiodegradáveis	**Compostáveis**	**Bioplástico ou plástico verde**
Produção	Uso de aditivos nos plásticos tradicionais, tal como Polietileno (de origem fóssil) ou renovável como do etanol de milho ou cana-de-açúcar.	Fontes renováveis a partir do milho, mandioca, batata, beterraba, entre outros.	Fonte renovável a partir da cana-de-açúcar, chamado de polímero “verde”. Pode ser misturado ao polietileno convencional, desde que tenha pelo menos 51% de polímero “verde” em sua composição.
Forma de decomposição	Degradação por oxidação, no qual a ação de aditivos fragmentam o plástico em micropedaços.	A decomposição é orgânica, ou seja, se decompõe como os resíduos orgânicos em geral, como restos de alimentos e detritos.	Como o plástico comum, e pode ser reciclável.
Problemas	Quando descartados inadequadamente, seus fragmentos de plástico poluem o meio ambiente e podem ser ingeridos por animais.	Por falta de informação, muitas vezes acabam tendo sua destinação final para cooperativas de coleta seletiva e aterros sanitários, ao invés de sistemas de compostagem orgânica. O melhor uso é para resíduos orgânicos.	Ciclo de vida é o mesmo do plástico convencional e o selo I’m green pode dar a falsa sensação que está sendo utilizado um produto biodegradável cujo resíduo será rapidamente decomposto.

Fonte: Montenegro, 2020 e Braskem, 2012 (adaptado)

A reciclagem mecânica se apresenta como a melhor destinação para as sacolas plásticas, de modo que seja feito seu reaproveitamento energético (SANTOS *et al.*, 2012). Nesse processo, o plástico descartado é convertido em grânulos para serem reutilizados como matéria-prima para a fabricação de outros produtos, como sacos de lixo, componentes de automóveis, entre outros (UNIVASF, 2018). Assim, os danos ao meio ambiente são reduzidos pois é evitada a extração de matéria-prima e a disposição final do produto. A sacola com plástico verde é tida como 100% reciclável, logo, deve ser encaminhada para a reciclagem após seu consumo. A reciclagem deste produto traz vantagens como a redução parcial da demanda por material virgem, do consumo de energia e das emissões de CO_2, além de que a disposição em aterros é menos preferível pois está relacionada a problemas como a diminuição da vida útil do aterro devido às propriedades impermeabilizantes dos plásticos que dificultam a decomposição dos resíduos, além de prejudicarem a circulação de gases, entre outros (MAGRINI *et al.*, 2012). No entanto, estima-se que no Brasil apenas 1% do material plástico pós-consumo é destinado à reciclagem, onde os resíduos plásticos não reciclados acabam em lixões ou aterros sanitários, levando anos para se decompor. E quando resíduos plásticos são expostos no meio ambiente, eles vão sofrendo sucessivas fragmentações devido às ações das intempéries, ocasionando a geração de plásticos cada vez menores (OLIVATTO *et al*., 2018).

3.6 PROIBIÇÃO DE SACOLAS PLÁSTICAS

Devido aos impactos da sacola plástica no meio ambiente, como o uso de recursos naturais não renováveis, leis para a proibição de sacolas plásticas convencionais se espalham pelo mundo (BBC, 2020). As sacolas plásticas convencionais são aquelas derivadas 100% de petróleo. Conforme levantamento realizado por Castro (2022), no Brasil, o Distrito Federal e outras 24 capitais possuem legislações sobre a proibição de sacolas plásticas convencionais.

No Brasil, Belo Horizonte foi a primeira cidade a aprovar uma lei proibindo a venda e distribuição gratuita de sacola plástica convencional em comércios em 2008, onde foi aprovada a Lei Municipal 9.529/2008 que entrou em vigor em abril de 2011 dispondo

sobre a “substituição do uso de saco plástico de lixo e de sacola plástica por saco de lixo ecológico e sacola ecológica” (AGÊNCIA SENADO, 2016). Já na cidade de São Paulo, a segunda capital do país a banir as sacolas convencionais, a proibição foi estabelecida pela Lei Municipal nº 15.374/2011 que entrou em vigor em 2011 (OBSERVATÓRIO ECO, 2011). No Estado do Rio de Janeiro, a Lei Estadual 8.006/2018, que modificou a lei n° 5.502 de 2009, baniu a venda e distribuição da sacola tradicional, devendo substituí-las por sacolas confeccionadas com mais de 51% de material proveniente de fontes renováveis (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2018).

No contexto do Distrito Federal, entrou em vigor na capital, em agosto de 2022, a Lei Distrital nº 6864 de 21/06/2021 que proíbe a distribuição e venda das sacolas plásticas tradicionais nos supermercados e outros comércios. De acordo com a publicação, esse produto deve ser substituído por sacolas biodegradáveis, compostáveis ou reutilizáveis (DISTRITO FEDERAL, 2021). Nessa lei, é estabelecido que:

> Parágrafo único. Para os fins desta Lei, entende-se por sacolas do tipo biodegradável e compostável aquelas não oriundas de polímeros sintéticos fabricados à base de petróleo, elaboradas a partir de matérias orgânicas como fibras naturais celulósicas, amidos de milho e mandioca, bagaço de cana, óleo de mamona, cana-de-açúcar, beterraba, ácido lático, milho e proteína de soja e outras fibras e materiais orgânicos

Tendo em vista esse cenário, é importante destacar que as alternativas para as sacolas convencionais também trazem impactos ao meio ambiente. Além disso, as alternativas oxibiodegradáveis, biodegradáveis e de bioplásticos muitas vezes são anunciadas como sinônimos, o que pode levar o consumidor ao erro quanto ao entendimento do impacto ambiental da alternativa. E com a previsão de crescimento do mercado de bioplásticos, conforme mencionado no tópico 3.5, é necessário entender que atrelado à esse crescimento, há o aumento da necessidade de terra cultivada para esse fim, o que pode levar a fatores como escassez de água, à extinção de espécies, à desertificação e à perda de habitat natural (MONTENEGRO, 2020). Além disso, as alternativas compostas por plástico verde têm as mesmas características químicas dos plásticos oriundos do petróleo, e sua decomposição é

estimada em centenas de anos (KISS *et al.,* 2018).

3.7 POLIETILENO VERDE

3.7.1 Plantação de cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar, utilizada para produzir o plástico verde, requer nitrogênio (N) em grandes quantidades para a produção de biomassa, sendo estimada a média de 1,4 kg de nitrogênio (N) por tonelada de colmo (caule) produzido (SILVA *et al*, 2017). Durante o cultivo, há emissão de óxido nitroso (N_2O), que possui potencial de aquecimento global de 265 a 298 vezes maior que o CO_2 (IPCC, 2014).

Conforme relatado por Carvalho (2022) o aporte de nitrogênio no solo na forma de fertilizantes nitrogenados sintéticos e orgânicos, como a vinhaça, é o principal responsável pelas emissões de N_2O durante o cultivo da cana-de-açúcar. A vinhaça é um resíduo gerado durante a fermentação da cana-de-açúcar para a produção de etanol e, posteriormente, eteno. Esse composto é um dos principais subprodutos da cultura canavieira, sendo gerado aproximadamente 12 L dele para cada 1 L de etanol produzido. Estima-se que 40% de toda a área cultivada de cana-de-açúcar é fertirrigada com vinhaça (CAMARGO, 2022). De acordo com Silva (2007), o uso contínuo de vinhaça nos mesmos solos, mesmo que em baixas dosagens, pode levar a problemas de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas.

3.7.2 Cadeia produtiva do PE Verde

O ciclo produtivo do polietileno verde inicia com o cultivo de cana-de-açúcar, seguida da produção do etanol, usado como matéria-prima para fabricação de eteno verde, que posteriormente vai para as unidades de polimerização, onde é transformado no polietileno. A resina formada é encaminhada para empresas de terceira geração, os chamados transformadores, que irão transformá-la nos produtos finais. As principais etapas desse processo são detalhadas abaixo:

1. O processo de produção do PE verde se inicia com a plantação da cana-de-açúcar, que captura o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, fixando-o através da fotossíntese e o metabolizando para produzir açúcar a ser fermentado para gerar etanol. Nessa etapa, a cana gera a biomassa necessária para todo o processo.
2. Em seguida, é feita a colheita da cana-de-açúcar que é encaminhada para as usinas sucroalcooleiras, onde é feita a moagem, fermentação e destilação do caldo de cana, onde esses processos são detalhados a seguir, conforme explica Nunes (2017):
    - Moagem: Nessa etapa, a cana é moída por rolos trituradores, onde 70% da cana vira um líquido chamado melado e 30% da parte sólida vira bagaço. O etanol é produzido a partir do melado. Vale ressaltar que para suprir a demanda energética do processamento industrial da cana, é feita a queima de bagaço nas caldeiras para a geração de energia utilizada na usina. Tal tecnologia é denominada co-geração (BNDES, 2008).
    - Eliminação de impurezas: O processo seguinte é a eliminação de impurezas, que se inicia passando o melado por uma peneira. Posteriormente, ele fica em um tanque e passa pelo processo de decantação de forma que o melado puro seja extraído, recebendo o nome de caldo clarificado. Por fim, é feita a esterilização do caldo clarificado, aquecendo-o para que os microrganismos sejam eliminados.
    - Fermentação: O caldo clarificado é fermentado a partir da mistura com leveduras. Durante essa etapa, as leveduras quebram as moléculas de glicose, produzindo etanol e gás carbônico. Nesse processo, é produzido o vinho fermentado, que possui leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol.
    - Destilação: Esse processo é feito para separar o etanol do vinho fermentado, onde coloca-se o líquido em colunas de destilação para aquecê-lo até se evaporar. Seguido da condensação (transformação em

líquido), há a separação das substâncias de modo que é gerado o etanol hidratado.

3. Desidratação: Retira-se a água contida no etanol hidratado para se produzir o etanol anidro. Com a desidratação catalítica do etanol, produz-se o eteno.
4. O eteno obtido é encaminhado para as indústrias de segunda geração, onde passa pelo processo de polimerização para convertê-lo em polietileno verde. Esse processo é igual ao do polietileno petroquímico.

3.8 FABRICAÇÃO DE SACOLAS PLÁSTICAS

As sacolas plásticas são produzidas a partir da resina de polietileno (Figura 3). Tanto a produção das sacolas plásticas de uso único derivadas integralmente de petróleo quanto à produção das sacolas plásticas compostas por uma mistura de resina de cana-de-açúcar e resina petroquímica passam pelo mesmo processo. Ressalta-se que as duas resinas possuem as mesmas propriedades químicas, diferindo apenas pela sua origem.



Figura 3 - Resina de polietileno (Fonte: autoria própria, 27/04/2023)

A partir das resinas de polietileno, extraídas do etanol ou nafta, obtém-se o plástico filme, que é utilizado para a produção de sacolas. A fabricação tem início com a adição dos grânulos de polietileno, que são depositados no funil de entrada do extrusor. Na produção da sacola com bioplástico, as resinas de PE verde e PEAD, inicialmente separadas em barris, são misturadas no início do processo conforme ilustrado na Figura 4. Essa mistura respeita a proporção de 51% de resina verde e 49% de resina PEAD.



Figura 4 - Barril com resinas e misturador (Fonte: autoria própria, 27/04/2023)

A resina de polietileno é derretida e com a ajuda de um jato de ar, formando um filme plástico com abertura interna. Além disso, é determinada a espessura do filme e sua largura. O processo de extrusão consiste em forçar a passagem contínua do material granulado através de um cilindro aquecido, seguindo até onde está a matriz, de forma a adquirir o formato final do produto. A matriz fica situada na saída do cilindro (Figura 5). Com isso, esse transporte é feito através de uma ou duas roscas “sem fim”.

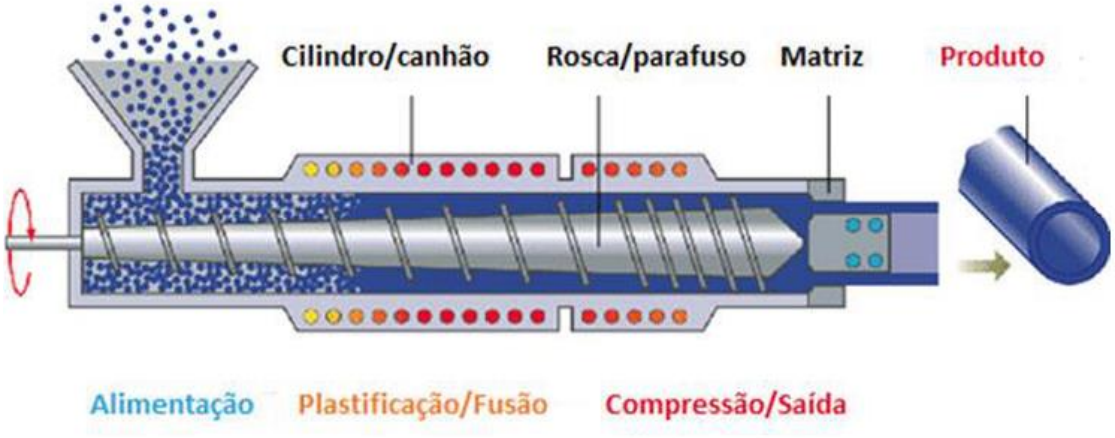


Figura 5 - Esquema do processo de transformação por extrusão (Fonte: ABIPLAST, 2020)

O filme produzido é usado para fabricar produtos com espessuras muito finas, como as sacolas plásticas. Assim, sobre e sob uma série de rolos, o filme de polietileno é enrolado em bobinas (Figura 6). Em seguida, esse material entra na última etapa do processo produtivo, que é o corte e solda, onde uma máquina sela o fundo do filme e ao mesmo tempo, corta-o no comprimento desejado (JOAQUIM, 2013).



Figura 6 - Máquina Extrusora para filme tubular enrolado em bobinas (Fonte: autoria própria, 27/04/2023)

3.8.1 Rota de produção

A produção da resina de polietileno tem início com a extração de petróleo que em seguida é transportado em larga escala até a refinaria para obtenção de seus derivados, como a nafta. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), em 2021 o Brasil importou 9.469,944 m^3 de petróleo e,

em contrapartida, produziu 168.585,221 m^3. Através dos dados divulgados pela ANP (2022), observa-se que a produção nacional de petróleo se concentra no estado do Rio de Janeiro, com 80% da produção (Tabela 3).

Tabela 3 - Produção nacional de petróleo

Estado	**Produção (m^3)**
Rio de Janeiro	135.880.451
São Paulo	15.775.724
Espírito Santo	12.222.882
Rio Grande do Norte	1.994,001
Bahia	1.302.360
Amazonas	847.026
Sergipe	461,524
Alagoas	107.263
Ceará	39.243
Maranhão	4,746
Total	168.585,221

Fonte: ANP, 2022

De acordo com a Petrobrás, grande parte do petróleo produzido tem origem na Bacia de Santos (pré-sal), que se estende do Rio de Janeiro até Santa Catarina. O Rio de Janeiro é um importante produtor de petróleo e nafta, onde a refinaria REDUC, em Duque de Caxias-RJ, foi a maior produtora desse derivado em 2021, com 1.542.287 m^3. Na tabela 4 é retratado o volume de nafta produzido nas principais refinarias do país, conforme dados divulgados pela ANP (2022).

Tabela 4 - Produção de nafta por refinaria

Localização	Refinaria	Produção de nafta (m^3)
Rio de Janeiro	REDUC	1.542.287
São Paulo	REVAP	893.305
Rio Grande do Sul	REFAP	864.274
São Paulo	REPLAN	629.266
Bahia	RLAM	407.811

Fonte: ANP, 2022

Após a produção de nafta, esse insumo é encaminhado para as indústrias petroquímicas. Segundo Leonardi (2009), a indústria petroquímica é dividida em três classificações: primeira geração, segunda geração e terceira geração. Essa indústria atua como o segmento mais dinâmico da indústria química nacional e se organiza em complexos industriais, os polos petroquímicos, que buscam minimizar os custos e aproveitar as sinergias em termos de logística, infraestrutura e integração operacional. Estima-se que a sequência de transformações realizadas pelas indústrias petroquímicas seja responsável por 18% das emissões diretas de CO_2 (TESSAROLLI, 2019).

A indústria petroquímica brasileira de 1ª geração é composta por quatro polos petroquímicos, sendo localizadas nos municípios de Camaçari (BA), Triunfo (RS), Mauá (SP) e Duque de Caxias (RJ). Essas centrais possuem a capacidade de produção anual de 4 milhões de toneladas de eteno (EPE, 2018). Os três primeiros polos utilizam principalmente a nafta para a produção de petroquímicos básicos, obtida majoritariamente da Petrobras, enquanto que o do Rio de Janeiro utiliza insumos obtidos de gás natural (LEONARDI, 2009). Os polos de Camaçari e Triunfo são os de maior capacidade de produção anual, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Capacidade de produção de eteno das centrais petroquímicas

Centrais Petroquímicas	Produção anual (%)
Polo de Camaçari	37,3
Polo de Triunfo	33
Polo de Mauá	14,6
Polo de Duque de Caxias	15,1

Fonte: EPE, 2018

Destaca-se que a central petroquímica de Triunfo, no Rio Grande do Sul, conta com uma unidade de produção de eteno verde, obtido da cana-de-açúcar. Após a obtenção de eteno, esse material é encaminhado para as indústrias de segunda geração, que se concentram próximas às centrais de primeira geração, onde formam os polos petroquímicos (EPE, 2018). Na indústria de segunda geração é obtido o polietileno petroquímico que é vendido para as indústrias de terceira geração.

Quanto à resina de polietileno verde, o processo tem início nas plantações de cana-de-açúcar. O etanol que é utilizado para a produção de eteno verde é fornecido principalmente pela região sudeste do Brasil, com destaque para o estado de São Paulo (Tabela 6). A capacidade de produção desse polo é de 200 mil toneladas anuais de eteno verde (JORNAL DO COMÉRCIO, 2021).

Tabela 6 - Principais áreas plantadas com cana-de-açúcar

Estado	Área (hectares)
São Paulo	5.555.502
Goiás	948.091
Minas Gerais	921.870
Mato Grosso do Sul	680.611
Paraná	613.487
Alagoas	279.495

Fonte: Observatório da Cana, 2018

Após a obtenção das resinas de polietileno, os granulados são transportados, de caminhão, para as indústrias de transformação; no caso, para fábricas que produzem sacolas de supermercado.

3.9 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O ciclo de vida de um produto pode ser entendido como o conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra sua função. Portanto, dentro desse espectro concentram-se etapas de extração da matéria-prima (ou produção, no caso de recursos renováveis) até a fabricação, utilização e destinação final.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma estrutura metodológica que estima e avalia os impactos ambientais referentes ao ciclo de vida de um produto, como mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, acúmulo da poluição do ar (smog), eutrofização, acidificação, esgotamento de recursos, uso da água, uso da terra e ruído, entre outros (REBITZER *et al.*, 2004).

Há duas abordagens principais para os estudos de ACV: a avaliação do berço ao portão e a do berço ao túmulo. A primeira, refere-se a uma avaliação desde a etapa

de extração do recurso (berço) até o portão da fábrica, ou seja, no final da produção. Já na avaliação do berço ao túmulo, leva-se em consideração todo o ciclo de vida do produto, abrangendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas que entram no sistema produtivo, à disposição do produto final (túmulo).

A ACV é uma metodologia padronizada, sendo as normas predominantes a ISO 14.040 e a ISO 14.044, que descrevem os vários aspectos da execução de uma ACV. Conforme os princípios e a estrutura para aplicação da análise de ciclo de vida determinados na norma ISO 14040 (2006a), é definido que o estudo é feito em quatro fases: i) Definição de objetivo e escopo; ii) análise de inventário; iii) avaliação de impactos; iv) interpretação de resultados.

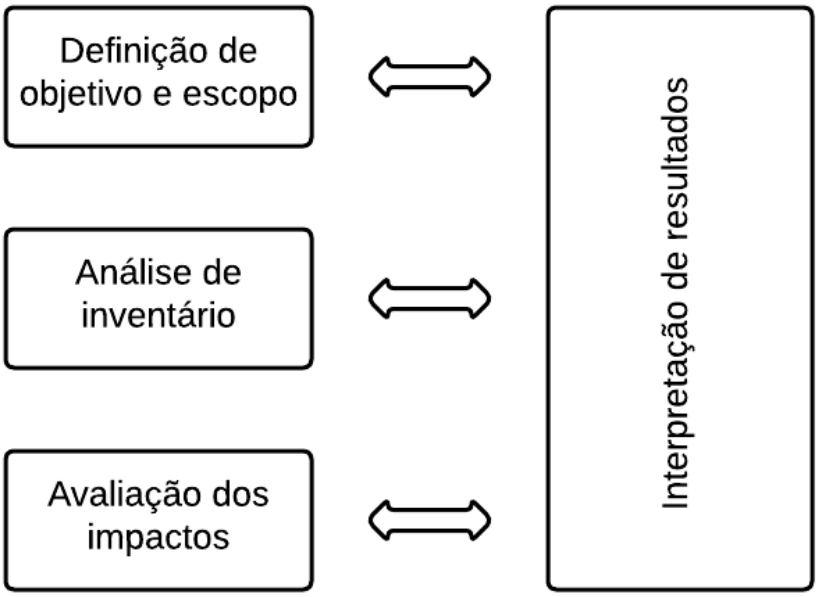


Figura 7 - Etapas da ACV (Fonte: ISO, 2006a)

3.9.1 Definição do objetivo e do escopo

Para dar início a um estudo de ACV, primeiramente define-se o objetivo do mesmo. A norma ISO 14040 declara que nessa etapa deve ser feita, de modo claro, a descrição do sistema de produto, especificando a aplicação do produto, o motivo da realização do estudo e o público-alvo, ou seja, a quem os resultados do estudo serão comunicados.

Após os objetivos serem definidos, é feita a elaboração do escopo, que determina a amplitude, profundidade e os detalhes do estudo, onde devem ser considerados e descritos certos itens, destacando-se os seguintes:

- Definição das funções do produto ou sistemas ou, no caso de comparações, dos sistemas de produtos
- a unidade funcional
- fronteiras do sistema
- tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e a subsequente interpretação
- limitações e suposições

Unidade funcional

A unidade funcional (UF) é a quantificação das funções (finalidade de uso do produto) identificadas no produto e é tida como a unidade de referência com a qual as entradas e saídas do sistema se relacionam, ou seja, é relacionada com todos os dados do estudo de ACV. Essa unidade serve de forma que seja possível comparar os cenários analisados. Dada a UF, tem-se o fluxo de referência, que é a quantidade de produtos requeridos para que se cumpra a função estabelecida na UF.

Limites do sistema

A norma ISO 14040 estabelece que a fronteira (ou limite) do sistema define quais processos unitários (ou elementares) são incluídos, ou não, na ACV, cuja seleção precisa ser consistente com o objetivo do estudo e os critérios usados na seleção devem ser identificados e explicados. O processo unitário pode ser entendido como o menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados (SILVA *et al.*, 2015). Ademais, há dois principais limites do sistema definidos: berço-ao-portão e berço-ao-túmulo.

O sistema pode ser descrito através de um fluxograma de processo que mostra os processos elementares e suas inter-relações. Dessa forma, o ciclo de vida completo, englobando a obtenção da matéria prima, etapas de processamento, produção/manufatura do produto, uso do produto, disposição final, e transportes entre as etapas, juntamente com seus fluxos de material e energia associados, é chamado de sistema de produto. Após a determinação dos limites, é possível desenvolver um diagrama de fluxo do sistema, conforme ilustrado na Figura 8, onde é feita a delimitação de um sistema genérico.



Figura 8 - Delimitação do sistema (Fonte: adaptado de EPA, 1993).

3.9.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

O inventário do ciclo de vida engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculos utilizados para a análise dos diferentes fluxos de material e energia correspondentes ao processo de produção e o ambiente. As entradas e saídas podem abranger trocas ambientais como o uso de recursos e emissões associados com o sistema (ISO, 2009a). Assim, as entradas do sistema referem-se aos recursos como matérias-primas e energia, enquanto que as saídas referem-se a qualquer tipo de emissão para o ar, água e solo. Rossato (2009, pg. 2) declara que “a análise do inventário é um processo técnico, baseado em informações, de quantificação dos requerimentos de energia e matéria-prima, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos e outras liberações para o ciclo de vida inteiro de um produto, processo ou atividade”.

Portanto, o ICV visa acompanhar os elementos utilizados nos produtos através do seu ciclo de vida por meio da quantificação das entradas e saídas do sistema para o meio ambiente. São observados os impactos ambientais referentes às entradas e saídas dos produtos, a fim de se estimar o consumo dos recursos e as quantidades de emissões referentes ao ciclo de vida do mesmo. Com isso, é feito o balanço de massa e energia para todo processo produtivo do produto, envolvendo a extração, processamento de matéria-prima, manufatura, transporte e distribuição, uso/reuso/manutenção, reciclagem e descarte final. (ROSSATO, 2009).

3.9.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

A avaliação de impacto de ciclo de vida se refere ao processo no qual os dados do inventário são associados a categorias específicas de impacto ambiental. A Norma ISO 14044 estabelece que a avaliação de impactos deve envolver, obrigatoriamente, a seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização. As categorias de impacto podem ser, por exemplo, mudanças climáticas, estresse toxicológico, uso do solo, etc. Além disso, a AICV pode envolver elementos opcionais, como a normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade de dados.

Conforme Piekarski *et al.* (2012) explica, a seleção das categorias de impacto visa identificar as preocupações ambientais, as categorias e os indicadores que serão usados no estudo. A seleção das categorias deve estar relacionada ao sistema de produto, atendendo ao objetivo e escopo do estudo.

Na etapa de classificação, é feita a correlação dos dados do inventário com as categorias de impacto ambiental, e é preciso deixar claro qual a categoria de impacto será levada em consideração. Destaca-se, ainda, que “nesta fase são as entradas e saídas do inventário que contribuem para causar impacto sobre o meio ambiente e são classificadas de acordo com o problema” (PIEKARSKI *et al.*, 2012, p. 226).

Na etapa de caracterização, é feita a quantificação das contribuições de cada problema ambiental e calcula-se os resultados dos indicadores de categoria. De acordo com a norma ISO 14044, esse cálculo é feito através da conversão dos resultados em unidades comuns e agrupamento em uma mesma categoria de impacto. A conversão se dá pelo uso de fatores de caracterização e obtém-se, como resultado, um valor numérico do indicador. Dentre as abordagens de modelagem de impacto, tem-se duas categorias: a *midpoint* e *endpoint* (Figura 9). Na modelagem *midpoint,* a caracterização se dá por indicadores localizados ao longo de pontos intermediários. Nessa categoria, não são dadas as consequências finais sobre o percurso ambiental das emissões listadas no inventário do ciclo de vida, porém funcionam como indicadores de impacto em potencial. A abordagem *endpoint* faz a caracterização considerando toda a cadeia de causa-efeito do ciclo de vida de um produto até o seu ponto final, abrangendo, assim, um dano específico relacionado com uma área mais ampla de proteção, como a saúde humana ou recursos naturais. Dessa forma, tem-se a quantificação das consequências finais das emissões, pois todos os mecanismos ambientais que conectam os resultados do inventário são modelados. Essa categoria é direcionada aos danos, que são os pontos finais (PIEKARSKI *et al.*, 2012).

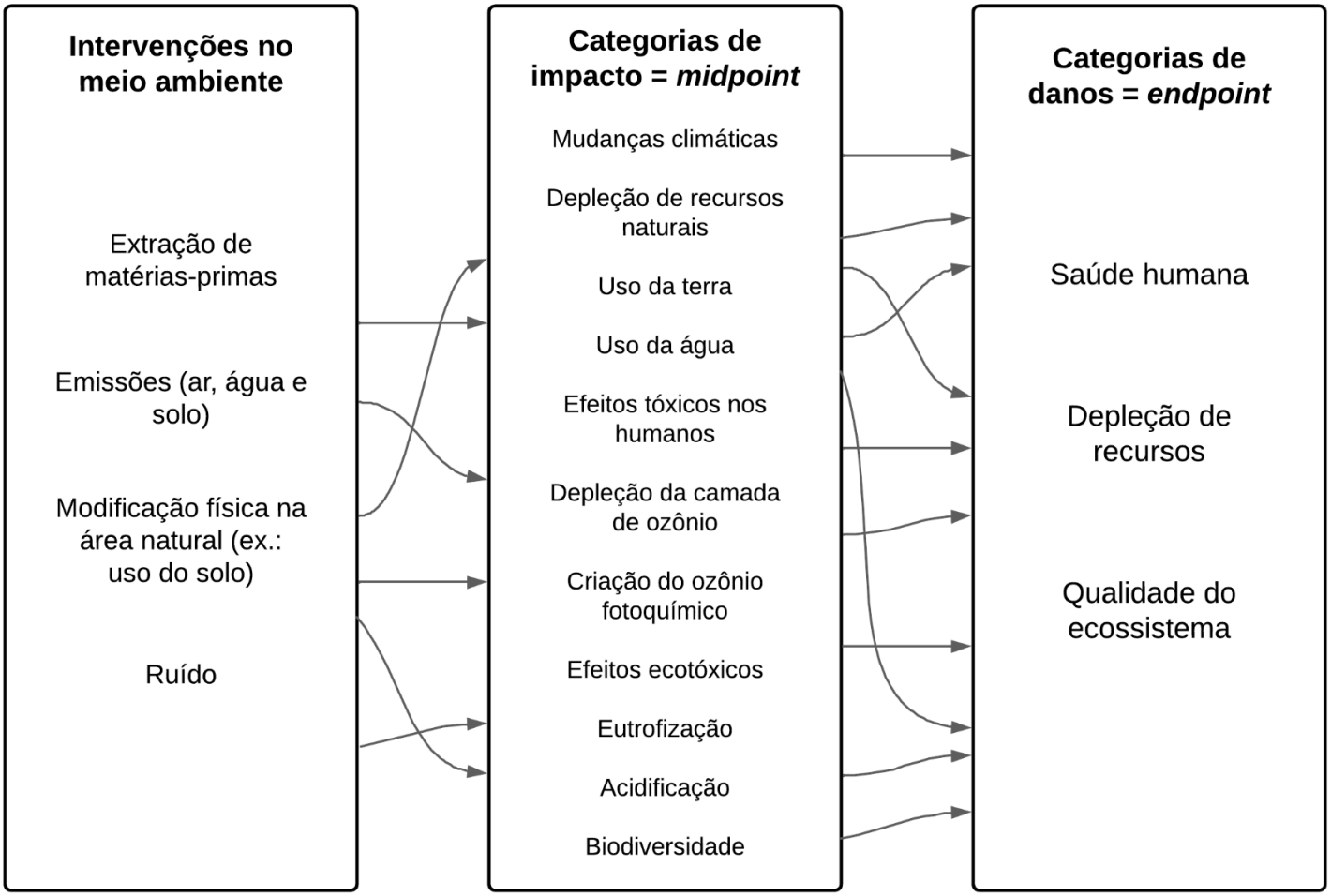


Figura 9 - Categorias de impacto nas estruturas *midpoint* e *endpoint* na AICV.

Fonte: Adaptado de UNEP, 2011

Através de métodos de AICV, é possível analisar os resultados obtidos no inventário. Cada método possui um conjunto de categorias de impacto AICV atribuído ao mesmo, conforme apresentado na Tabela 7. Assim, a escolha do método depende das categorias de impacto as quais pretende-se avaliar.

Tabela 7 - Métodos de AICV

Método	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CML (*baseline*)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
CML (*non baseline*)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
Cumulative Energy Demand	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
eco-indicador 99 (E, H e I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-
ILCD 2011, *endpoint*	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
ILCD 2011, *midpoint*	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
ReCiPe *endpoint* (E, H, I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
ReCiPe *midpoint* (E, H, I)	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
TRACI 2.1	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
USEtox	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-

Categorias de impacto: Acidificação (1), mudanças climáticas (2), esgotamento de recursos (3), ecotoxicidade (4), uso de energia (5), eutrofização (6), toxicidade humana (7), uso de terra (8), destruição da camada de ozônio (9) e oxidação fotoquímica (10). "✓" representa que a categoria de impacto está contida no método correspondente e "-" que não. Fonte: Greendelta, 2015 (adaptado).

3.9.4 Interpretação dos resultados

A etapa de interpretação dos resultados consiste em estabelecer e aumentar o grau de certeza e a confiabilidade dos resultados do estudo de ACV ou ICV, identificando as questões significativas como também fazendo a análise da completeza,

sensibilidade, consistência, além de formulação de conclusões, recomendações e identificação das limitações (ISO, 2009b). Dessa forma, nessa fase é verificado se todas as informações e dados necessários para o estudo estão completos e presentes. Além da interpretação dos resultados, essa fase apresenta o processo iterativo de analisar e revisar o escopo, de modo que seja garantido a coerência da natureza e qualidade dos dados utilizados (ABNT, 2009a).

3.10 ESTUDOS SOBRE SACOLAS PLÁSTICAS USANDO ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que possibilita analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Dessa forma, torna-se útil para a compreensão e minimização dos impactos associados aos produtos manufaturados e consumidos, permitindo observar os possíveis impactos ambientais ao longo da vida útil do objeto.

De acordo com Saade *et al.* (2010), a ACV se baseia no pressuposto que todos os estágios da vida do produto possuem potencial para gerar danos ao meio ambiente relevantes, dessa forma, ao somar os impactos do início ao fim do ciclo de vida é possível mensurar os que são referentes ao produto. Portanto, essa abordagem é importante para o entendimento dos problemas ambientais inerentes às sacolas plásticas, uma vez que permite analisar questões como o consumo de energia e recursos, além da contribuição do produto às emissões de gases de efeito estufa.

Alguns exemplos de estudos sobre as sacolas plásticas que utilizam a ACV como ferramenta de análise são indicados na Tabela 8. É observado que a principal unidade funcional utilizada é a quantidade de sacolas. Destaca-se que para a definição da UF é necessário levar em consideração as características de desempenho do produto, onde as sacolas plásticas possuem diferenças nas funcionalidades, variando, por exemplo, quanto ao uso, capacidade e opções de descarte, que mudam para cada tipo de sacola (GÓMEZ E ESCOBAR, 2021). Assim, verifica-se que a UF é estipulada de forma diferente pelos autores, podendo ser adaptada. Para isso, alguns

consideram a quantidade de sacolas consumidas em certa região, enquanto outros autores levam em conta o número de itens ou volume que podem ser carregados.

Observa-se, na Tabela 8, que as sacolas plásticas de uso único de PEAD e PEBD são o principal foco da maioria dos estudos, que visam, de modo geral, analisar o desempenho ambiental entre sacolas de diferentes composições de forma que seja melhor entendido os impactos ambientais associados à substituição de material usado para a produção da mesma. No estudo de Joaquim (2013), o autor comparou os processos produtivos de três alternativas de sacolas: de PEAD virgem, mistura de PEAD/PEBD reciclado e de papel. A ACV foi feita sob abordagem “do berço-ao-portão” e foram analisados os impactos de acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ocupação de terra e aquecimento global. A partir do estudo, foi constatado que a sacola de papel apresenta menor desempenho ambiental em todas as categorias de impacto analisadas, enquanto que as sacolas de PEAD virgem e mistura de PEAD/PEBD apresentam um desempenho parecido, mas com a sacola de PEAD virgem tendo o desempenho ligeiramente melhor.

Anwar (2020) realizou um estudo de ACV, sob abordagem do berço-ao-túmulo, para comparar as sacolas de PEBD e as de papel. A partir disso, observou-se que as sacolas de supermercado de PEBD apresentaram efeitos mais adversos na maioria das categorias de impacto analisadas (potencial de aquecimento global, potencial de eutrofização, potencial de acidificação, depleção da camada de ozônio), com exceção de escassez de água. No entanto, os valores encontrados na análise foram bem próximos, onde o autor detalha que ao considerar fatores como a reutilização das sacolas, a sacola de PEBD seria mais vantajosa em termos de desempenho ambiental, pois pode ser reutilizada mais vezes em comparação com as sacolas de papel devido à sua durabilidade e capacidade de suportar peso.

Produtos que podem ser utilizados diversas vezes tendem a ter menores impactos ambientais se forem reutilizados com frequência suficiente, devido a quantidade de recursos e energia que são utilizados para a produção dos mesmos (GÓMEZ E ESCOBAR, 2021). No estudo de ACV de Ahamed (2020), o autor analisou sacolas de

uso único (PEAD, plástico biodegradável e papel kraft) e reutilizáveis (algodão e não tecido de polipropileno). A partir disso, ao se considerar 50 usos, foi constatado que a sacola de não tecido de polipropileno apresentou o menor impacto ambiental, seguido pela sacola de PEAD, onde o potencial de aquecimento global (excluindo carbono biogênico), em comparação a sacola de não tecido de polipropileno, foi 14, 81, 17 e 16 vezes maior para as sacolas de PEAD, papel kraft, algodão e biodegradável, respectivamente.

Tabela 8 - Referência de estudos sobre sacolas plásticas

AUTOR	MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CATEGORIAS DE IMPACTO	ANO
PITAWALA P., *et al*.	sacolas de papel e PEBD	quantidade de sacolas	Aquecimento global; Destruição da camada de ozônio; Radiação ionizante; Formação de ozônio: Saúde humana; Formação de ozônio: Ecossistemas terrestres; Formação de partículas finas; Acidificação terrestre; Eutrofização de água doce; Eutrofização marinha; Ecotoxicidade terrestre; Ecotoxicidade de água doce; Ecotoxicidade marinha; Toxicidade carcinogênica humana; Toxicidade humana não carcinogênica; Uso da terra; Escassez de recursos minerais; Escassez de recursos fósseis; Consumo de água.	2022
CIVANCIK-USLU *et al.*	sacolas de PEAD, PEBD, PP, papel e biodegradáveis	massa	Depleção de recursos abióticos; Potencial de acidificação; Potencial de aquecimento global; Potencial de eutrofização; Potencial fotoquímico de criação de ozônio	2019
AHAMED A., *et al.*	sacolas de PEAD, biodegradável, papel kraft, reutilizáveis de algodão e PP não tecido	quantidade de sacolas	Potencial de aquecimento global; Potencial de ecotoxicidade de água doce e aquática marinha; Potencial de ecotoxicidade terrestre; Potencial de toxicidade humana; Potencial de acidificação; Potencial de eutrofização e Depleção abiótica potencial (fóssil)	2020
KHOO, H. H., *et al.*	sacola biodegradável (PHA) e de PP	quantidade de sacolas	Potencial de aquecimento global; Acidificação e Formação fotoquímica de ozônio	2010

AUTOR	MATERIAL	UNIDADE FUNCIONAL	CATEGORIAS DE IMPACTO	ANO
QUEIROZ *et al.*	sacolas de PEBD, PEAD, PELBD, PEAD-APM	massa	Consumo de recursos naturais, Mudanças climáticas (efeito estufa); Acidificação; Eutrofização; Formação de fumaça fotoquímica; Toxicidade humana; Ecotoxicidade; Utilização de volume de aterro; Uso de terra.	2010
JOAQUIM, R. B.	sacola com mistura de PEAD e PEDB, PEAD e sacola de papel	quantidade de sacolas	Acidificação; Eutrofização; Toxicidade humana; Ocupação de terra; Aquecimento Global	2013
STAFFORD, W. *et al.*	sacola PEAD, biodegradável, PEAD com aditivo biodegradável, papel kraft e reutilizável: PEAD,PP e poliéster	volume	Aquecimento global; Depleção do ozônio estratosférico; Radiação ionizante; Formação de ozônio; Formação de particulado; Eutrofização de água doce; Eutrofização marinha; Toxicidade; Uso da terra; Escassez de recursos minerais; Escassez de recursos fósseis; Consumo de água	2022
SINGH, A. K., *et al.*	sacola de PEBD e de fibra natural (juta e cânhamo)	massa	Depleção de recursos abióticos; Ecotoxicidade terrestre; Oxidação fotoquímica; Acidificação; Eutrofização; Aquecimento global	2022
SAIBUATRONG W., *et al.*	sacos de lixo de PE, Bio-PE e PBAT	quantidade de sacolas	Mudanças climáticas; Acidificação e eutrofização, Ecotoxicidade; Combustíveis fósseis; Inorgânicos respiratórios	2017
ANWAR T.	sacolas de PEBD e papel	quantidade de sacolas	Potencial de aquecimento global; Potencial de eutrofização; Potencial de acidificação; Depleção da camada de ozônio; Escassez de água	2020

4. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada para elaboração deste trabalho consistiu nas seguintes etapas: i) levantamento bibliográfico; ii) aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida; iii) análise dos resultados.

A identificação de processos e conceitos importantes referentes às sacolas plásticas foi feita a partir de pesquisa bibliográfica, através da leitura de artigos, *sites*, livros, monografias, dissertações, entre outros. Utilizou-se a base de dados Scopus e Google Acadêmico para a busca de materiais. Além disso, foi realizada uma visita à fábrica de sacolas plásticas localizada no Núcleo Bandeirante-DF, onde foi informado que a sacola plástica é produzida com resina de PEAD oriunda do polo de Triunfo-RS. A escolha dessa fábrica se deu por questões de proximidade geográfica.

Para a aplicação da ACV, utilizou-se o *software* gratuito OpenLCA versão 1.11.0 com a base de dados *EcoInvent* 3.6 *cut-off*. A Avaliação do Ciclo de Vida no estudo dos processos ao longo do ciclo de vida das sacolas permite analisar os potenciais impactos ambientais inerentes ao produto, neste caso, as categorias de impacto analisadas são as mudanças climáticas e uso de recursos naturais através do método CML 2001.

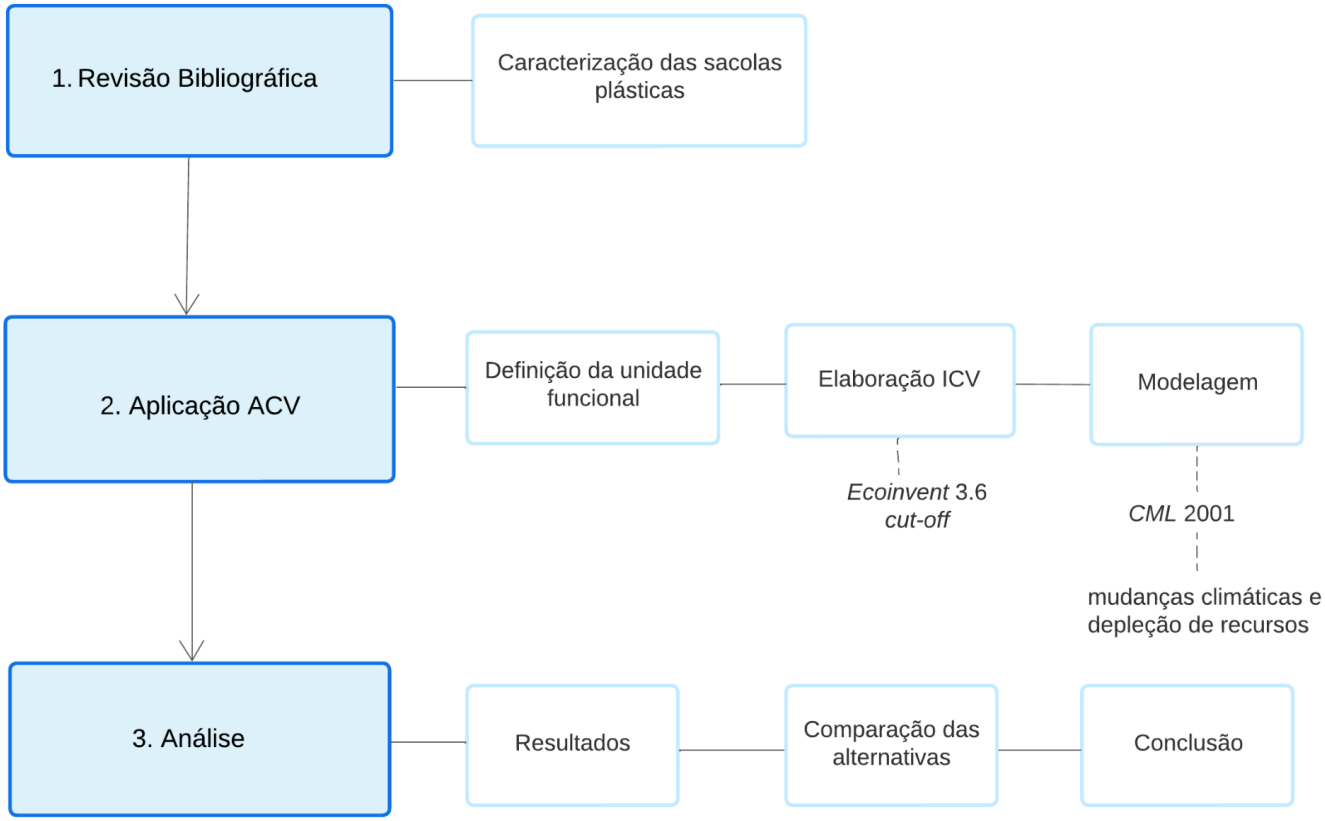


Figura 10 - Roteiro metodológico

4.1 APLICAÇÃO DA ACV

Este estudo de ACV visa avaliar os impactos ambientais nas categorias de mudanças climáticas e depleção de recursos abióticos referentes à fabricação de sacolas de PEAD e sacolas de bioplástico.

4.1.1 Definição da unidade funcional

A definição da unidade funcional (UF) é importante pois através dela é possível fazer a comparação entre diferentes cenários. No presente estudo, foi realizada a comparação entre dois tipos de sacolas que têm pesos distintos e demandam

diferentes quantidades de material (resina plástica) para sua produção. Desse modo, para a sacola de PEAD a UF foi definida como a “produção de 3,256 cm^3 de resina plástica”, onde o fluxo de referência é a “massa de material necessária para a produção de uma sacola de 3,1g”. Para a sacola com bioplástico, a UF definida foi “produção de 7,437cm^3 de resina plástica” e o fluxo de referência é a “massa de material necessária para a produção de uma sacola de 7,08g”

Após a modelagem, a análise para comparação entre as duas alternativas foi feita considerando a proporcionalidade da UF da sacola com bioplástico em relação à sacola de PEAD.

As características das sacolas com bioplástico e de PEAD são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características das sacolas plásticas analisadas

Características	**Sacola de PEAD**	**Sacola com bioplástico**
Dimensões (cm)	38 x 48	48 x 54
Massa da sacola (g)	3,1	7,08
Densidade (g/cm^3)	0,952	0,952
Composição por massa (PEAD:PE verde)	100:0	49:51
Volume de plástico (cm^3)	3,256	7,437
Capacidade nominal (kg)	5	7

As especificações das sacolas foram coletadas a partir das informações que são impressas no próprio produto, como ilustrado na Figura 11.

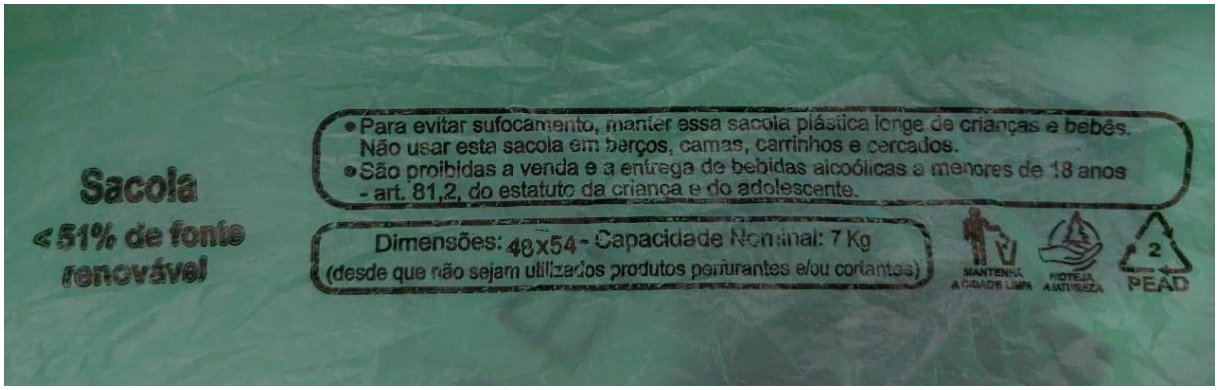


Figura 11 - Especificações da sacola plástica com resina verde (Fonte: autoria própria, 01/04/2023)

4.1.2 Sistema de produto

Na ACV, o sistema de produto é o conjunto de processos unitários. A abordagem utilizada para a ACV do presente trabalho é a de berço ao portão de fábrica, portanto o sistema é composto pelos processos unitários que vão desde a extração de petróleo e produção de cana-de-açúcar até a fabricação da sacola plástica.

- **Sistema da sacola plástica PEAD**

A sacola plástica PEAD é fabricada apenas com o polietileno originado do petróleo, portanto o sistema de produto (Figura 12) é composto por processos de extração de petróleo, obtenção da nafta, produção de eteno, produção de polietileno, fabricação da sacola e o transporte.

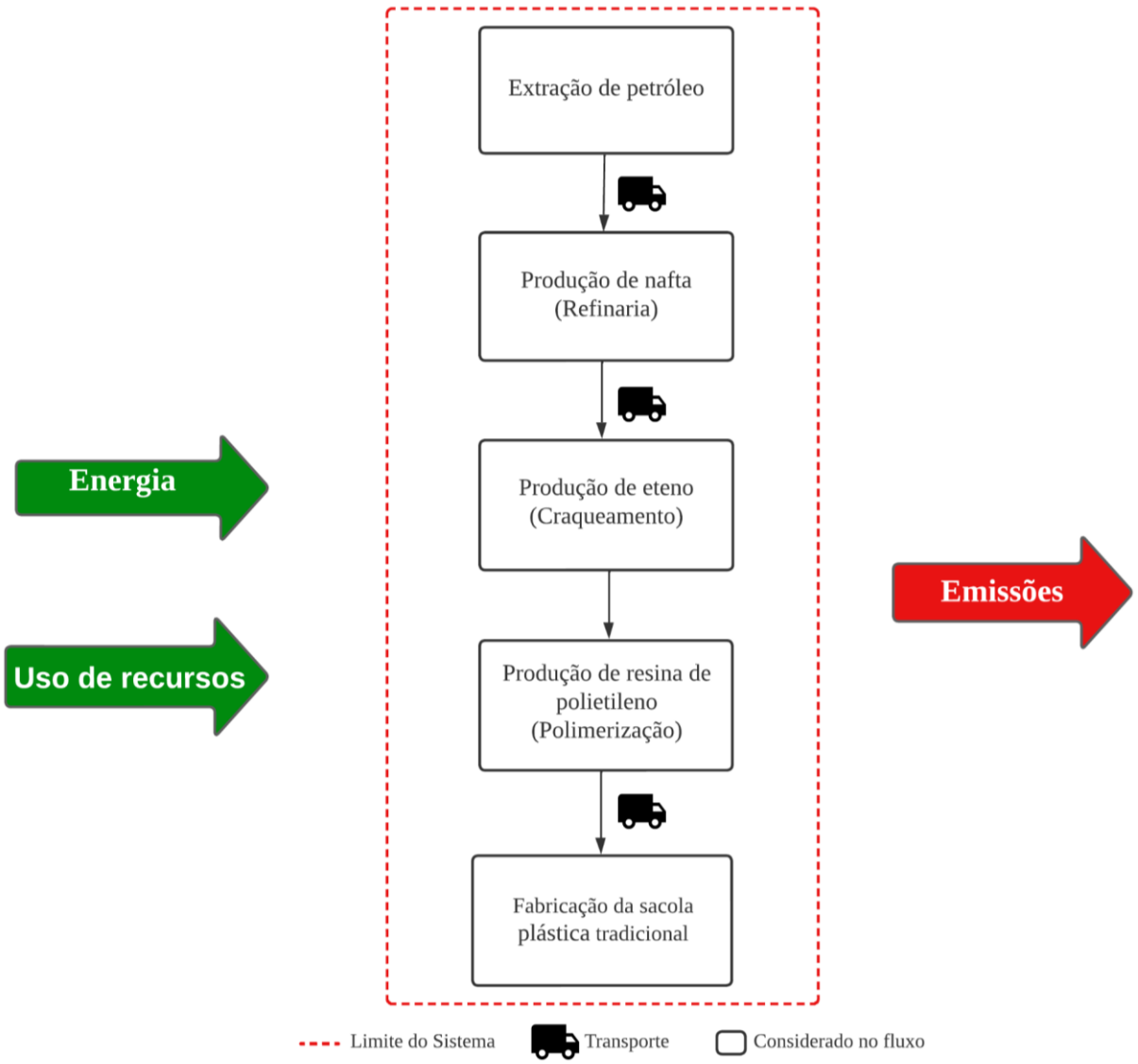


Figura 12 - Sistema de produto da sacola PEAD

A extração do petróleo se refere às atividades para a retirada dele do meio ambiente, sendo considerado também o transporte do mesmo até as refinarias. Na refinaria, são realizadas as operações necessárias para obter os derivados do petróleo cru, como a nafta. Em seguida, a nafta é encaminhada para o polo petroquímico de Triunfo-RS para a produção de petroquímicos básicos, no caso, o eteno. Através da polimerização é produzido o polietileno que depois é transportado para a fábrica de sacola plástica, onde as resinas de polietileno passam por processos de moldagem até ser obtido o produto final.

- **Sistema da sacola plástica de bioplástico**

Uma vez que a sacola de bioplástico é produzida por dois tipos de resinas de polietileno, é necessário considerar a obtenção da matéria-prima das duas. No entanto, conforme observado na Figura 13, os processos referentes à resina de polietileno petroquímico são iguais ao da sacola de PEAD, logo a descrição deles é a mesma, diferenciando-se nos que antecedem a produção do eteno.

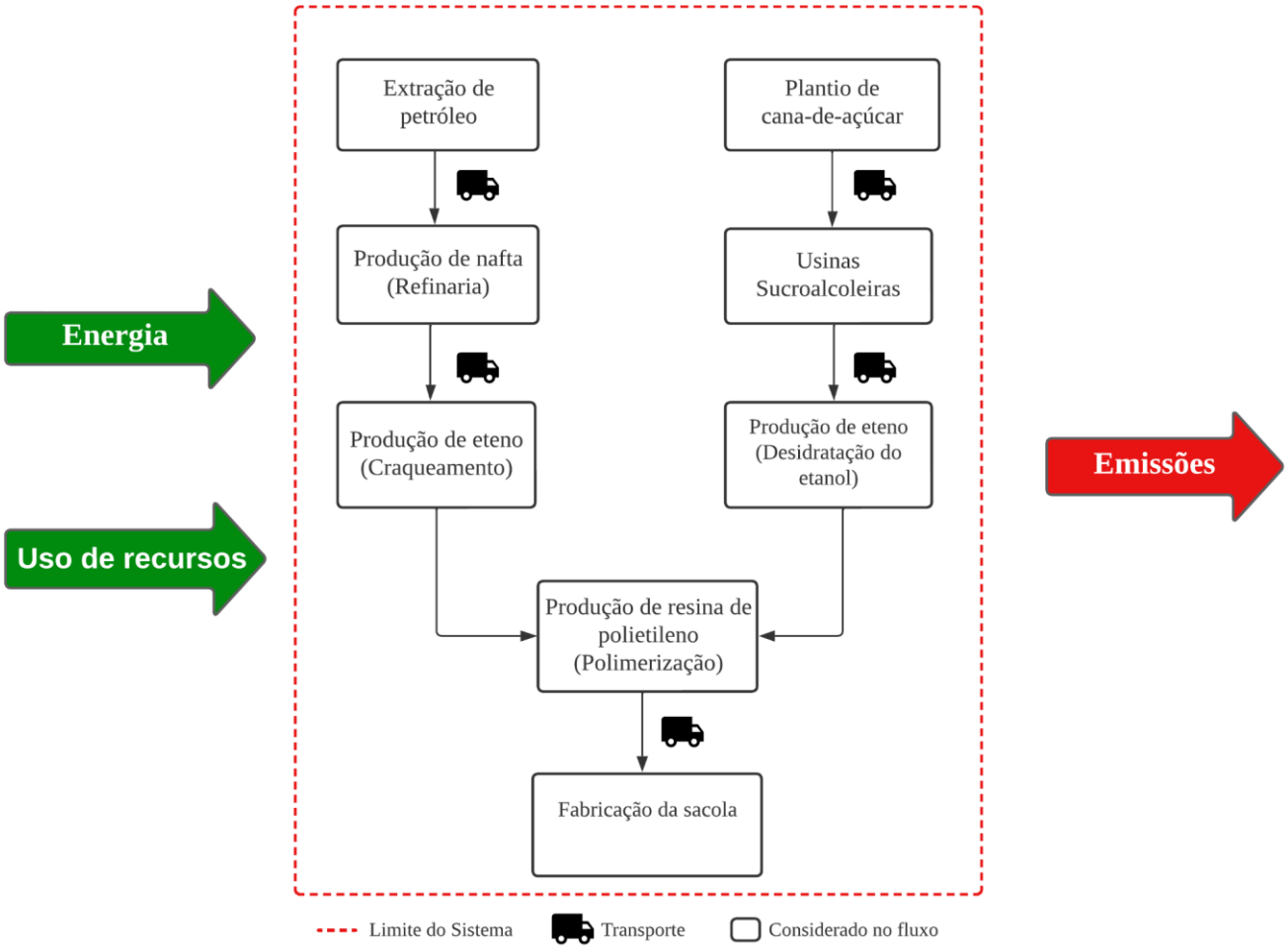


Figura 13 - Sistema de produto da sacola de bioplástico

4.2 INVENTÁRIO ACV

Todos os dados utilizados para quantificar as entradas em saídas do sistema são de fontes secundárias, sendo construído de dados da literatura e os fornecidos na base da *Ecoinvent 3.6 cut-off* Versão Educacional para países não membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCED). No modelo *cut-off* a responsabilidade pelos resíduos e encargos é colocada inteiramente sobre a atividade originária/de produção que gerou os mesmos (SANTOS, 2022). Destaca-se que se trata de uma base de dados internacional, logo muitos dados são referentes a países da Europa. No entanto, também há dados globais (referentes a vários países) e, em alguns casos, dados brasileiros. Portanto, foram feitas adaptações nos processos de modo que ficassem mais próximos do contexto brasileiro, sendo selecionados, sempre que disponíveis, *providers* (fornecedores) do Brasil.

O inventário na *Ecoinvent* referente a produção de etileno contém apenas fluxos elementares nos dados de entrada, ou seja, fluxos de matéria ou energia oriundos do meio ambiente que entram no sistema. Desse modo, não foi possível verificar a quantidade de recurso utilizado e nem fazer alteração dos fornecedores. Outro detalhe é que o processo do etileno conta com as etapas que precedem sua produção, ou seja, a extração de petróleo e obtenção de nafta, por conseguinte, os valores do mesmo foram superestimados, pois optou-se por incluir os processos da nafta e de petróleo no estudo para que fosse observada suas contribuições de forma individual e como eles influenciam nos impactos durante o processo produtivo da sacola plástica.

As distâncias percorridas nos transportes de materiais são apresentadas na Tabela 10. Conforme Moreira (2008) informa, a nafta utilizada no polo petroquímico de Triunfo-RS é fornecida pela refinaria REFAP, localizada em Canoas-RS, sendo transportada por meio de dutos subterrâneos até o local. E como detalhado por Hansen (2014), depois de extraído, o petróleo é transportado do Rio de Janeiro por navios até o Terminal Marítimo Almirantes Soares Dutra (TEDUT), localizado no município de Tramandaí e Osório, no Rio Grande do Sul. É feito o transporte marítimo

pois não há infraestrutura de oleodutos integrando os dois estados. Após isso, o petróleo é transferido pelo oleoduto Osório-Canoas (Oscan) até a REFAP. Para fins de modelagem, foi assumido que o petróleo é exclusivamente de origem nacional e a extração é *offshore*.

Além disso, para as resinas de PE verde foi considerado que a cana-de-açúcar tem origem em Morro Agudo (São Paulo), visto que o local conta com a maior concentração de plantação de cana do estado (NOVACANA, 2020). Já para o etanol, foi considerada a produção oriunda de São José do Rio Preto, pois é a cidade com maior produção de etanol de SP (SEADE, 2021).

Tabela 10 - Distâncias no transporte dos materiais

Material	**Origem**	**Destino**	**Distância**	**Transporte**
Petróleo	Rio de Janeiro	TEDUT	1.684 km	Navio
Petróleo	TEDUT	Canoas-RS	98 km	Oleoduto
Nafta	Canoas-RS	Triunfo-RS	66,2 km	Oleoduto
Cana-de-açúcar	Morro Agudo-SP	São José do Rio Preto-SP	159,5 km	Caminhão
Etanol	São José do Rio Preto-SP	Triunfo-RS	1.194,1 km	Trem
Resinas de polietileno	Triunfo-RS	Distrito Federal	2.165 km	Caminhão

Os fluxos e parâmetros utilizados para criar o *input* dos processos da sacola com bioplástico são apresentados nos Anexos A e B, e os da sacola de PEAD estão nos Anexos C e D. Os fluxos são caracterizados como *inputs* e *outputs* relacionados à unidade funcional definida para cada alternativa.

4.3 MODELAGEM DE ACV

Foi utilizado o método de avaliação de impacto CML 2001, desenvolvido pela Universidade de Leiden na Holanda, para a análise das seguintes categorias:

- Mudanças climáticas: O modelo desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define o potencial de aquecimento global (*global warming potentials* - GWP) de diferentes gases de efeito estufa, mensurando o quanto uma determinada massa de um gás de efeito estufa é capaz de reter calor na atmosfera em comparação a mesma massa de gás equivalente de CO_2 (cujo GWP é definido como 1). O GWP é calculado para um intervalo de tempo específico (BERICHTE, 2010). Neste estudo, os resultados para o GWP referem-se a um período de 100 anos.
- Depleção de recursos abióticos: É um indicador da depleção de recursos naturais não renováveis, onde é informado a proporção da extração de recursos em relação à reserva final do mesmo (BERICHTE, 2010). Esse impacto é mensurado por grama de antimônio equivalente (g Sbeq).

5. RESULTADOS

Na Tabela 11 é fornecido o resultado com os valores totais referentes às categorias de impacto analisados para cada alternativa, considerando a proporcionalidade dos resultados da sacola com bioplástico em relação à UF da sacola com PEAD. Nesse resultado, é contabilizada a contribuição dos processos da nafta e petróleo.

Tabela 11 - Resultado dos impactos ambientais de cada alternativa considerando todos os processos

Alternativa	**Mudanças climáticas (g CO_2eq)**	**Depleção de recursos (g Sbeq)**
Sacola de PEAD	12,42	0,36
Sacola biodegradável	13,64	0,31

Como já mencionado, no processo do eteno estão agregadas as etapas de extração de matéria-prima. Desse modo, na Tabela 12 é apresentado os resultados sem ser contabilizado, de modo individual, os impactos da nafta e do petróleo, pois estes já estão inclusos nos impactos do eteno. A partir disso, constata-se que a sacola com bioplástico apresentou maior impacto para a categoria de mudanças climáticas, enquanto que o impacto da sacola de PEAD foi maior para a depleção de recursos abióticos.

Tabela 12 - Resultado dos impactos ambientais de cada alternativa

Alternativa	Mudanças climáticas (g CO2eq)	Depleção de recursos (g Sbeq)
Sacola de PEAD	11,7	0,21
Sacola biodegradável	12,92	0,18

No estudo de Joaquim (2013), feito sob a abordagem “do berço-ao-portão”, o potencial de aquecimento global para sacolas plásticas de PEAD virgem foi estimado em 7,6 g CO_2eq. Já no de Pitawala *et al.* (2022), os autores analisaram as sacolas de PEBD desde a etapa de extração de matéria-prima até o fim de vida do produto, onde ao desconsiderar as contribuições da distribuição do produto e fim de vida, é estimado o impacto para o aquecimento global em 9,652 g CO_2eq.

As Figuras 14 e 15 mostram a comparação entre as duas sacolas em relação às etapas do processo produtivo para cada uma das categorias de impacto analisadas. Quanto à sacola com bioplástico, a extração de petróleo e plantação de cana-de-açúcar são englobados na mesma etapa, que é referente à obtenção de matéria-prima, a contribuição de petroquímicos básicos compreende a produção de eteno fóssil e eteno verde, e a etapa de produção da resina plástica para essa sacola se refere a produção de resina de PEAD e de PE verde.

Observa-se na Figura 14 que para os dois tipos de sacola os processos que ocorrem em polo petroquímico, ou seja, onde é produzido eteno e polietileno, são os que mais influenciam para as mudanças climáticas.

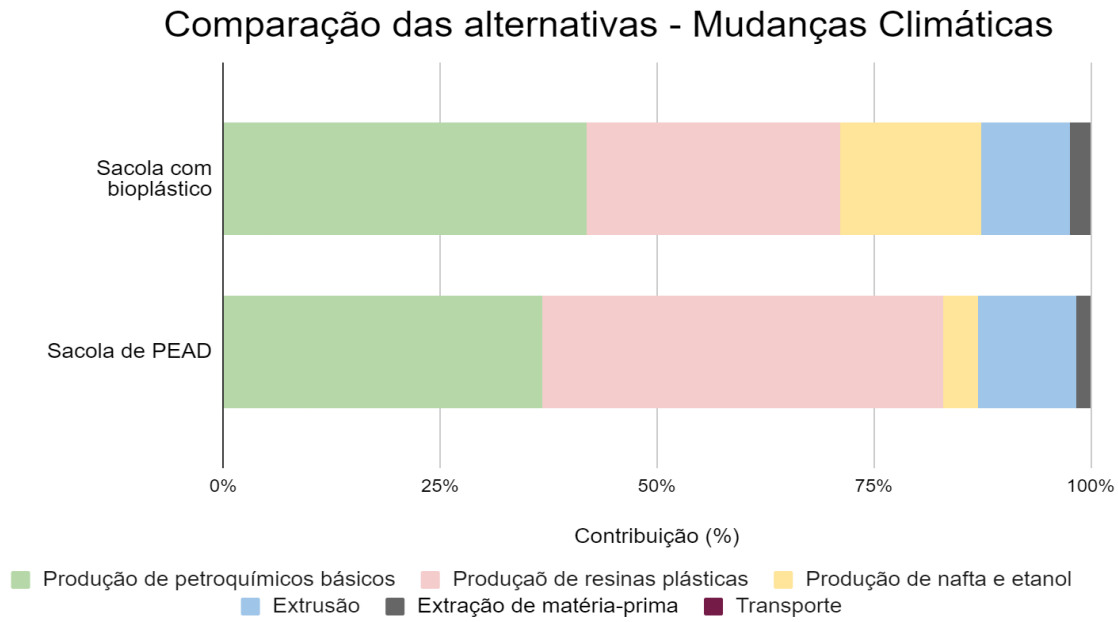


Figura 14 - Comparação em relação a depleção de mudanças climáticas

Na depleção de recursos abióticos as atividades de polo petroquímico são grandes contribuintes, mas constata-se também que a extração de matéria-prima e produção de nafta são responsáveis por uma quantidade significativa do impacto.

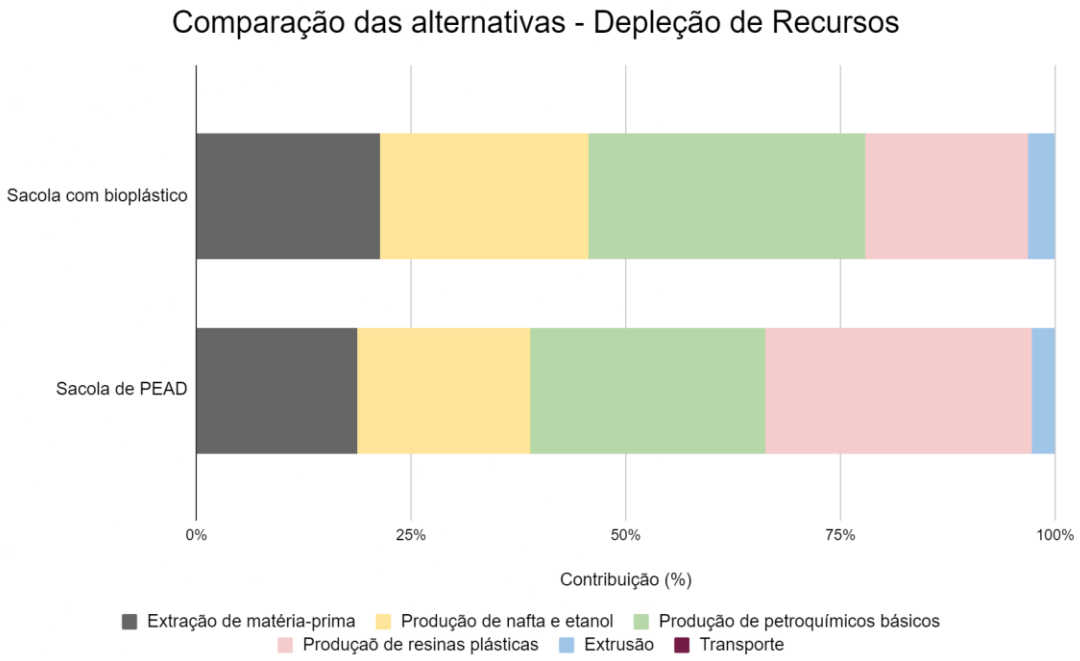


Figura 15 - Comparação em relação a depleção de recursos abióticos

Verifica-se, na Tabela 13, que a fabricação de resina plástica para a sacola de PEAD contribuiu com 46,29% dos impactos quanto às mudanças climáticas e com 30,91% para a depleção de recursos abióticos.

Tabela 13 - Contribuição relativa de cada processo da sacola de PEAD

	Contribuição (%)	
Processo	**Mudanças Climáticas**	**Depleção de Recursos**
Petróleo	1,69%	18,80%
Nafta	4,11%	20,13%
Eteno	36,71%	27,37%
Resina PEAD	46,29%	30,91%
Extrusão	11,19%	2,78%
Transporte	0,01%	0,003%

No processo produtivo da sacola com bioplástico, o eteno foi o principal contribuinte com 33,42% nas mudanças climáticas e 31,20% na depleção de recursos, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Contribuição relativa de cada processo da sacola com bioplástico

	Contribuição (%)	
Processo	**Mudanças Climáticas**	**Depleção de Recursos**
Petróleo	1,54%	21,27%
Plantação de cana	0,83%	0,10%
Nafta	3,72%	22,69%
Usina Sucroalcooleira	12,46%	1,54%
Eteno	33,42%	31,20%
Eteno verde	8,41%	1,04%
Resina PEAD	20,64%	17,02%
Resina PE verde	8,73%	1,97%
Extrusão	10,21%	3,18%
Transporte	0,02%	0,01%

5.1 Mudanças climáticas

A produção de etileno teve grande relevância para o impacto de mudanças climáticas nas duas alternativas de sacolas plásticas, conforme mostram as Figuras 16 e 17. Como já mencionado, na descrição do processo na base da *Ecoinvent*, é informado que nessa etapa há dados agregados dos processos desde a extração de matérias-primas até a entrega na planta, o que resulta em um valor superestimado.

Como apresentado na Figura 16, o processo unitário que apresenta maior contribuição negativa na categoria de mudanças climáticas é a produção de resinas de PEAD, juntamente com o eteno e a fabricação da sacola. Nas indústrias petroquímicas, utiliza-se sistemas de geração de vapor para a realização de processos, o que demanda alto consumo de energia.

Diante do resultado, é observado que os processos de obtenção de matéria-prima e fabricação da sacola são os contribuintes mais importantes para a categoria de mudanças climáticas, enquanto que o transporte não mostrou impacto significativo. Tal resultado vai ao encontro no que foi obtido por Pitawala *et al.* (2022), que em seu estudo de ACV observou que as principais contribuições nas mudanças climáticas durante o ciclo de vida de uma sacola plástica de PEBD é a matéria-prima, produção da sacola e fim de vida, enquanto que o transporte de matéria-prima apresentou pouca relevância.

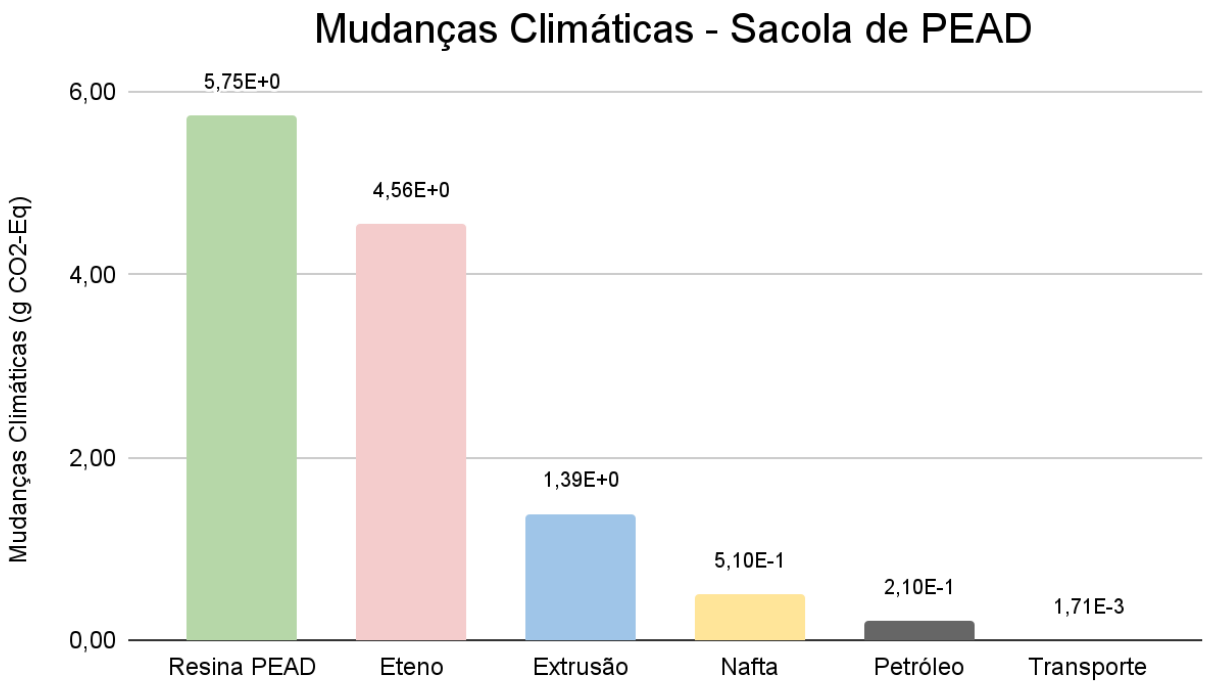


Figura 16 - Contribuição da sacola de PEAD para as mudanças climáticas

No processo produtivo da sacola com resina parcialmente renovável, as contribuições com maior relevância foram semelhantes à da alternativa com 100% PEAD. Vale ressaltar que os processos de polimerização e extrusão são os mesmos para ambas alternativas. Na extrusão, o alto consumo de energia e a baixa eficiência nos motores influenciam nos impactos.

A produção de etanol (usinas sucroalcooleiras) foi a terceira maior contribuinte no impacto ambiental analisado. A maior parte das usinas em São Paulo são autossuficientes no consumo de energia, onde a queima do bagaço de cana serve como matéria-prima para a geração de eletricidade que a usina utiliza (CARDOSO, 2011; ARIEDI *et al.,* 2013). A produção e distribuição de insumos utilizados nas usinas emitem poluentes, visto que são utilizados produtos químicos nos processos do setor, como durante a eliminação de impurezas do caldo. Quanto à plantação de cana-de-açúcar, a produção de ureia foi o principal contribuinte para o impacto.

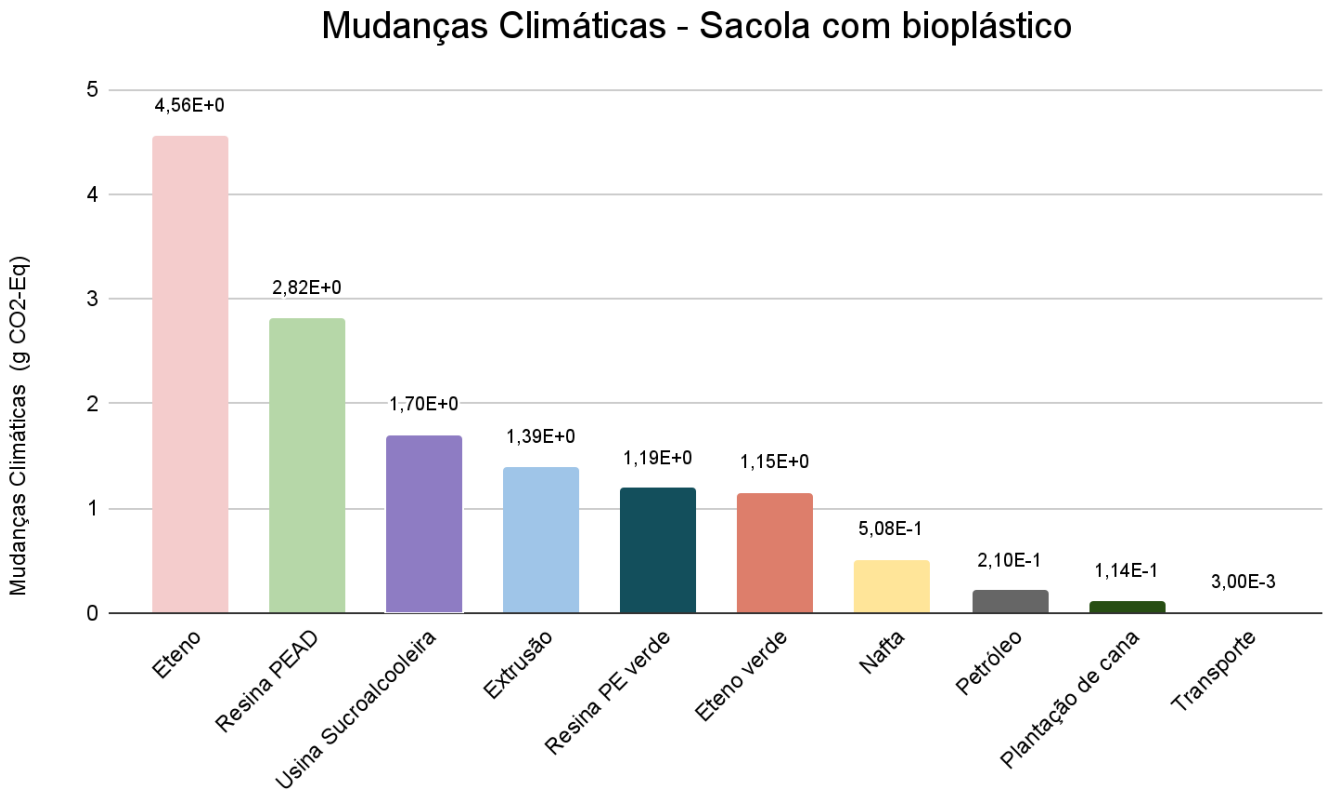


Figura 17 - Contribuição da sacola de bioplástico para as mudanças climáticas

5.2 Depleção de recursos abióticos

Na fabricação da sacola plástica com resina 100% de origem petroquímica, a produção de PEAD apresentou o maior impacto em relação a depleção de recursos

abióticos (Figura 18). A resina de PEAD é produzida a partir do eteno, que por sua vez é originado do petróleo, portanto a fase de extração de matéria-prima tem grande influência na categoria. Além de que a produção de PEAD demanda uso de energia, produtos químicos e água, como para trocas térmicas nos processos.

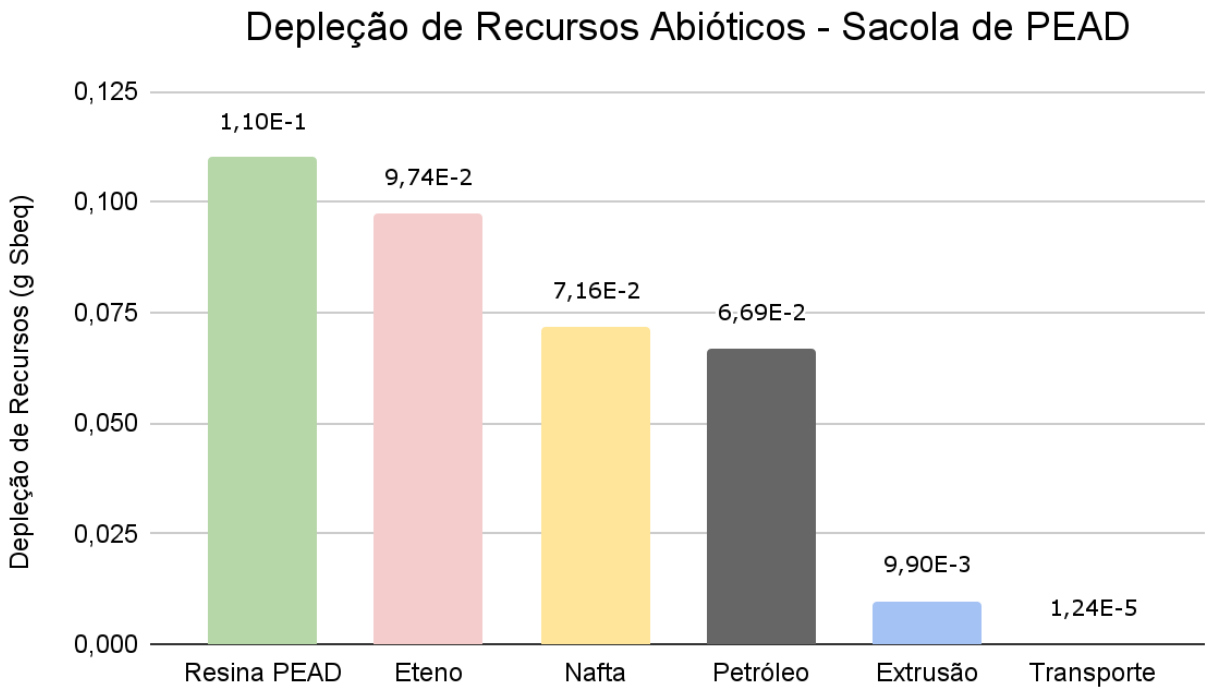


Figura 18 - Contribuição da sacola de PEAD para a depleção de recursos

Quanto à sacola biodegradável, é constatado que a principal contribuição negativa para a depleção de recursos abióticos é oriunda da matéria-prima para produzir a resina petroquímica, que corresponde a 49% da composição da sacola. No entanto, os processos relativos à produção da resina verde também apresentam impactos significativos (Figura 19). Na plantação de cana, os principais aspectos relacionados a essa categoria de impacto, é a produção e transporte de ureia, além do uso de diesel para os maquinários utilizados.

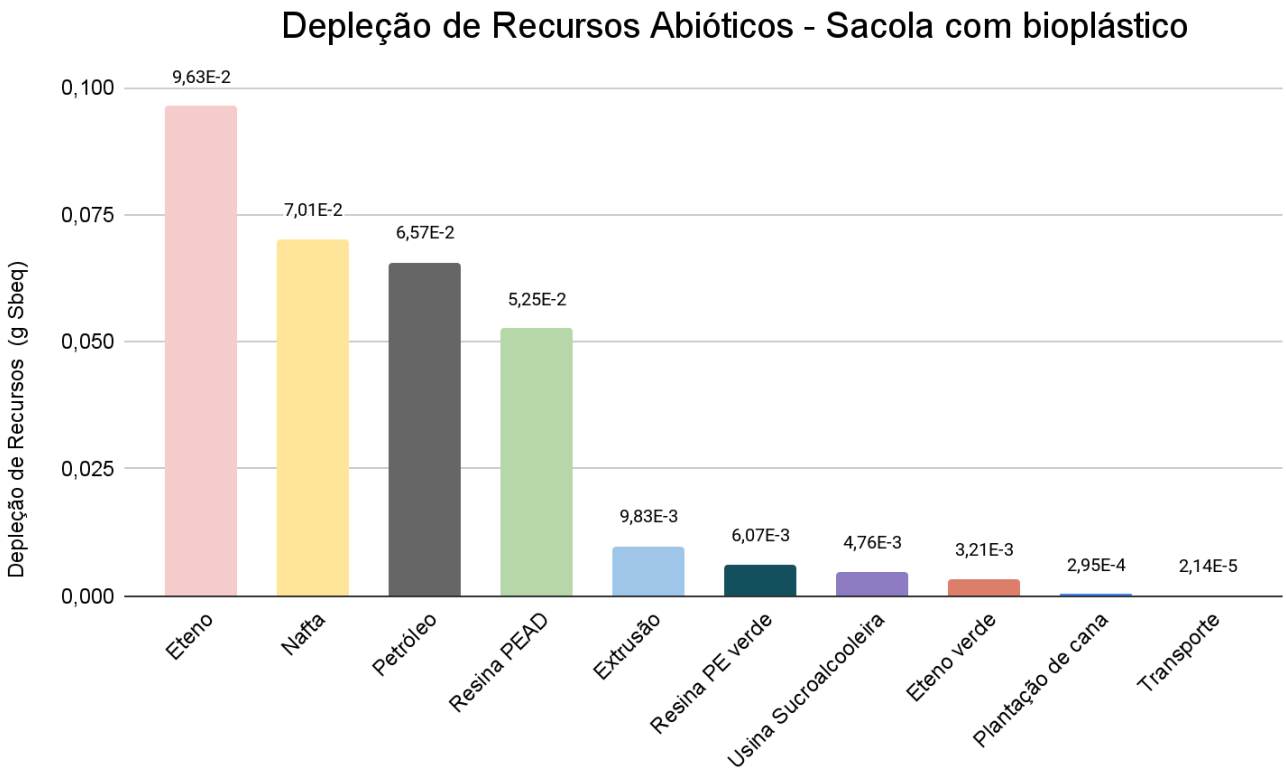


Figura 19 - Contribuição da sacola de bioplástico para a depleção de recursos

5.3 Discussão

Diante dos resultados apresentados para as duas categorias, constata-se que quase todos os processos relacionados à produção da resina de PE verde apresentam menores impactos que a resina PEAD. A indústria petroquímica é onde acontece grande parte da degradação ambiental, sendo que a indústria de primeira e segunda geração apresentaram grandes contribuições nas duas categorias de impacto analisadas. Os maiores impactos devido a fonte fóssil predominaram na depleção de recursos abióticos. Em relação às mudanças climáticas, os processos referentes à resina verde mostraram maior impacto do que as etapas de produção de nafta e extração de petróleo.

As atividades industriais emitem gases de efeito estufa quando queimam combustíveis para a obtenção de energia. No entanto, as indústrias também geram gases de efeito estufa devido a transformações físico-químicas que ocorrem durante a fabricação de materiais, cuja emissão varia dependendo dos insumos que alimentam os processos, o tipo de rota tecnológica utilizado na produção, os equipamentos, níveis de eficiência, entre outros (SEEG, 2022). Os principais gases contribuintes para as mudanças climáticas são o CO_2, CH_4, N_2O (UNEP, 2022). A partir do CO_2eq é possível comparar as emissões de gases que causam o efeito estufa. Ao ser feita a análise da emissão de gases de efeito estufa para cada um dos processos unitários constituintes dos sistemas de produto, constata-se que o CO_2 é o principal poluente em todos, conforme ilustrado nas Figuras 20 e 21.

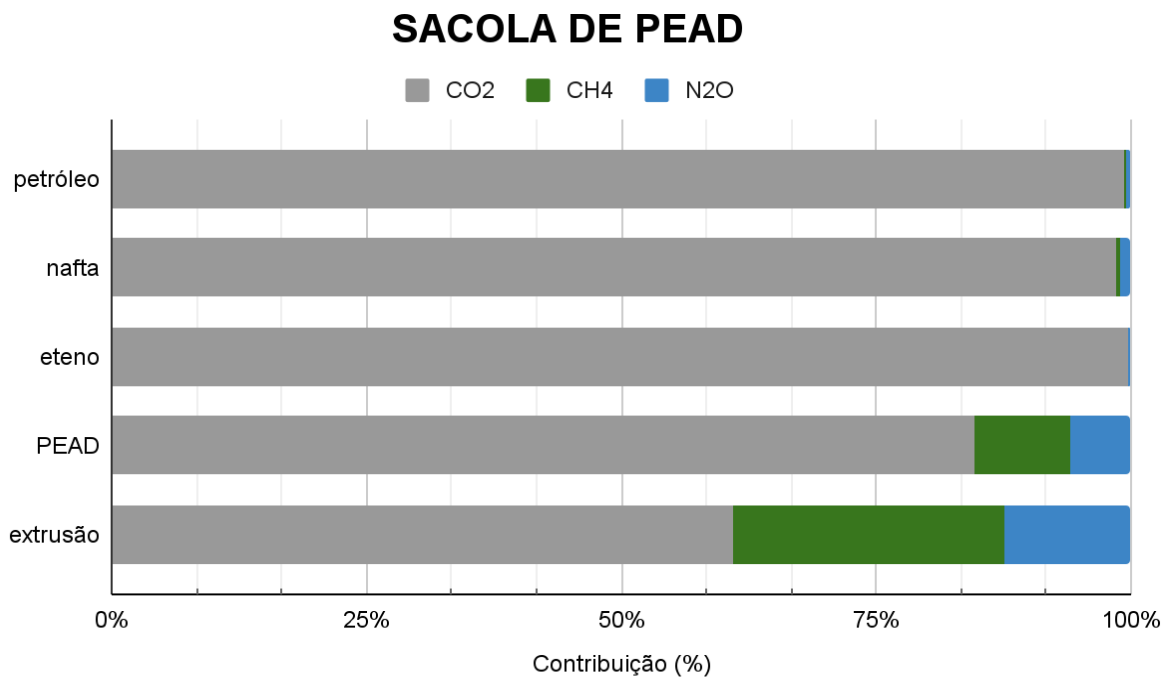


Figura 20 - Principais emissões de GEE contribuintes para a categoria de Mudanças Climáticas na produção da sacola de PEAD

A etapa de extrusão apresentou grande emissão de metano (CH_4), que tem o potencial de aquecimento global 28 vezes maior que o CO_2, e de N_2O, com potencial de aquecimento global em 265 (IPCC, 2014), ambas emissões foram influenciadas,

principalmente, pela questão da produção e fornecimento de eletricidade. Na produção de resina de polietileno, a emissão de N_2O teve contribuição da produção e fornecimento de eletricidade e de nitrogênio líquido, enquanto que o CH_4 está relacionado a produção de vapor, eletricidade e produtos químicos.

A matriz energética brasileira utilizada na *Ecoinvent* 3.6 é referente ao ano de 2015. As participações das tecnologias de eletricidade no mercado foram calculadas com base em estatísticas de 2015, conforme mencionado na descrição do conjunto de dados. Nesse ano, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 462,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO_2eq) (EPE, 2016). De acordo com o balanço energético nacional divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2015, 41,2% da matriz energética brasileira era oriunda de fontes renováveis, enquanto que 58,8% era de fontes não renováveis, sendo 37,7% de petróleo e derivados, 13,7% de gás natural e 5,9% de carvão mineral.

Entre 2012 e 2015, o consumo de energia elétrica via hidrelétricas diminuiu, havendo aumento na demanda do despacho térmico fóssil, principalmente via gás natural (SEEG 8, 2022). Os maiores impactos dos processos do ciclo de vida das sacolas vêm das fontes de petróleo, gás natural e carvão mineral. Apesar de o uso de energia obtida de carvão ser inferior que a das outras fontes, sua queima libera CO_2 na atmosfera, intensificando o efeito estufa. Outro detalhe é que no inventário da *Ecoinvent* em relação ao processamento de cana-de-açúcar para etanol, a energia excedente (quantidade de eletricidade gerada além das necessidades de consumo da própria usina) não é considerada.

A geração e o uso de energia resultam na liberação de metano tanto através da queima de combustíveis como por meio de emissões fugitivas, que são decorrentes das emissões dos gases liberados durante as atividades de extração e produção de carvão mineral, petróleo e gás natural, e também nas indústrias que utilizam gás natural no processo químico (SEEG, 2022). Além disso, o uso de hidrelétricas em

áreas tropicais está associada a emissões de gases de efeito estufa, onde há liberação de CO_2 devido a decomposição das árvores acima da lâmina d'água e emissão de CH_4 em razão da decomposição que ocorre no fundo do reservatório sob condições anaeróbicas (FEARNSIDE, 2008). De acordo com a estimativa realizada pelo SEEG (2022), reservatórios de usinas hidrelétricas são responsáveis pela emissão de 1,55 Mt/ano de CH_4.

O uso de fertilizantes, pesticidas e processamento químico referentes à produção de plástico verde também contribuem para as emissões. Ao adicionar nitrogênio no solo, através de fertilizantes nitrogenados, há o aumento de processos de nitrificação e desnitrificação, liberando como subproduto o N_2O à atmosfera (CLAROS *et al*., 2010). O setor de agropecuária é o maior emissor de metano do Brasil, onde a queima dos resíduos da cana-de-açúcar contribui para esse cenário com a emissão de 0,008 Mt CH_4. Esse método está associado principalmente às áreas onde ainda ocorre a colheita manual, no entanto vêm sendo adotadas práticas da colheita de forma mecanizada, de modo que diminua o uso do fogo (SEEG, 2022). No estado de São Paulo, destaca-se o elevado índice de colheita mecanizada, em que maquinários são empregados tanto no plantio quanto na colheita da cana-de-açúcar, resultando no consumo de combustível (HANSEN, 2013). De acordo com a base de dados *Ecoinvent*, é considerado que o cultivo de cana-de-açúcar nessa região apresenta uma taxa de colheita mecânica de 89% e um índice de plantio mecanizado de 64%.

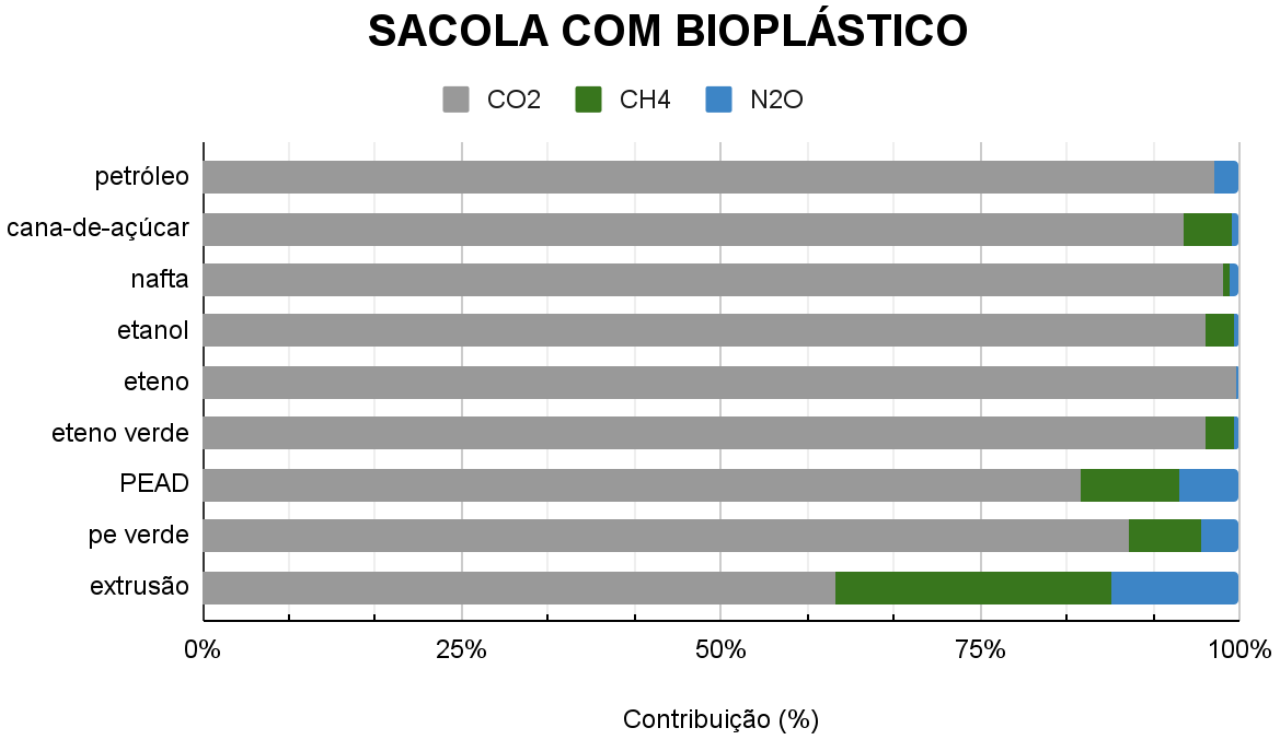


Figura 21 - Principais emissões de GEE contribuintes para a categoria de Mudanças Climáticas na produção da sacola de bioplástico

No estudo realizado por Hansen (2013), foi analisada, utilizando ACV, a influência da substituição do eteno de origem fóssil pelo eteno oriundo de cana-de-açúcar no desempenho ambiental do poliestireno, que é uma resina termoplástica. O estudo foi focado na produção de poliestireno cristal (GPPS) e de alto impacto (HIPS). O GPPS é obtido através da polimerização de estireno e o HIPS é produzido via polimerização de estireno e polibutadieno. Por sua vez, o estireno é derivado do eteno e benzeno, obtidos da nafta. A autora utilizou a abordagem do “berço-ao-portão” e método de avaliação *ReCiPe (H) - Midpoint*, onde foram consideradas 13 categorias de impacto. Para isso, foi analisada a produção de eteno petroquímico e eteno de cana-de-açúcar. Os poliestirenos produzidos a partir de fonte fóssil apresentaram maiores impactos nas categorias de depleção de recursos fósseis, depleção de ozônio e transformação de solo natural. Já os poliestirenos parcialmente renováveis (que contém matéria-prima de fonte fóssil e de cana-de-açúcar) foram piores em mudanças climáticas, uso de solo agricultável, depleção de água, entre outros.

E conforme mencionado por Suarez *et al*. (2023) no estudo sobre o impacto ambiental causado na produção do bioplástico feito a partir de cana-de-açúcar, o polietileno petroquímico é um dos maiores contribuintes para os gases de efeito estufa globais (GEE) entre os plásticos convencionais, onde a cada ano mais de 227 Mt CO_2eq estão relacionados à sua produção, representando aproximadamente 21% das emissões globais de GEE associadas à produção de plásticos. No resultado, o autor obteve que o PE de cana-de-açúcar, em comparação ao PE fóssil, apresentou menor contribuição para os gases de efeito estufa, onde é relatado que a mudança no uso da terra, especialmente o desmatamento para a expansão do cultivo, é um fator de suma importância a ser considerado e que influencia para se ter menor pegada de carbono ao fazer a comparação. É importante ressaltar que à medida que a produção desse bioplástico aumenta, mais terras para o cultivo de cana-de-açúcar serão necessárias.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de reduzir a problemática ambiental relacionada ao uso de plástico, devido ao consumo de recursos fósseis, alta durabilidade e acúmulo de resíduos no meio ambiente, novas tecnologias e matérias-primas começaram a ser exploradas para a produção de polímeros. Dentre elas, há as opções oxibiodegradáveis, biodegradáveis, compostáveis e bioplásticos, que muitas vezes são utilizados como sinônimos. Embora as fontes renováveis sejam amplamente consideradas como uma alternativa sustentável para substituir os polímeros derivados de petróleo, é necessário considerar que os produtos feitos a partir de biomassa requerem quantidades significativas de recursos e energia para sua produção.

A partir dos resultados alcançados no presente estudo, é verificado que a sacola de PEAD apresenta melhor resultado na categoria de impacto de mudanças climáticas, no entanto seu resultado foi pior quanto à depleção de recursos abióticos. Embora haja captura de CO_2 pela cana-de-açúcar durante sua plantação, o ciclo de vida da sacola com plástico verde gera aportes significativos para as mudanças climáticas. Os impactos da indústria petroquímica de primeira e segunda geração resultaram no aumento do impacto da sacola biodegradável, visto que foram os principais processos contribuintes nas duas categorias. No entanto, é mais viável economicamente produzir o produto via mistura das duas resinas pois a resina verde ainda é muito cara, sendo utilizado a resina fóssil para barateá-lo.

Vale ressaltar que os dados disponibilizados foram referentes ao ano de 2015, onde a disponibilidade de energia elétrica limpa (via hidrelétrica) foi comprometida devido a crise hídrica na região sudeste durante esse período. Com isso, o uso de fontes de energia tradicionais (como gás natural e carvão) para a geração de energia ao longo do estágio de produção do ciclo de vida colaboraram com os impactos de produção dos plásticos.

Ademais, destaca-se que os resultados obtidos estão sujeitos a limitações. A falta de disponibilidade e transparência dos dados da indústria de petroquímicos básicos, como o eteno, dificultam a elaboração do estudo e interpretação completa dos resultados. Além da falta de bancos de dados voltados ao contexto brasileiro, no presente estudo os dados para o inventário utilizado foram retirados do *Ecoinvent* 3.6, que foi lançado em 2019 e, por conseguinte, isso é um fator que pode limitar a atualidade das informações obtidas. Portanto, é recomendado que estudos futuros sejam conduzidos com dados mais recentes, a fim de atualizar as informações e verificar se as tendências identificadas permanecem consistentes. Além disso, é importante serem realizados estudos que analisem o produto até o fim do seu ciclo de vida, sob a abordagem do berço-ao-túmulo, de modo que sejam avaliados os diferentes cenários de descarte final das sacolas plásticas, pois possuem implicações ambientais distintas, e a análise abrangente permite uma compreensão mais clara dos impactos associados a cada uma delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **O Setor de Transformados Plásticos.** 2018. 28 páginas. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <http://file.abiplast.org.br/download/apresentacao_abiplast_seminario_frente_parlamentar.pdf>

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2020: A indústria de transformação e reciclagem de plástico no Brasil.** 2021. 108 páginas. Disponível em <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Processos de Transformação para Materiais Plásticos.** 2020. 28 páginas. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf>

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Reciclabilidade de materiais plásticos pós-consumo.** 2019. 9 páginas. Disponível em <https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha_reciclabilidade_abiplast_web.pdf>. Acesso em 12 de junho de 2023.

AGUIAR, G. O.; SOUZA, P. R. H.; SOARES, R. M. **Aplicação da Química Verde na Indústria Química como Desenvolvimento Sustentável com Ênfase na Produção do Plástico Verde.** Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana. Número.12. Páginas 41-58. 2020.

AHAMED, A., *et al.* "**Life Cycle Assessment of Plastic Grocery Bags and Their Alternatives in Cities with Confined Waste Management Structure**: A Singapore Case Study." Journal of Cleaner Production, vol. 278, Jan. 2021, p. 123956, 10.1016/j.jclepro.2020.123956.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombústiveis. **Dados estatísticos**. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

ANWAR, T. **Comparative study of environmental performance between low density polyethylene (LDPE) grocery bags and unbleached paper grocery bags via life cycle assessment using openLCA.** 71 páginas. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e de Recursos Naturais). Universidade Técnica de Brandemburgo, 2020.

ARIEDI JR, V. R.; MIRANDA, J. R. **Combustão de bagaço da cana-de-açúcar, autossuficiência energética e carbono neutro**. In: Workshop Agroenergia. VII. 2013. Ribeirão Preto - SP. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93215/1/ResumoAgroenergia-2013-003.pdf>. Acesso em 22 de junho de 2023.

ASBRA- Associação de Supermercados de Brasília. Informativo. **Sancionada a Lei que proíbe a distribuição ou venda de sacolas plásticas no Distrito Federal.** 12 de julho de 2019. Disponível em <https://www.asbra.com.br/sancionada-a-lei-que-proibe-a-distribuicao-ou-venda-de-sacolas-plasticas-no-distrito-federal/>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

ATIWESH, G.; MIKHAEL, A.; PARRISH, C. C.; BANOUB, J.; LE, T. A. T. **Environmental impact of bioplastic use**: A review. Heliyon. Volume 7, número 9. 9 páginas. Setembro de 2021.

BARBOSA, G.G. **Recursos naturais renováveis e produção de energia**. Revista Política Hoje - 1a edição. Vol. 23 - p. 193-215. Fevereiro de 2015. Disponível em <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politicahoje/article/download/3760/3064>. Acesso em 23 de julho de 2023.

BATISTA, A. R. **Obtenção do Polietileno a partir de Fontes Renováveis**. 2013. 84 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Química). Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena. 2013.

BBC. **O problema pouco conhecido do plástico biodegradável.** Reportagem. 9 de outubro de 2020. Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-52926914>. Acesso em 8 de julho de 2023.

BERTOLDI, C. F. **Distribuição espaço temporal, abundância e caracterização de microplásticos em águas superficiais do Lago Guaíba**. 2022. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2022.

BNDES. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro. BNDES e CGEE. 2008. 316 páginas. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/11009772/Bioetanol_da_cana-de-acucar_P.pdf/f6aa494f-6210-4f8e-a457-24452c373d5b?version=1.4>. Acesso em: 8 de maio de 2023.

BRASIL**. Projeto nº 00639/22, PROC. Nº 00639/22 - PLL 321/22**. Porto Alegre, 4 ago. 2022. Disponível em: <https://www.camarapoa.rs.gov.br/processos/138132>. Acesso em: 29 jul. 2023.

BRASKEM. **Avaliação do ciclo de vida.** 2017. Disponível em <https://www.braskem.com.br/acv>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

BRASKEM - **Avaliação do ciclo de vida do polietileno verde.** 2017. Disponível em <https://www.braskem.com.br/portal/imgreen/arquivos/ACV%20PE%20I'm%20green%20bio-based_FINAL%20PT.pdf>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

BRASKEM - **Biopolímero Polietileno Verde, inovação transformando plástico em sustentabilidade.** 2012. Disponível em <https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Catalogo_PE_Verde.pdf>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

BRASKEM. Notícia: **Braskem renova contratos de matéria-prima com Petrobras.** 2020. Disponível em <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-renova-contratos-de-materia-prima-com-petrobras>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

BRASKEM. **"O setor petroquímico"**. 2021. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.braskem-ri.com.br/a-companhia/o-setor-petroquimico/>

BRASKEM amplia planta de eteno verde em Triunfo. Jornal do Comércio. Notícia da edição impressa de 06 de dezembro de 2021. Disponível em

<https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/especiais/anuario_de_investimentos_2021/2021/12/823098-braskem.html>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

BRITO, Y. C.; MEDEIROS, M. K.; SOWEK, A. B.. **Biodegradação em solo simulado de Polietileno de alta densidade verde com farelo de Soja**. Brazilian Journal of Development, Curitiba. Volume 8, número 7. Páginas 458-474. Julho, 2022.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A.. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.6.2 (2011) 127-139. Campina Grande. Setembro, 2011.

CAIXETA, D. S.; CAIXETA, F. C; FILHO, F. C. M. M. **Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia. Vol 15, núm 27, páginas 19-34, junho de 2018. Disponível em <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/biol/nano.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

CARDOSO, T. F. **Cogeração de energia através do bagaço da cana-de-açúcar: revisão de literatura.** 2011. 22 páginas. Monografia (Mestrado em Gestão de Produção Sucroenergética). Universidade Federal de São Carlos. Sertãozinho, 2011.

CARVALHO, Arminda. **Contribuindo para a mitigação de gases de efeito estufa.** Entrevista concedida a Fernanda Clariano. Revista Canavieiros. Publicado online em 12/01/2022. Disponível em <https://www.revistacanavieiros.com.br/contribuindo-para-a-mitigacao-de-gases-de-efeito-estufa>. Acesso em 10 de junho de 2023.

CIVANCIK-USLU, D.; PUIG, R.; HAUSCHILD, M.; FULLANA-I-PALMER, P. **Life cycle assessment of carrier bags and development of a littering indicator.** Science of the Total Environmental. 2019. Volume 685, páginas 621-630. Outubro, 2019.

CLAROS, G. J. C., SPERLING, E. V. **Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais.** Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2010, v. 15, n. 3 [Acessado 19 Setembro 2022] , pp. 217-222. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/vnzpyCGfjV3nHZ9mJtgDrqx/?lang=pt#>. Epub 13 Dez 2010. ISSN 1809-4457.

COLTRO, L. et al. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão.** Campinas: CETEA/ITAL. 75 páginas. 2007.

CORREIO 24H. Informativo. **“Braskem fornecerá ao Grupo LEGO o Plástico Verde "I’m green™"”**. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/braskem-fornecera-ao-grupo-lego-o-plastico-verde-im-greentm/>

CUNHA, R. M. P. **Estudo de transporte de poluentes na região do polo petroquímico, localizado em Triunfo-RS**. 2002. 155 páginas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Junho de 2002.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 6864, de 21 de junho de 2021. **Dispõe sobre proibição da distribuição ou venda de sacolas plásticas.** Governo de Brasília. 2021. Disponível em <http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/a4313b0b9d6047c29dcc521ed26e233c/Lei_6864_21_06_2021.html>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

ECODEBATE. Comentário. **“Vários gases de efeito estufa são emitidos à medida que plásticos comuns se degradam no meio ambiente”**. 2018. Acessado em 31 de agosto de 2022. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2018/08/02/varios-gases-de-efeito-estufa-sao-emitidos-a-medida-que-plasticos-comuns-se-degradam-no-meio-ambiente/>

EPBR - Energia e política energética. **Análise do mercado de derivados no Brasil em 2020**, por Fernanda Delgado e Marcelo Gauto. Disponível em <https://epbr.com.br/analise-do-mercado-de-derivados-no-brasil-em-2020-por-fernanda-delgado-e-marcelo-gauto/>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base 2015**. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-126/topico-92/Relat%C3%B3rio_S%C3%ADntese_2016.pdf>. Acesso em 18 de julho de 2023.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. Nota técnica. **Panorama do refino e da petroquímica no Brasil.** Brasília. 2018. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-/topico-

412/NT%20Refino%20e%20Petroqu%C3%ADmica_2018.11.01.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Bioplastics - Facts and Figures.** 2022. Acessado em 31 de agosto de 2022. Disponível em: <https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf>

FEARNSIDE, Philip Martin. **Hidrelétricas como" fábricas de metano": o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa.** Oecologia Brasiliensis, v. 12, n. 1, p. 11, 2008.

FOLLMANN, A. J. *et al.* **Degradação de sacolas plásticas convencionais e oxibiodegradáveis.** Ciência e Natura, v. 39, n. 1, p. 186–192, 2017.

FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. 1a. edição. Bauru, São Paulo, Brasil: Canal 6. 2017.

GOMES, G.; DVORSAK, P.; HEIL, T. B. B. **Indústria petroquímica brasileira: situação atual e perspectivas.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21, p. 75-104, mar. 2005.

GÓMEZ, I. D. L; ESCOBAR, A. S.. **The dilemma of plastic bags and their substitutes: A review on LCA studies**. Sustainable Production and Consumption. Volume 30. Páginas 107-116. 2022

GREENDELTA: ACERO, A. P.; RODRÍGUEZ, C.; CIROTH, A. **LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories**. Greendelta GmbH, Berlin. 23 páginas. Volume 12, versão do software 1.5.4, 16 de março de 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Íntegra: **Modifica a Lei n° 5.502, de 15 de julho de 2009, que dispõe sobre a substituição e recolhimento de sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais localizados no estado do Rio de Janeiro.** Jusbrasil. 2018. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/legislacao/594011207/lei-8006-18-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 29 jul. 2023.

GURSEL, I. V. *et al.* **Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of bio-based and petrochemical PET bottles.** Science of the Total Environment, v. 793, p. 148642, 2021.

HANSEN, A. P. **Análise do efeito em termos de desempenho ambiental da substituição de eteno de origem fóssil por equivalente renovável na produção de poliestireno**. 2015. 229 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

HERMÍNIO, B. **Plástico e a promessa das embalagens verdes.** In: Jornalismo Júnior. Outubro de 2020. Disponível em <http://jornalismojunior.com.br/plastico-e-a-promessa-das-embalagens-verdes/>. Acesso em 20 de junho de 2023.

HOMBEECK, M. V.- **Comparação entre as rotas via Nafta e via Etanol para a produção de eteno - Análise de custos e emissões de CO2.** 2019. 96 páginas. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Estratégico). Instituto Alberto Luiz Coimbra da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2019.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3−32.

ISO (2001). NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, Brasil. 2001.

ISO (2009) NBR ISO 14044. **Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

JOAQUIM, R. B. **Análise do ciclo de vida: sacola plástica x sacola de papel.** 2013. 61 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

JONES, F. **"A promessa dos bioplásticos"**. Revista FAPESP. Edição 290. Abril de 2020. Disponível em <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-promessa-dos-bioplasticos/>. Acesso em 20 de maio de 2023.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. 1a. edição. São Paulo, Brasil: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista. 2013. 194 páginas.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. V. **What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050.** 2a. edição. 2018. Washington DC, Estados Unidos da América. Editora do Banco Mundial. 295 páginas.

KHOO, H. H.; TAN, R. B. H. & CHNG, K. W. L.. **Environmental impacts of conventional plastic and bio-based carrier bags.** Int J Life Cycle Assess 15, 284–293 (2010).

KISS, M. R.; KÖLLING, G. **A falsa metáfora dos plásticos biodegradáveis e verdes.** InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, v.13, no. 1 (2018) 54-59. São Paulo. Centro Universitário Senac.

LEONARDI, P. L. **Introdução de matérias-primas renováveis na matriz petroquímica do COMPERJ.** 2009. 97 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

LIRA JR, J. C. **A oferta de nafta para a indústria petroquímica nacional sob a ótica da dinâmica de sistemas.** 2016. 151 páginas. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Processos Petroquímicos e Biocombustíveis). Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

LOUREIRO, A. O. **Bioplásticos e plásticos biodegradáveis: revisão bibliográfica dos principais materiais e seus impactos ambientais.** 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, Brasil. 2021.

MAGRINI, ALESSANDRA; *et al.* **Impactos Ambientais Causados pelos plásticos: Uma discussão abrangente sobre os mitos e dados científicos.** Rio de Janeiro:E-papers, 2012.

MARTINS, C. T. *et al*. **Percepção ambiental sobre o uso de sacolas plásticas**. Anais do X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação–Universidade do Vale do Paraíba, p. 1-4, 2010.

MEIRELLES, L. B. **Caracterização da Nafta Petroquímica para a produção de Aromáticos.** In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ. 2014.

MIRANDA, C. S.; SEO, E. S. M. **Degradação de embalagens plásticas oxi-biodegradáveis e comuns**. HOLOS Environment. Volume 15, número 2. Páginas 171-179. 2015.

MODEFICA. Informativo. **Plástico verde da BRASKEM é rota fácil, porém pouco verde, para empresa vender mais plástico.** Publicada em 30 de agosto de 2021. Disponível em <https://www.modefica.com.br/plastico-verde-braskem-greenwashing/>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

MONTENEGRO, M.; VIANNA, M.; TELES, D. B. **Atlas do Plástico**: **Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. 1. ed. Rio de Janeiro. Fundação Heirich Böll. 64 páginas. 2020.

MOREIRA, F. S. **A integração refino petroquímica como alternativa para o atendimento do crescente mercado de petroquímicos.** 2008. Dissertação (Mestrado). Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

MORES, G. V. **INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DO PLÁSTICO VERDE.** Porto Alegre, 2013. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MUTHU, S. S.; Li, Y. **Assessment of environmental impact by grocery shopping bags: an eco-functional approach.** Singapore. Springer Science [digital]. 2014. Disponível em <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-4560-20-7>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

NASCIMENTO, K. R. F.; SANTOS, M. R. R.; Silva, J. A.. **Sacolas Biodegradáveis: Sustentabilidade e ascensão da produção**. Diversitas Journal, Volume 7, número 1. Páginas 171-189. 2022.

NOGUEIRA, V. M. **Impactos ambientais da produção e descarte de sacolas de diferentes materiais** I. 2019. 55 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais). Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos. 2019.

NOVACANA. **"Ranking traz as 100 cidades brasileiras que mais produziram cana-de-açúcar em 2019"**. Publicado em 20 de outubro de 2020. Disponível em

<https://www.novacana.com/noticias/ranking-100-cidades-brasileiras-mais-produziram-cana-de-acucar-2019-201020>. Acesso em 14 de maio de 2023.

NUNES, E. F. **Cana-de-açúcar: a produção de etanol e seus benefícios.** 2017. 29 páginas. Monografia apresentada no curso técnico em agronegócios do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo (IFSP). Barretos, 2017.

OBSERVATÓRIO DA CANA. Disponível em <https://observatoriodacana.com.br/> . Acesso em 19 de setembro de 2022.

OBSERVATÓRIO ECO - DIREITO AMBIENTAL. Íntegra: **Lei proíbe distribuição de sacolas plásticas em SP.** Jusbrasil, 2011. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/noticias/integra-lei-proibe-distribuicao-de-sacolas-plasticas-em-sp/2696885>. Acesso em: 29 jul. 2023.

OECD (2022), **Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options**. OECD Publishing, Paris. Disponível em <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. **Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no antropoceno.** Revista Virtual de Química. Online. Vol. 10, núm. 6, páginas 1968-1989. Dezembro de 2018. Disponível em <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v10n6a16.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil.** 2012. 104 páginas. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Instituto Alberto Luiz Coimbra da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

OLIVEIRA, T. C. L. *et al*. **Simulação e análise do processo de craqueamento térmico do etano**. Congresso Nacional De Engenharia De Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis, I, 2015, Campina Grande-PB. Anais CONEPETRO, Editora Realize, 2015.

PEREIRA, A. C.; BARDI, M. A. G. **Cenário da produção brasileira de plásticos biodegradáveis e oxibiodegradáveis: uma proposta de análise mercadológica**. 10 páginas. 2020.

PEREIRA, F. C. **Microplásticos no ambiente marinho: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos.** 2014. 145 páginas. Dissertação (Mestrado). Programa de mestrado de Ciências em Oceanografia. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, Brasil, 2014.

PETROBRÁS. **Pré-sal.** Informativo. 2022. Disponível em <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>. Acesso em 25 de julho de 2023.

PETROBRÁS. **Lista de Refinarias**. Disponível em <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-de-paulinia-replan.htm>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

PETTERLE, E. C. **Produção descentralizada de etanol visando suprir a planta de eteno verde da BRASKEM**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

PIEKARSKI, C. M., *et al.* **Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras.** Ponta Grossa, 2012. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PIOLI, Aline. Publicação em rede social. **Plástico Verde - Aspectos e processo**. Disponível em <https://www.linkedin.com/pulse/pl%C3%A1stico-verde-aspectos-e-processo-aline-pioli-da-silva/>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

PITAWALA, P, DANTHUREBANDARA, M; RAJAPAKSHA, L.. **Life cycle assessment of paper and plastic grocery bags used in Sri Lankan supermarkets**. International Journal of Environmental Science and Technology. University of Peradeniya, Peradeniya. 2022

POTENZA, R. F. et al. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil - 1970-2021**. Observatório do Clima. 54 páginas. 2023. Disponível em <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em 25 de junho de 2023.

QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. **Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida**. Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA/ITAL. Revista Polímeros, volume 20, número especial. Páginas 401-406. 2010.

REBITZER G. *et al.* **Life cycle assessment Part 1**: **Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications.** Environment International. Volume 30, número 5. Páginas 701-720. 2004.

REZENDE, V. E. *et al.* **Dispersão de microplásticos pelo ar em aterro sanitário**. In: SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. XIX. 2020. Disponível em <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento46/TrabalhosCompletosPDF/III-025.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

ROSSATO, I. F. **Inventário do ciclo de vida do processo de fabricação cerâmico.** Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí. III. 2009. Itajaí-SC. 13 páginas. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <https://ensus2009.paginas.ufsc.br/files/2015/09/INVENT%C3%81RIO-DO-CICLO-DE-VIDA-UNISUL.pdf>

ROYER, S-J.; FERRÓN, S.; WILSON, S. T.; KARL, D. M. **Production of methane and ethylene from plastic in the environment.** PLoS ONE. Hawaii. 13 páginas. 2018.

SAADE, M. R. M.; OLIVEIRA, B. M.; SILVA, M. G.; SILVA, V. G.. **Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na construção civil**: **discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 1, n. 6, p. 97–114, 2011. DOI: 10.20396/parc.v1i6.8634489. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634489. Acesso em: 19 set. 2022.

SAIBUATRONG, W.; CHEROENNET, N. *et al.* **Life cycle assessment focusing on the waste management of conventional and bio-based garbage bags**. Journal of Cleaner Production. Volume 158. Páginas 319-334. Agosto 2017.

SANTOS, A. S. F. *et al.* **Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição.** Polímeros. 2012. Volume 22, número 3. Acessado em 31 de agosto de 2022. Páginas. 228-237. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000036>.

SANTOS., C. L. (2022). **Avaliação da produção de garrafas PET de refrigerante e seu gerenciamento pós-consumo a partir do ciclo de vida no contexto do Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150p.

SCOTT, G. *et al.* **Oxo-biodegradable plastic.** Bioplastics Magazine, volume 6. Dezembro de 2009. Disponível em <http://degradable.fr/files/uploaded/biodeg/Bioplastics_Mag-GS_article(6).pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

SEADE - Sistema Estadual de Análise de Dados de São Paulo. **"São Paulo lidera a produção de etanol do país"**. Novembro de 2021. Disponível em <https://informa.seade.gov.br/sao-paulo-lidera-producao-de-etanol-no-pais/>. Acesso em 17 de maio de 2023.

SEEG - **Desafios e oportunidades para a redução das emissões de metano no Brasil.** Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/Estudo_Metano/ObsClima_SEEG2022_FINAL.pdf>. Acesso em 5 de julho de 2023.

SEEG 8 – **Análise das emissões brasileiras de Gases Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. Disponível em: <https://seegbr.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

AGÊNCIA SENADO. **"Sacola plástica é uma das maiores vilãs do meio ambiente"**. Publicação informativa. Abril de 2016. Disponível em <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/04/19/sacola-plastica-e-uma-das-maiores-vilas-do-meio-ambiente>. Acesso em 14 de maio de 2023.

SILVA, A. C. N. **Análise do ciclo de vida do resíduo sólido orgânico na usina de tratamento mecânico biológico da Ceilândia no Distrito Federal**. 2020. 127

páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade de Brasília. Brasília. 2020.

SILVA, F. P.; SILVA, D.P.S.; ESPÍNDOLA, G. L.; DIONÍZIO, T. P.; SILVA, B. J. B. **Prospecção e Proposição de Roadmap Tecnológico Para a Produção de Polietileno Verde**. Revista Virtual de Química. Vol 14, número 4. Páginas 827-839. 2020.

SILVA, M. C. **Polímeros biodegradáveis: tipos, propriedades e aplicações**. 2013. 40 páginas. Monografia (Graduação em Tecnologia de Polímeros). Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro. 2013.

SILVA, M. A. S.; Griebeler, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.11, n.1, p.108–114, 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vxTJ6yw3YP7bsCx7qC3Qcdj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 6 de julho de 2023.

SILVA, M. F. O. *et al.* **A indústria de transformação de plástico e seu desempenho recente**. 2004. Revista Química Setorial, vol. 8, páginas 131-172.

SILVA, N. F. et al. **Fertirrigação em cana-de-açúcar.** Revista "Cultivar grandes culturas". Edição 220. Setembro de 2017. Disponível em <https://revistacultivar.com.br/artigos/fertirrigacao-em-cana-de-acucar>. Acesso em 14 de maio de 2023.

SIMAN FILHO, A. J.; SANFELICE, R. C. **Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis.** 2019. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, vol. 3, núm. 2, páginas 131–148. Disponível em <https://doi.org/10.18554/rbcti.v3i2.3347>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

SINGH, Arvind Kumar et al., **Jute and kenaf carrier bags: an eco-friendly alternative to plastic bags in India.** Environmental Science and Pollution Research, v. 30, n. 22, p. 61904-61912, 2023.

SUAREZ, A., Ford, E., VENDITTI, R., KELLEY, S., SALONI, D., & GONZALEZ, R. (2023). **Is sugarcane-based polyethylene a good alternative to fight climate change?**. *Journal of Cleaner Production*, *395*, 136432.

STEINMETZ, Zacharias *et al*. **Plastic mulching in agriculture**. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? Science of the Total Environment, v. 550, p. 690-705, abr. 2016.

TEIXEIRA, M.; CIRINO, C.; LINO, D. **A indústria de transformados plásticos**. 1. ed. São Paulo. Sindicato dos Químicos de São Paulo. 108 páginas. 2017

TESSAROLLI, F. G. C. **Análise da indústria petroquímica brasileira utilizando o modelo das cinco forças de Porter**. Revista Produção e Engenharia, vol. 9, número 1, páginas 712-727. Junho de 2019. Disponível em <https://periodicos.ufjf.br/index.php/producaoeengenharia/article/view/28754/19659%20pag%2024>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

UNEP (2011). **Global guidance principles for life cycle assessment databases: a basis for greener processes and products.** Life Cycle Initiative of the United Nations Environment Programme. Paris. UNEP. 160 páginas. 2011.

UNEP (2020). EKVALL, T.; LIPTOW, C.; MILIUTENKO, S. **Single-use plastic bags and their alternatives:** recommendations from life cycle assessments. Life Cycle Initiative of the United Nations Environment Programme. Paris. UNEP. 76 páginas. 2020

UNEP - United Nations Environment Programme. **"Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?"**. Publicação informativa. Janeiro de 2022. Disponível em <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>. Acesso em 12 de junho de 2023.

UNIVASF - Universidade Federal do Vale do São Francisco. Informativo. **"Reciclagem de plásticos: como se dá e no que se transformam?"**. Publicado em 8 de outubro de 2018. Disponível em <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/reciclagem-de-plasticos-como-se-da-e-no-que-se-transformam>. Acesso em 18 de junho de 2023.

U.S. EPA. **LIFE CYCLE ASSESSMENT: INVENTORY GUIDELINES AND PRINCIPLES.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/SR-92/245, 1993. Disponível em

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30003W9K.PDF?Dockey=30003W9K.PDF>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

USP (2019) Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena - BRASKEM - **O setor petroquímico.** Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4566001/mod_resource/content/1/Braskem%20e%20Setor%20Petroqu%C3%ADmico.pdf> Acesso em 4 de setembro de 2022.

VIANNA, M. B. **Sacolas plásticas: aspectos controversos de seu uso e iniciativas** Brasília. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. 2010. Disponível em <https://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/4686>. Acesso em 4 de setembro de 2022.

WWF. Informativo. **"Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico."** 2019. Acesso em 31 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>.

WWF. Relatório 2019. **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização.** Suíça. 50 páginas. 2019.

APÊNDICE A – MODELAGEM NO OPENLCA

Na Figura A.1 é apresentado os *inputs* e *outputs* utilizados no sistema de produto da sacola com bioplástico.

Inputs/Outputs: sacola pe verde

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs...	Unce...	Avoided ...	Provider	Data quality...	Description
ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation (copy)	0PF2 - PE VERDE	1.00000	kg		none		sugarcane processing, traditional auto...		
ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation (copy)	0PF2 - PE VERDE	1.00000	kg		none		dewatering of ethanol from biomass, fr...		
ethylene, average (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		ethylene production, average | ethylen...		
naphtha (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		naphtha production, petroleum refiner...		
pe verde - extrusion, plastic film (copy) (copy)	0PF2 - PE VERDE	1.00000	kg		none		sacola biod - extrusion, plastic film | ex...		
pe verde - polyethylene, high density, granulate (copy) (copy)	0PF2 - PE VERDE	0.51000	kg		none		pe verde - polyethylene production, hi...		
petroleum (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		petroleum and gas production, off-sho...		
polyethylene, high density, granulate (copy)	0PF2 - PEAD	0.49000	kg		none		polyethylene production, high density, ...		
sugarcane (copy)	0PF2 - PE VERDE	1.00000	kg		none		sugarcane production | sugarcane | Cut...		
transport, freight train (copy)	0PF2 - PE VERDE	P3*D3	t*km		none		transport, freight train, diesel | transpor...		etanol (usina) para o pólo do Triu...
transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 (copy)	0PF2 - PE VERDE	P1*D1	t*km		none		transport, freight, lorry >32 metric ton, ...		fazenda de cana até usina sucroa...
transport, freight, lorry, unspecified (copy)	0PF2 - PEAD	D2*P2	t*km		none		transport, freight, lorry, all sizes, EURO4...		resinas do RS até DF
transport, freight, sea, tanker for petroleum (copy)	0PF2 - PEAD	D5*P5	t*km		none		transport, freight, sea, tanker for petrol...		transporte petroleo (RJ> TEDUT)
transport, pipeline, onshore, petroleum (copy)	0PF2 - PEAD	D6*P6	t*km		none		transport, pipeline, onshore, petroleum...		transporte petroleo (TEDUT> REF...
transport, pipeline, onshore, petroleum (copy)	0PF2 - PEAD	D4*P4	t*km		none		transport, pipeline, onshore, petroleum...		transporte de nafta

Outputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
sacola pe verde	**0PF2 - PE VERDE**	**1.00000**	**m3**		**none**				

Figura A.1 - Processo da sacola com bioplástico

Os parâmetros utilizados referentes ao transporte de material são apresentados na Figura A.2.

P Parameters: sacola pe verde

▸ Global parameters

▾ Input parameters

Name	Value	Uncertainty	Description
D1	159.5	none	plantação até usina (Morro Agudo até São José do Rio Preto)
D2	2165.0	none	distância de Triunfo até DF
D3	1194.1	none	distância de SP a RS
D4	66.2	none	distância Canoas a TRiunfo
D5	1684.0	none	distância de RJ a RS
D6	98.0	none	petróleo transportado até refinaria (TEDUT>RS (REFAP)
P1	1.2043772E-5	none	ton de cana transportada
P2	2.83E-6	none	ton de resina PE verde transportada
P3	1.4426064E-6	none	ton de etanol transportado de SP para RS
P4	3.765362994E-7	none	ton de nafta transportada
P5	4.006233264E-7	none	ton de petróleo transportado
P6	4.006233264E-7	none	ton de petróleo transportado

Figura A.2 - Parâmetros utilizados para o cálculo do transporte da sacola com bioplástico

Os *inputs* e *outputs* utilizados para o sistema de produto da sacola de PEAD é mostrado na Figura A.3.

Inputs/Outputs: sacola PEAD (novo)

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit	Cost...	Uncertainty	Avoid...	Provider	Data...	Description
ethylene, average (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		ethylene production, average | ethylene, average | Cutoff, U (copy) - BR		
extrusion, plastic film (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		extrusion, plastic film | extrusion, plastic film | Cutoff, U (copy) - BR		
naphtha (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		naphtha production, petroleum refinery operation | naphtha | Cutoff, ...		
petroleum (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		petroleum and gas production, off-shore | petroleum | Cutoff, U (copy...		
polyethylene, high density, granulate (copy)	0PF2 - PEAD	1.00000	kg		none		polyethylene production, high density, granulate | polyethylene, high ...		
transport, freight, lorry, unspecified (copy)	0PF2 - PEAD	D1*P1	t*km		none		transport, freight, lorry, all sizes, EURO4 to generic market for transport...		transporte de resinas - (RS>DF)
transport, freight, sea, tanker for petroleum...	0PF2 - PEAD	D4*P4	t*km		none		transport, freight, sea, tanker for petroleum | transport, freight, sea, tan...		RJ>TEDUT
transport, pipeline, onshore, petroleum (co...	0PF2 - PEAD	D3*P3	t*km		none		transport, pipeline, onshore, petroleum | transport, pipeline, onshore, ...		nafta transportada (TEDUT>REFAP)
transport, pipeline, onshore, petroleum (co...	0PF2 - PEAD	D2*P2	t*km		none		transport, pipeline, onshore, petroleum | transport, pipeline, onshore, ...		transporte de petroleo (TEDUT a REFAP)

Outputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenu...	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
sacola plastica	**0PF2 - PEAD**	**1.00000**	**m3**		**none**				

Figura A.3 - Processo da sacola de PEAD

Quanto ao transporte de material da sacola de PEAD, os parâmetros utilizados são apresentados na Figura A.4.

P Parameters: sacola PEAD (novo)

▸ Global parameters

▾ Input parameters

Name	Value	Uncertainty	Description
D1	2165.0	none	distância de RS até DF
D2	98.0	none	petróleo transp até refinaria (TEDUT>RS (REFAP)
D3	66.2	none	transp de nafta para pólo petroquímico (Canoas-Triunfo)
D4	1684.0	none	petroleo transp (RJ>TEDUT)
P1	2.1538915E-6	none	ton de resina transportada
P2	6.19669174E-7	none	ton de petroleo transp
P3	5.824122616E-7	none	ton de nafta transportada
P4	6.19669174E-7	none	ton de petroleo transp

Figura A.4 - Parâmetros utilizados para o cálculo do transporte da sacola de PEAD