



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MARIA EDUARDA FERNANDES MOTA

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA AVALIAÇÃO DE VIA DE
REAPROVEITAMENTO PÓS CONSUMO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE**

Recife
2023

MARIA EDUARDA FERNANDES MOTA

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA AVALIAÇÃO DE VIA DE
REAPROVEITAMENTO PÓS CONSUMO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador (a): Felipe Pedro da Costa Gomes

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Mota, Maria Eduarda Fernandes.

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA AVALIAÇÃO DE VIA DE
REAPROVEITAMENTO PÓS CONSUMO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE / Maria Eduarda Fernandes Mota. -
Recife, 2023.

54 : il., tab.

Orientador(a): Felipe Pedro da Costa Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -
Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Análise de Ciclo de Vida.
 2. Polietileno.
 3. Reaproveitamento Químico.
 4. Sustentabilidade.
 5. Sacolas Plásticas.
- I. Gomes, Felipe Pedro da Costa.
(Orientação). II. Título.

MARIA EDUARDA FERNANDES MOTA

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA PARA AVALIAÇÃO DE VIA DE
REAPROVEITAMENTO PÓS CONSUMO DE SACOLAS PLÁSTICAS DE
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Aprovado em: 27/04/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Felipe Pedro da Costa Gomes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Demóstenes de Sobral
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Jorge Vinicius Fernandes Lima Cavalcanti
Universidade Federal de Pernambuco

À minha amada mãe, exemplo de força e resiliência, a qual amarei de janeiro a janeiro até o mundo acabar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado forças e sabedoria nos momentos difíceis e por ter me dado persistência quando pensei que não ia conseguir dar mais um passo. Sou grata a ti Senhor por todas as bençãos que tens me dado.

À minha família, especialmente a minha amada mãe Maria das Graças que nunca desistiu de mim e foi a melhor mãe que eu poderia ter, nós conseguimos, mãe!

Agradeço aos meus irmãos Enos e Susana por estarem ao meu lado.

Agradeço à minha avó Berenice por todas as orações e apoio quando eu precisei.

Agradeço ao meu tio Ricardo que sempre acreditou no poder da educação, sei que de onde estiver está zelando por todos nós.

Aos meus amigos e colegas de curso por todo companheirismo, risadas e apoio em todos os momentos, em especial à Ana Carolina, Angela e Éven que trilharam comigo todos os percalços ao longo do curso.

E, por fim, agradeço a todos os meus professores por todos os conhecimentos transmitidos e a imensurável dedicação. Obrigada Prof. Dr. Demóstenes Sobral, Prof. Dr. Jorge Vinicius, Profa. Dra. Ana Paula Lima, Profa. Dra Maria de Los Angeles e ao meu orientador Prof. Dr. Felipe Pedro pela paciência e apoio durante minha jornada na UFPE.

Guardo todos em meu coração. Muito obrigada!

“O Senhor é a minha força e o meu escudo; nele o meu coração confia, e dele recebo ajuda. Meu coração exulta de alegria, e com o meu cântico lhe darei graças”

(SALMOS 28:7).

RESUMO

O tempo de vida útil de uma sacola plástica na mão do consumidor é bastante curto. Ao realizar uma compra, o cliente utiliza a sacola para transportar seus produtos e a descarta brevemente. Neste trabalho foram avaliados os impactos ambientais de uma nova alternativa de reaproveitamento químico pós consumo das sacolas plásticas de polietileno de baixa densidade para produção de cera-base. Para isto, dentre as ferramentas que podem avaliar os efeitos da cadeia produtiva e de consumo de materiais plásticos destaca-se a Avaliação de Ciclo de Vida. O software utilizado no desenvolvimento desse estudo foi o OpenLCA, que permite a inserção de dados obtidos de fontes de dados previamente existentes das quais, nesse estudo, utilizou-se a base de dados secundária advindos da biblioteca Environmental Footprints. Os resultados obtidos a produção tradicional das sacolas a produção dos grânulos de PEBD apresentaram o maior nível de impacto tanto na emissão de gases do efeito estufa como no consumo de recursos ambientais. A produção da cera-base apresentou um decréscimo significativo nas categorias de impacto analisadas em comparação aos impactos causados pela produção tradicional de cera. Dessa forma, a transformação das sacolas plásticas de polietileno para a produção de cera-base apresenta-se como uma possível alternativa viável para obter um melhor desempenho ambiental e diminuição dos impactos ambientais.

Palavras-chave: análise de ciclo de vida; análise de sensibilidade; polietileno; reaproveitamento químico; sacolas plásticas; sustentabilidade.

ABSTRACT

The life cycle of a plastic bag in the consumer's hand is quite short. When making a purchase, the customer uses the bag to transport their products and discards it with brevity. This work evaluated the environmental impacts of a new alternative for post-consumption chemical reuse of low-density polyethylene plastic bags for the production of wax-base. For this, among the tools that can evaluate the effects of the production and consumption chain of plastic materials, Life Cycle Assessment stands out. The software used in the development of this study was OpenLCA which allows the insertion of data obtained from previously existing data sources from which, in this study, secondary data from the Environmental Footprints library was used. The results obtained from different evaluation scenarios showed that traditional production of bags showed that the production of LDPE granules had the highest level of impact both in greenhouse gas emissions and in the consumption of environmental resources. Wax-base production showed a significant decrease in the impact categories analyzed compared to the impacts caused by traditional wax production. Thus, transforming polyethylene plastic bags into wax-base production can be a viable alternative to achieve better environmental performance and reduce environmental impacts.

Keywords: chemical reuse; life cycle analysis; plastic bags; polyethylene; sensitivity analysis; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Polimerização do Etileno	17
Figura 2 –	Esquema de polimerização por adição do polietileno	18
Figura 3 –	Processo de extrusão por sopro de filme plástico para produção de sacolas plásticas	19
Figura 4 –	Simplificação do processo de reciclagem do plástico	21
Figura 5 –	Fases da ACV	23
Figura 6 –	Procedimento para realização do ICV	26
Figura 7 –	Esquema simplificado de indicadores de categoria	27
Figura 8 –	Tela de entrada do OpenLCA na versão 1.11.0	30
Figura 9 –	Etapas de análise	31
Figura 10 –	Escopo do processo	32
Figura 11 –	Processo de produção das sacolas plásticas	33
Figura 12 –	Inserção do valor de referência de consumo de sacolas por brasileiro durante um ano	34
Figura 13 –	Esquema da preparação da cera-base	34
Figura 14 –	Inputs de referência para a produção da cera-base	35
Figura 15 –	Processo de produção da cera-base advindo tanto do reprocessamento como do processo tradicional	36
Figura 16 –	Produção de Metano e CO ₂ equivalente para cada processo em toneladas	38
Figura 17 –	Consumo de recursos de origem fóssil em mega joule para cada processo	39
Figura 18 –	Consumo de recursos de origem mineral e metais para cada processo	41
Figura 19 –	Variação da emissão de CO ₂ equivalente em toneladas	42
Figura 20 –	Emissão de Metano e CO ₂ em toneladas de CO ₂ equivalente	43
Figura 21 –	Consumo recursos de origem fóssil para o reaproveitamento em mega joule	44
Figura 22 –	Consumo recursos de origem mineral e metais advindos do reaproveitamento em quilogramas de Sb equivalente	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros importantes contemplados na fase de Definição de objetivo e escopo	24
Tabela 2 – Produção em toneladas de CO2 equivalente correspondente a cada etapa	37
Tabela 3 – Consumo em mega joule de recursos de origem fóssil correspondente a cada fonte energética	39
Tabela 4 – Consumo de recursos de origem mineral e metais correspondente a cada etapa	40
Tabela 5 – Análise de variação da emissão de CO2 equivalente	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados
ACV	Análise de ciclo de vida
AICV	Análise de impactos do ciclo de vida
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWP	Global Warming Potencial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de ciclo de vida
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Quilogramas
kWh	Quilowatt-hora
MJ	Mega joule
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivo de desenvolvimento sustentável
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular
PO ₄	Fosfato
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinila
Sb	Antimônio
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SO ₂	Dióxido de enxofre
UNEA	United Nations Environment Assembly

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVO	16
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	POLIMERIZAÇÃO	17
2.1.1	<i>PEBD: Polietileno de baixa densidade</i>	17
2.2	FABRICAÇÃO DAS SACOLAS PLÁSTICAS	18
2.2.1	<i>Processo produtivo das sacolas plásticas</i>	18
2.2.2	<i>O pós consumo</i>	20
2.3	UMA ABORDAGEM PARA REAPROVEITAMENTO QUÍMICO	22
2.4	ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	22
2.4.1	<i>Definição de objetivo e escopo</i>	23
2.4.2	<i>Inventário do Ciclo de Vida</i>	25
2.4.3	<i>Avaliação de impactos do Ciclo de Vida</i>	27
2.4.4	<i>Interpretação do Ciclo de Vida</i>	28
2.5	A ANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA LITERATURA	28
2.5.1	<i>Ferramenta de avaliação para substituição</i>	28
2.5.2	<i>Ferramenta de avaliação de desempenho e sugestão de melhorias</i>	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	SOFTWARE	30
3.2	BASE DE DADOS	30
3.2.1	<i>Limitações do estudo e qualidade dos dados</i>	31
3.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	31
3.3.1	<i>Definição de Objetivo e Escopo</i>	32
3.3.2	<i>Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida</i>	32
3.4	CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO	36
3.4.1	<i>Impacto do envio do PEBD para o aterro sanitário</i>	36

3.4.2	<i>Análise de sensibilidade para o impacto do envio percentual global do PEBD para o aterro sanitário</i>	36
3.4.3	<i>Reaproveitamento do PEBD para produção da cera-base</i>	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	A produção de PEBD e a destinação para o aterro sanitário	37
4.1.1	<i>Impacto Climático</i>	37
4.1.2	<i>Consumo de recursos de origem fóssil</i>	38
4.1.3	<i>Consumo de recursos de origem mineral e metais</i>	40
4.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO IMPACTO DO ENVIO PERCENTUAL DO PEBD PARA O ATERRO SANITÁRIO	41
4.3	O IMPACTO DO REAPROVEITAMENTO DO PEBD PARA PRODUÇÃO DA CERA-BASE	42
4.3.1	<i>Emissão de gases poluentes</i>	43
4.3.2	<i>Recursos de origem fóssil</i>	43
4.3.3	<i>Recursos de origem mineral</i>	44
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Segundo um estudo encomendado pela Blue Keepers, projeto pertencente à Plataforma de Ação pela Água e Oceano do Pacto Global da ONU no Brasil, ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, cada brasileiro pode ser responsável por 16 quilos de resíduos plásticos lançados ao mar por ano, ou seja, mais de 3 milhões de toneladas que alcançam os oceanos partem só do território brasileiro. Em acréscimo, a pesquisa realizada entre julho de 2021 e abril de 2022 aponta que cerca de um terço do material plástico consumido no país corre o risco de parar em mares e rios (OECD, 2022).

Ao longo de décadas, toda essa descarga de resíduos plásticos em rios e mares atrelada à movimentação dos oceanos conhecida como correntes oceânicas, tem-se a formação das famosas ilhas de plástico. Esses “trechos” de matéria geram enormes impactos na vida marinha como, por exemplo, a baleia que morreu após ingerir 8 quilos de sacolas plásticas na Tailândia em 2018 impedindo-a de se alimentar de qualquer outro alimento (G1, 2018).

A formação de microplásticos, micro materiais que possuem um tamanho inferior a 5 milímetros que surgem a partir da degradação de materiais plásticos, é mais um exemplo dos impactos do descarte incorreto desses materiais que podem persistir por centenas de anos na natureza. Ragusa A et al já afirma em sua pesquisa que foram encontrados microplásticos em leite materno em amostras retiradas uma semana após o parto de 34 mulheres. Dessas amostras analisadas foram identificados materiais como polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC).

Segundo a The Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE), o uso de materiais plásticos deve quase triplicar até 2060, em outros termos, a produção desse material deve chegar a 1,2 bilhão por ano e, logo, deve ultrapassar a marca de 1 bilhão de toneladas de resíduos. Essa estimativa deixa claro que o gerenciamento dos resíduos plásticos é um assunto urgente e de alta criticidade, com isso a adoção de novas rotas de reaproveitamento, reuso e reciclagem desses materiais à base de combustíveis fósseis é indispensável para o fortalecimento da Economia Circular em sintonia com um bom desenvolvimento ambiental.

1.1. JUSTIFICATIVA

Como se sabe, o tempo de vida útil de uma sacola plástica na mão do consumidor é bastante curto. Ao realizar uma compra, o cliente utiliza a sacola para transportar seus produtos e, ao chegar em casa, a descarta em questão minutos. Em 2019, cerca de 1,5 milhão de sacolas foram distribuídas por hora só no Brasil e, no mundo, foram consumidas entre 500 bilhões e 1 trilhão de sacolas plásticas (AdNormas, 2019).

O conjunto desses dados compõem um cenário ambiental mundial preocupante. Atualmente, vem-se desenvolvendo normas, leis e caminhos alternativos, como uso de materiais mais sustentáveis, como uma tentativa de frear a poluição plástica que ameaça não só o meio ambiente, mas também a saúde humana. Entretanto, vale ressaltar que no âmbito social-industrial ainda se tem um longo caminho a seguir uma vez que muitos produtos possuem embalagens ou 100% de sua composição de material plástico.

Dentre as ferramentas que podem avaliar os efeitos da cadeia produtiva e de consumo de materiais plásticos destaca-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), cujo principal objetivo é realizar balanços desde a retirada da matéria prima até o seu descarte, também conhecido como a expressão “do berço ao túmulo”, permitindo a análise do fluxo de energia e matéria envolvidos além relacionar as categorias de impactos ambientais no ciclo de vida do produto.

Ademais, a Análise de Ciclo de Vida vem se fortalecendo como uma ferramenta de apoio para tomadas de decisão, uma vez que esta auxilia as organizações a compreender o real impacto que seus produtos e processos podem causar no meio ambiente para, assim, elaborarem estratégias e ações mais sustentáveis. Com isso, a ACV se tornou uma forma de quantificar os dados de impactos econômicos, sociais e ambientais desde o “berço ao túmulo” de um produto podendo, assim, desenvolver processos mais limpos e eficientes

1.2. OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar os impactos ambientais de uma nova alternativa de reaproveitamento químico pós consumo de PEBD (Polietileno de baixa densidade).

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um fluxograma das etapas do processamento de PEBD desde sua origem até o seu descarte;
- Avaliar o desempenho do processo produtivo das sacolas de PEBD através da metodologia de Análise de Ciclo de Vida utilizando banco de dados para estimar os impactos ambientais de cada uma das etapas;
- Avaliar a viabilidade, utilizando a ACV, de uma nova via de processamento para destinação das sacolas plásticas de polietileno de baixa densidade pós consumo e compará-la com o processamento tradicional.

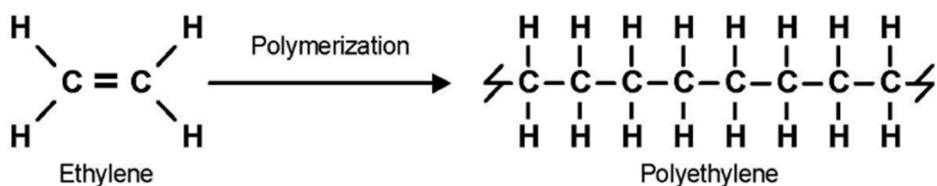
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. POLIMERIZAÇÃO

A definição de polímero, de acordo com De Paoli (2009), vem do grego *poli* (muitos) + *meros* (iguais), ou seja, podemos dizer que polímeros são macromoléculas constituídas por várias unidades de repetição. Estes, podem ser classificados de acordo com sua estrutura química, podendo ser homopolímeros (que deriva de um único tipo de monômero), e copolímero (polímero derivado de dois ou mais monômeros). Um bom exemplo a ser citado é o polietileno (Figura 1), que nada mais é do que um polímero produzido a partir da polimerização de um único mero: o etileno ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$).

Ademais, a polimerização do etileno pode acarretar cinco tipos de polímeros, a depender do sistema catalítico em questão e suas condições de reação, são estes: Polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno linear de baixa densidade (PELBD), polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e o polietileno de ultra baixa densidade. Entretanto, este trabalho possui como foco o reaproveitamento pós consumo do primeiro produto citado.

Figura 1 - Polimerização do Etileno



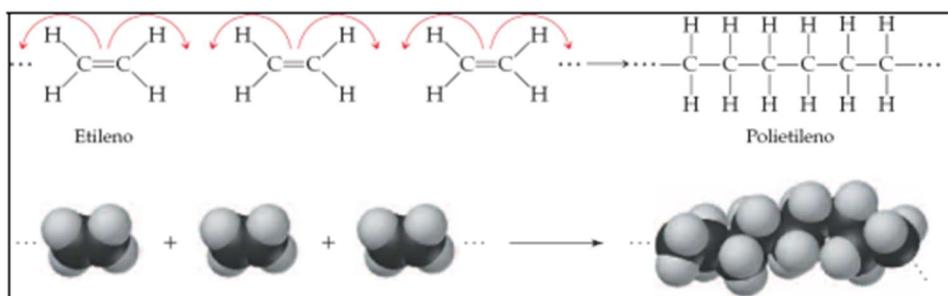
Fonte: Fujita; Pires, 2011

2.1.1. PEBD: Polietileno de baixa densidade

O polietileno de baixa densidade é um polímero termoplástico de caráter parcialmente cristalino uma vez que possui diversas ramificações o que resulta em um material flexível e de baixo ponto de fusão (110°C a 115°C). A fabricação do polietileno ocorre a partir do monômero de etileno que rompe sua dupla ligação para que seus elétrons formem uma ligação simples de forma que outras moléculas do mesmo monômero possam se acoplar e formar uma macromolécula (polímero), como

mostra a Figura 2. O produto desta reação é o chamado polietileno que é uma estrutura plana, esferulítica de conformação zig-zag cujo cristal pode apresentar uma estrutura cristalina hexagonal, monoclinica ou ortorrômbica (Torres, 2007). O processo produtivo do PEBD faz uso de altas temperaturas, mas nunca acima de 300°C uma vez que nesta temperatura o polímero se degrada, e de altas pressões (1000 e 3000 atm) (Coutinho, et al., 2003; Pistor, et al., 2010).

Figura 2 - Esquema de polimerização por adição do polietileno



Fonte: Torres, 2007

Segundo Coutinho, et al. (2003) o esse polímero detém uma variedade singular de propriedades tais como alta resistência a impactos, alta flexibilidade, tenacidade, estabilidade e boa processabilidade. Além disso, o PEBD é um material pouco solúvel em solventes polares, possuindo alta resistência à água e soluções aquosas, e, em contato com solventes alifáticos, clorados e aromáticos sofre inchamento em temperatura ambiente.

Por fim, devido a estas amplas propriedades, o polietileno de baixa densidade pode sofrer os mais diversos tipos de aplicações como, por exemplo, filmes industriais, frascos, stretch, revestimentos por extrusão, sacaria industrial (como as de ração, por exemplo) e sacolas plásticas convencionais encontradas em supermercados e farmácias.

2.2. FABRICAÇÃO DAS SACOLAS PLÁSTICAS

2.2.1. Processo produtivo das sacolas plásticas

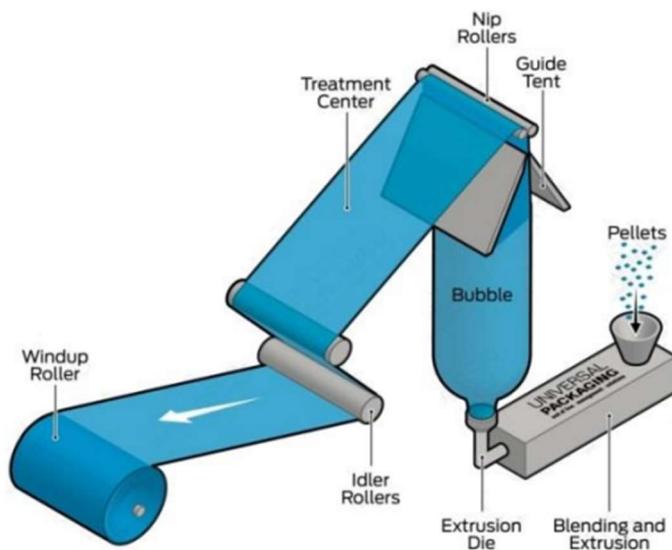
Para a produção de sacolas plásticas o processo mais utilizado é o de extrusão com matriz de balão (Parkash; Pihic, 2017). Este consiste, entre diversas aplicações,

na fabricação de filmes plásticos que são o principal insumo para produção dos mais diversos tipos de embalagens.

A fabricação começa com a alimentação do equipamento de extrusão com os grânulos, podendo ser constituído de uma combinação ou apenas de um único material polimérico. Essa matéria prima é aquecida, a uma temperatura e pressão específicas, até atingir um estado liquefeito para ser transportada com o auxílio de uma rosca em constante movimentação até uma matriz circular onde haverá um jato de ar. Com isso, o material é inflado verticalmente para formar um balão de material plástico adequadamente distribuído. Em sequência, o filme formado vai para os rolos para ser achatado, esticado e bobinado. (COSSUL et al, 2021; Parkash, Pihic, 2017)

A bobina segue para o refilamento onde será cortado nas dimensões requeridas e, para concluir, o material é levado para ser cortado no formato das sacolas e vedados ao fundo e dos lados. Como o material plástico é um material versátil, todas as rebarbas e sobras podem ser reaproveitadas dentro do processo para fins de minimização do desperdício de material. (Parkash; Pihic, 2017)

Figura 3 - Processo de extrusão por sopro de filme plástico para produção de sacolas plásticas



Fonte: Parkash ; Pihic (2017)

Ademais, caso seja de interesse do consumidor, as sacolas podem ainda passar pelo processo de *silkscreen* que basicamente consiste na impressão de logotipos ou qualquer outro tipo de informação desejada. Ao final de todo processo,

os produtos são embalados e seguem para o estoque para, posteriormente, serem entregues ao consumidor final.

Por fim, pode-se observar, a partir de tudo o que foi dito, que o processo produtivo das sacolas plásticas é relativamente simples e, por isso, é possível produzir uma imensa quantidade desses produtos em pequenos intervalos de tempo. Além disso, os equipamentos necessários para a fabricação são de larga disponibilidade podendo ser diferenciados a depender do tipo de sacola que se deseja produzir (XL Plastics, 2018).

2.2.2. O pós consumo

Como afirma a vice-secretária-geral da ONU, Amina J. Mohammed, “Hoje, não há nenhuma área do planeta que não seja afetada pela poluição plástica, desde os sedimentos do mar profundo até o Monte Everest”. Já é sabido que boa parte dos materiais plásticos são descartados de forma indevida e que esse processo acarreta impactos devastadores ao meio ambiente. Com isso em vista, no ano de 2022, na quinta sessão da United Nations Environment Assembly (UNEA -5), foi aprovado um acordo com 175 nações para acabar com a poluição plástica. Tal propósito está bem alinhado com o objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) número 12 que visa a produção e o consumo sustentável para o uso eficiente dos recursos naturais.

O setor privado tem um papel ativo fundamental nas ODS's que compõe a Agenda 2030 da ONU, uma vez que o Pacto Global vem como “um chamado para as empresas alinharem suas estratégias e operações a princípios universais nas áreas de Direitos Humanos, Trabalho, Meio Ambiente e Anticorrupção e desenvolverem ações que contribuam para o enfrentamento dos desafios da sociedade.” (Pacto Global, 2000). Além disso, até 2030, uma das metas da ODS 12 é “reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2015), logo, ações voltadas para uma produção ambientalmente mais consciente é um compromisso não só local, mas sim global.

No Brasil, uma alternativa de viés econômico-social atrelada ao setor industrial que vem ganhando força atualmente é a adoção da logística reversa, que nada mais é do que o retorno do produto, ou de sua embalagem, pós consumo para a companhia de forma a dar um destino mais adequado aos resíduos produzidos. Em agosto de 2010, foi instaurada a lei nº 12.305, também conhecida como a Política Nacional dos

Resíduos Sólidos, que define a logística reversa como um “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”. Contudo, a legislação atual não prevê os materiais das sacolas plásticas na lista dos itens com obrigação legal de serem recolhidos por empresas especializadas. Fazem parte dessa lista materiais como embalagens de agrotóxicos e óleos lubrificantes, pneus, produtos eletroeletrônicos, pilhas e lâmpadas fluorescentes.

Indústrias que utilizam materiais termoplásticos podem utilizar da logística reversa como uma nova forma de obtenção de matéria-prima reciclada, uma vez que polímeros termoplásticos, como o PEBD, podem ser processados e reprocessados, logo, a reciclagem energética, mecânica ou até mesmo a química desses materiais são alternativas sustentáveis de destinação consciente. Alternativas como a de Kopper (1995) também aparecem para um processamento mais verde. Sua patente intitulada como “Processo de Recuperação de Termoplástico Reciclado” propõe a recuperação do resíduo plástico de materiais como polietileno, polipropileno e poliestireno por meio de mini usinas de forma a simplificar os equipamentos utilizados para o reprocessamento desses polímeros mantendo uma boa produtividade dentro da processo produtivo.

Figura 4 - Simplificação do processo de reciclagem do plástico



Fonte: Adaptado de GERBASE (2012).

2.3. UMA ABORDAGEM PARA REAPROVEITAMENTO QUÍMICO

Estudos como o de Dornellas et al (2012) buscam alternativas para o reuso de plástico pós consumo como viabilização de um desenvolvimento socialmente mais sustentável. A pesquisa utiliza o polietileno de baixa densidade presente em sacolas plásticas de leite pasteurizado como fonte de PEBD para a fabricação de cera em pasta, estas muito utilizadas para polimento de superfícies amadeiradas. Com isso, esse material polimérico que provavelmente seria descartado incorretamente ganha uma nova utilidade.

Outra via interessante a ser citada se encontra no trabalho de Pengpeng et al (2023) que aborda a transformação de resíduos de polietileno em produtos de alto valor agregado. Esta pesquisa mostra o produto do craqueamento catalítico dos resíduos plásticos como uma alternativa econômica e eficiente para ajustar a estrutura e o desempenho do asfalto. A preferência do polietileno nessa pesquisa ocorre justamente porque o polietileno tem baixa reciclagem e degradação lenta na natureza. Ademais, para reduzir a viscosidade do asfalto, os cientistas criaram agentes de mistura quente à base de cera a partir de resíduos de polietileno.

2.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

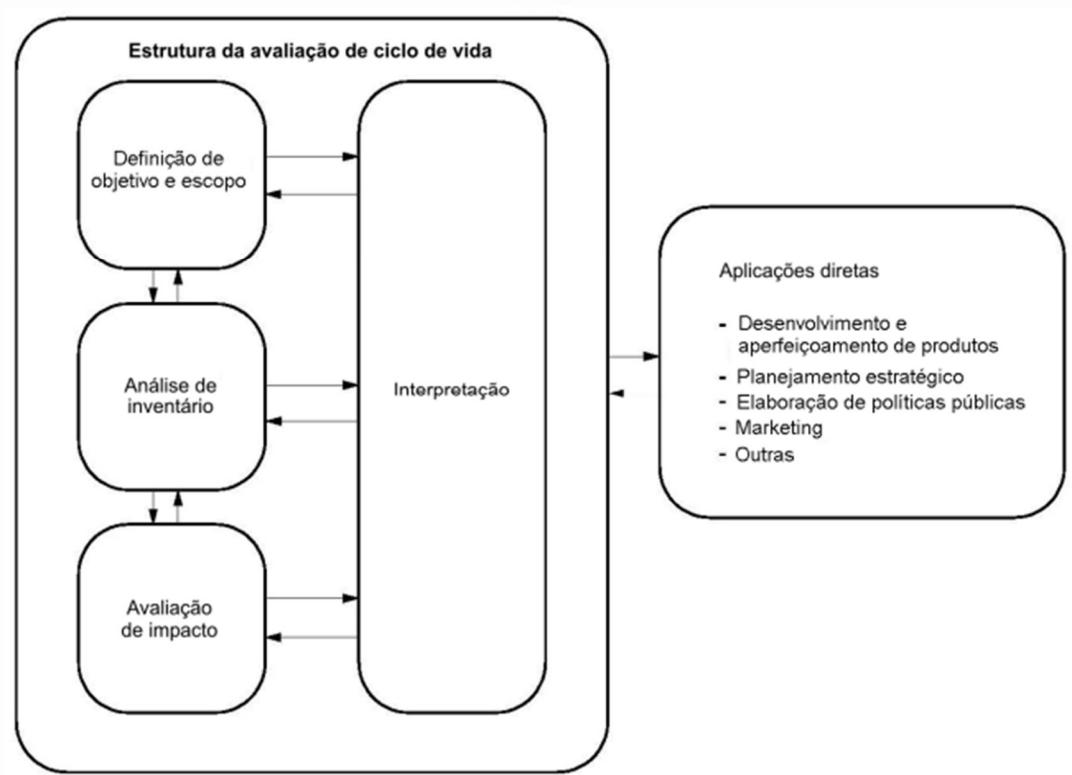
Desde sua criação, entre as décadas de 1960 e 1970, a metodologia de ACV vem se tornando uma versátil ferramenta para análise de políticas de bioenergia, esgotamento de recursos e soluções tecnológicas (Marcelle C. McManus; Caroline M. Taylor, 2015). Isto se deve ao fato de que “a ACV considera todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração e aquisição de matérias-primas, através da produção de energia e materiais, manufatura, uso, tratamento de fim de vida até a disposição final.” (ISO 14040, 2009).

A metodologia permite identificar, quantificar e caracterizar diversos aspectos processuais e potenciais impactos, sejam eles ambientais, energéticos e até comerciais, ao longo de cada etapa do ciclo de vida de um produto. (Mayorga, D., 2020). Com isso, a Análise de Ciclo de Vida se mostra um método completo uma vez que consegue auxiliar, por exemplo, na identificação de oportunidades de melhorias

dentro de um processo, na definição de prioridades e na avaliação de risco e desempenho ambiental.

No Brasil, a norma que rege a ACV foi incorporada à ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como a ABNT NBR 14040:(2009a), que define os princípios e estrutura da ACV, e a ABNT NBR 14044:(2009b), que define os requisitos e diretrizes da metodologia (LACERDA, 2022). São nestes documentos que constam as quatro etapas que constituem a Análise de Ciclo de Vida que podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 - Fases da ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009

2.4.1. Definição de objetivo e escopo

A primeira fase da ACV consiste na definição de objetivo, ou seja, o momento de determinar as razões pelas quais o estudo será realizado, a profundidade da análise e, por fim, o que se espera obter com os resultados encontrados. Além disso, é na definição de escopo que delimitam-se as fronteiras do sistema a ser analisado assim como o estabelecimento de parâmetros importantes, tais como, de unidade

funcional, das hipóteses esperadas e a classificação das categorias de impacto cuja definições podem ser observadas na Tabela 1. Com isso, pode-se afirmar que a definição de escopo é uma etapa de extrema importância uma vez que “convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a abrangência, profundidade e detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo declarado.” (ABNT NBR ISO 14040:2009)

Tabela 1 - Parâmetros importantes contemplados na fase de Definição de objetivo e escopo

Parâmetro	Requisitos
Função	“O escopo de uma ACV deve especificar claramente as funções (características de desempenho) do sistema em estudo” (ABNT NBR ISO 14044:2009)
Unidade funcional	“A unidade funcional define a quantificação das funções identificadas (características de desempenho) do produto. O propósito primário de uma unidade funcional é fornecer uma referência à qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade dos resultados de ACV.” (ABNT NBR ISO 14040:2009)
Fluxo de referência	“É importante determinar o fluxo de referência em cada sistema de produto para satisfazer a função determinada, ou seja, a quantidade de produtos necessária para desempenhar a função.” (ABNT NBR ISO 14040:2009)
Fronteira do sistema	“A fronteira do sistema determina quais processos elementares devem ser incluídos na ACV. A seleção da fronteira do sistema deve ser consistente com o objetivo do estudo.” (ABNT NBR ISO 14040:2009)
Categorias de impacto	As categorias de impacto dentro de uma ACV devem contemplar um conjunto abrangente de tópicos ambientais. Segundo Wachter <i>et al.</i> (2015) as principais categorias de impacto são: acidificação, eutrofização, aquecimento global,

	destruição da camada de ozônio, uso de energia primária e criação fotoquímica de ozônio.
Tipos de fontes de dados	“Os dados a serem selecionados para uma ACV dependem do objetivo e escopo do estudo. [...] As entradas podem incluir o uso de recursos minerais (por exemplo, metais provenientes de minérios ou de reciclagem), serviços como transporte ou suprimento de energia e o uso de materiais auxiliares como lubrificantes ou fertilizantes, mas não estão limitadas a esses aspectos” (ABNT NBR ISO 14044:2009)
Requisitos de qualidade dos dados	“Convém que a qualidade dos dados seja caracterizada tanto por aspectos quantitativos quanto qualitativos, assim como pelos métodos utilizados para coleta e consolidação daqueles dados.” (ABNT NBR ISO 14044:2009)
Comparações entre sistemas	“Sistemas devem ser comparados usando a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, tais como desempenho, fronteira do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação, regras para decisões quanto à avaliação de entradas e saídas e avaliação de impacto.” (ABNT NBR ISO 14044:2009)
Análise crítica	A análise crítica deve averiguar se os métodos utilizados são consistentes com a norma vigente e se são científica e tecnicamente válidos. Além disso, deve-se assegurar que o relatório obtido seja transparente e consistente e se os dados usados são apropriados para o objeto de estudo. (ABNT NBR ISO 14044:2009)

Fonte: Autoria Própria (2023)

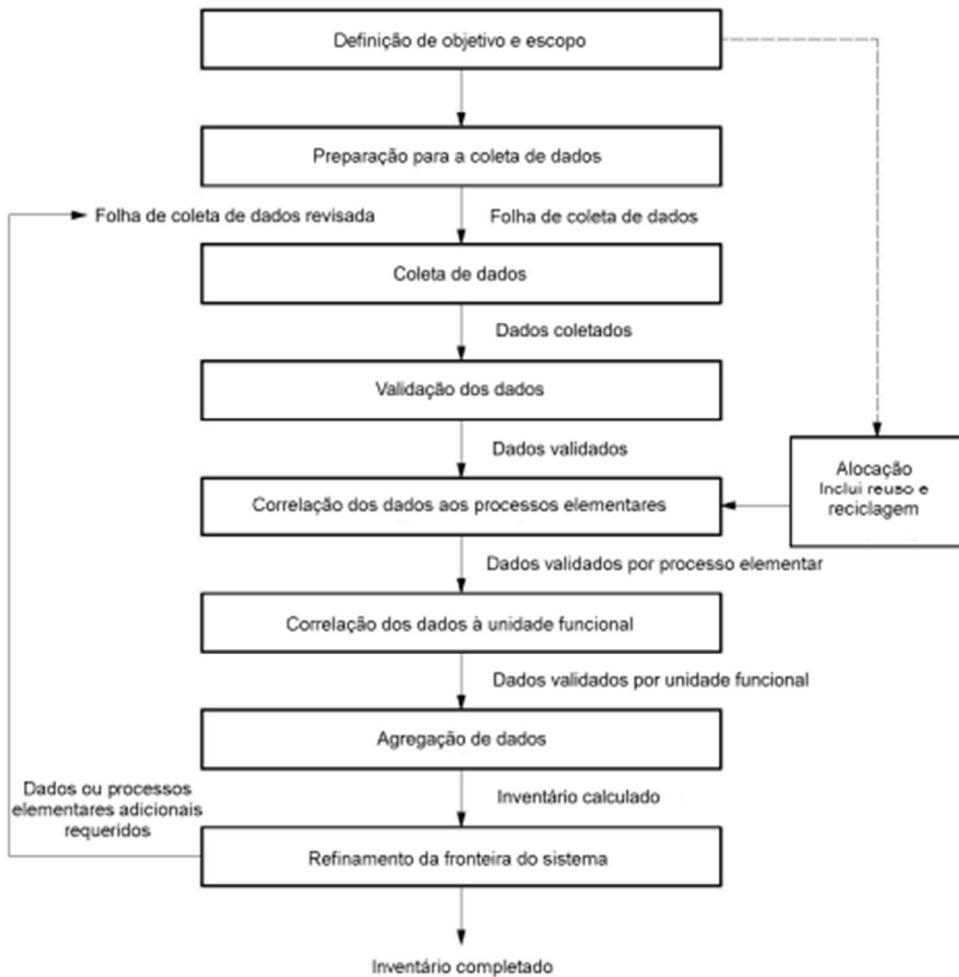
2.4.2. Inventário do Ciclo de Vida

A análise de inventário é a segunda fase dentro da análise de ciclo de vida. É nesta etapa que serão coletados, quantificados e processados os dados qualitativos

e quantitativos de entrada e saída dos fluxos elementares atrelados ao sistema produtivo, também incluindo os elementos presentes na fronteira do sistema. Caso a coleta de dados, de alguma forma, não seja possível de realizar utiliza-se bancos de dados disponíveis ao público em bibliotecas de inventário, tais como o SiCV Brasil (Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida) e o Ecoinvent, desde que tais fontes sejam corretamente referenciadas.

Ademais, é conveniente que sejam adotadas certas medidas para trazer mais confiabilidade na modelagem e garantir um bom entendimento dos sistemas a serem modelados, tais como: fluxogramas gerais do processo, descrição detalhada de cada processo assim como uma lista de fluxos e de dados relevantes, criar uma lista especificando as unidades usadas, descrição da coleta de dados e das técnicas de cálculo e disponibilizar alguma forma de documentar qualquer caso especial. (ISO 14044, 2009b).

Figura 6 - Procedimento para realização do ICV



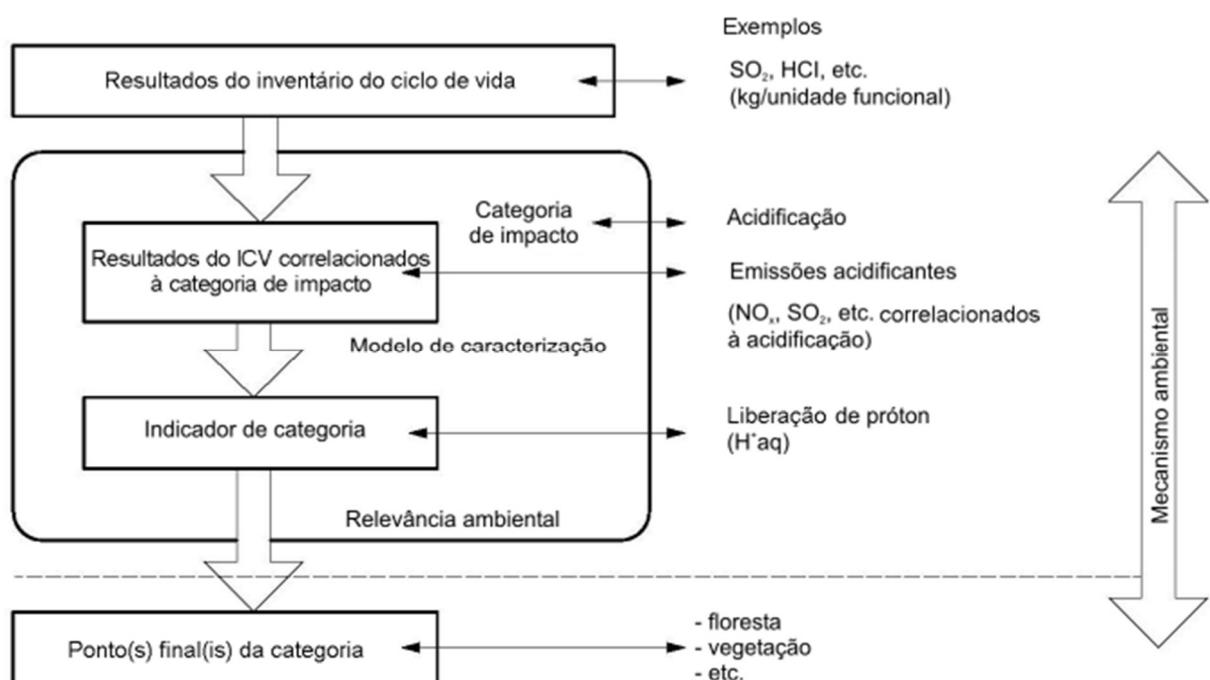
Fonte: ABNT NBR ISO 14044:2009

2.4.3. Avaliação de impactos do Ciclo de Vida

Esta fase consiste, basicamente, na identificação, caracterização e avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos ambientais do ciclo de vida apontados na fase anterior. Além disso, na fase de AICV é obrigatório a “seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização, correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação) e o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização)” (ABNT NBR 14044:2009).

Com isso, a fase de AICV abrange a coleta dos resultados dos indicadores de categoria para as diferentes implicações do sistema, logo, o objetivo dessa avaliação é verificar a significância de impactos potenciais. Entretanto, vale ressaltar que a AICV possui certas limitações uma vez que foca apenas nas questões ambientais definidas na primeira fase da ACV, ou seja, não contempla totalmente os tópicos ambientais do sistema em estudo. Isto acontece em consequência situações limitantes tais como: a definição de uma fronteira que não abrange todos os processos elementares e limitação e incertezas na coleta de dados de inventário.

Figura 7 - Esquema simplificado de indicadores de categoria



Fonte: ABNT NBR 14044:2009

2.4.4. Interpretação do Ciclo de Vida

É nesta fase em que ocorre a interpretação dos dados como uma forma de avaliar o estudo e identificar questões significativas com base nos resultados obtidos ao longo do estudo, proporcionando, assim, conclusões e recomendações mais assertivas. Além disso, vale ressaltar que a interpretação, como elucida a Figura 5, deve ser constantemente realizada ao longo de todo o processo de análise do ciclo de vida uma vez que é por meio desta análise mais crítica que é possível analisar e rever tópicos como, por exemplo, a real limitação dos dados e se os resultados estão sendo positivos ou negativos.

2.5. A ANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA LITERATURA

Na área acadêmica, podemos encontrar a análise de ciclo de vida como uma ferramenta de validação de hipóteses, de comparação de vias e até mesmo de tomada de decisão. Com isso, é possível encontrar diversas pesquisas e dissertações que utilizam dessa metodologia e, devido à grande notoriedade e crescimento, a área de polímeros, principalmente os sintéticos, vem mostrando cada vez mais a versatilidade dessa ferramenta para fins acadêmicos e avaliações de desempenho especialmente na área ambiental.

2.5.1. Ferramenta de avaliação para substituição

Pereira (2020) em seu trabalho de graduação utilizou a Análise de Ciclo de Vida como uma ferramenta de avaliação com foco no estudo para utilizar o Ácido Polilático, que é um biopolímero, como um substituto para o Polietileno (polímero de origem fóssil) muito utilizado na fabricação de absorventes descartáveis, produto amplamente utilizado atualmente e que não possui uma via de reaproveitamento, ou seja, ao ser descartado não é reaproveitado. Diante desse fato fica o questionamento: Como tornar o ciclo de vida desse produto mais sustentável apesar dos contratemplos em relação ao seu descarte?

Utilizando a metodologia ACV é possível avaliar os impactos atrelados ao processo produtivo dos absorventes e um dos seus principais constituintes. A partir

da sugestão de substituição do PE pelo PLA, é possível desenhar o ciclo de vida e verificar as categorias de impactos para ambos os materiais como, por exemplo, a oxidação fotoquímica na emissão de gases na atmosfera que, segundo aponta o estudo, se mostrou mais crítica para a produção de absorventes que utilizam o polietileno sendo os gases que mais impactaram o metano, monóxido de carbono e o dióxido de enxofre. Todavia o Ácido Polilático também apresentou alguns pontos representativos de impacto no âmbito da agricultura, como pesticidas, uma vez que a obtenção do ácido lático parte da fermentação de vegetais ricos em amido como o milho. Com esses dados, projetos mais sustentáveis adquirem um suporte mais plausível para serem ou não implementados a depender dos resultados obtidos.

2.5.2. Ferramenta de avaliação de desempenho e sugestão de melhorias

Questionando os modelos de produção que não consideram a renovabilidade dos recursos naturais e dos impactos ao meio ambiente, Fujita e Pires (2011) utilizaram em sua pesquisa a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida para verificar o desempenho da obtenção de polietileno por meio de fontes renováveis onde, neste caso, os autores optaram por utilizar a cana de açúcar como fonte principal de matéria prima catalogando os aspectos de produção desde o preparo do terreno da plantação da cana até a etapa final da obtenção do polietileno.

Com a análise, foi possível constatar alguns pontos de desempenho ambiental como, por exemplo, a acidificação devido a formação de 11,44kg de SO₂, a depleção abiótica de 4,55kg de Sb e a eutrofização de carga ambiental de 2,64kg PO₄. Esses dados permitem com que seja possível verificar a qualidade, impacto e viabilidade do processo. Além disso, outras categorias de impactos podem aparecer como oportunidades de melhoria como utilização dos gases indesejáveis advindos da desidratação etílica para a queima na caldeira em operação para, assim, reduzir a emissão de hidrocarbonetos e a oxidação fotoquímica.

3. METODOLOGIA

3.1. SOFTWARE

O software utilizado no desenvolvimento desse estudo foi o OpenLCA, software versão 1.11.0 desenvolvido pela GreenDelta, que nada mais é do que uma ferramenta profissional, gratuita e de fácil interação para modelagem e avaliação de ciclo de vida de produtos. Além de suportar diversas bases de dados, que podem incluir processos definidos, parâmetros e fluxos elementares, por exemplo, o software é compatível para Windows, Mac OS e Linux.

Figura 8 – Tela de entrada do OpenLCA na versão 1.11.0



Fonte: Autoria Própria, 2023.

3.2. BASE DE DADOS

O OpenLCA assim como outros softwares de análise de ciclo de vida permite a inserção de dados obtidos de fontes de dados previamente existentes. Nessas bases de dados é possível obter parâmetros como o consumo elétrico do processo e a massa do polímero. Ademais, vale ressaltar que existem dois tipos de bases de dados: primárias, que são construídas a partir da coleta direta de dados de processos, e secundárias, que utilizam referências de terceiros para obter informações sobre consumo e impacto.

Com isso, este estudo utilizará e dados coletados na literatura assim como base de dados advindos da biblioteca Environmental Footprints que é um banco de dados secundário desenvolvido pela iniciativa do Mercado Único para Produtos Verdes da Comissão Europeia de forma a padronizar modelos de análise de ciclo de vida para a União Europeia cujo objetivo é obter uma metodologia comum para avaliar quantitativamente os impactos ambientais de produtos para contribuir na sua avaliação e rotulagem.

3.2.1. Limitações do estudo e qualidade dos dados

Devido à escassez de informações disponíveis para unidades de processamento no Brasil, embora sempre que possível incluímos dados adaptados de fontes brasileiras, recorreu-se a uma base de dados da União Europeia que acabou por limitar o estudo.

3.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Através do método da Análise do Ciclo de Vida disposto de acordo com as normas NBR ISO 14040 e a NBR ISO 14044, foi avaliado o desempenho do processo tradicional das sacolas plásticas em comparação ao processo agregado a nova via de aproveitamento de PEBD. De forma resumida, as etapas de análise deste estudo podem ser exemplificadas pela Figura 9.

Figura 9 – Etapas de análise



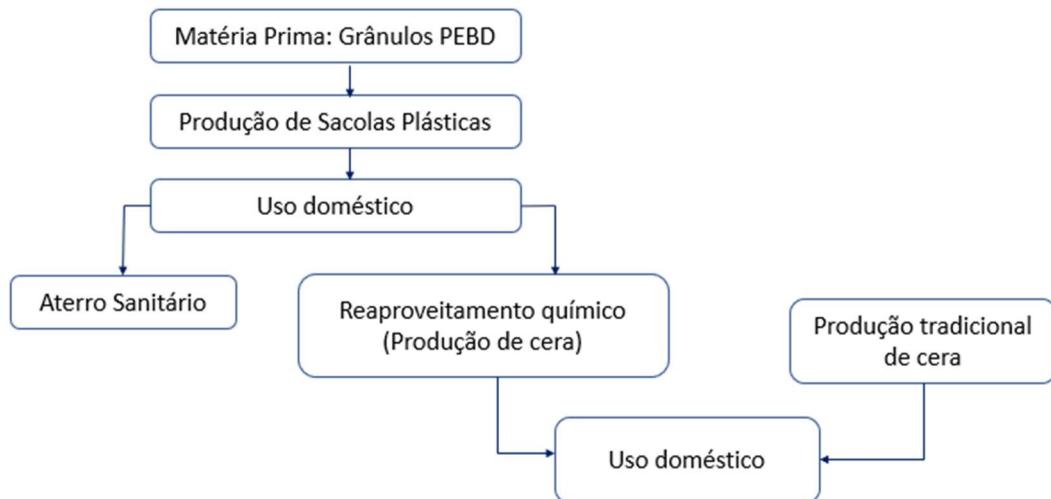
Fonte: Autoria Própria, 2023.

3.3.1. Definição de Objetivo e Escopo

A definição do objetivo foi detalhada anteriormente como sendo avaliar os impactos ambientais, econômicos e processuais de uma nova alternativa de reaproveitamento químico pós consumo do polietileno de baixa densidade presente nas sacolas plásticas convencionais, sendo o público alvo dessa análise as indústrias de processamento de polímeros assim como a comunidade acadêmica.

Ademais, a fronteira do sistema das sacolas plásticas considera todas as etapas do processo produtivo, desde a matéria prima até a sua destinação final, seja ela seguindo para o aterro sanitário ou para o reaproveitamento proposto. Tal escopo está demonstrado na Figura 10. Por fim, vale ressaltar como limitação a desconsideração dos impactos associados ao transporte das sacolas plásticas pós-produção e o retorno das mesmas ao processo produtivo.

Figura 10 – Escopo do processo



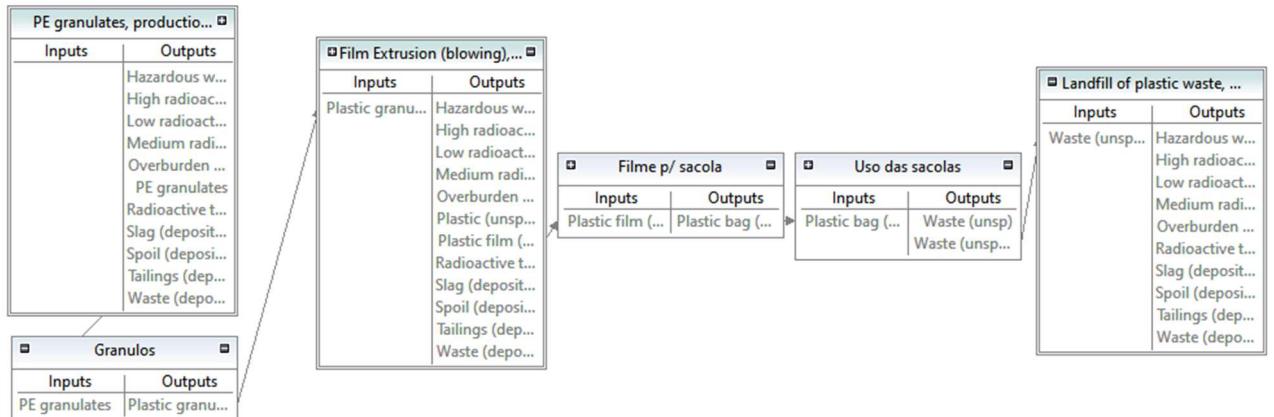
Fonte: Autoria Própria, 2023.

3.3.2. Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida

Os dados utilizados foram coletados de diversas fontes da literatura assim como aqueles já disponíveis dentro da base de dados Environmental Footprints do OpenLCA. Com isso, iniciou-se a simulação do processo no software com a inserção de inputs e criação de novos blocos para conectar algumas unidades do processo.

Primeiramente foi montado o esquema de blocos que se refere ao processo tradicional de fabricação das sacolas plásticas até o seu destino final (Figura 11) para, em seguida, obter o dado de rejeito.

Figura 11 – Processo de produção das sacolas plásticas



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Segundo a ABRAS (Associação Brasileira de Supermercados) estima-se que no Brasil sejam consumidas 15 bilhões de sacolas plásticas por ano, ou seja, levando em conta a estimativa de 2021 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que no Brasil tem-se em torno de 213,3 milhões de pessoas, pode-se afirmar que cada brasileiro consome em média 70 kg de sacolas plásticas por ano. Com isso, adota-se 70kg como o valor de referência, ou seja, valor de rejeito, para cada habitante. Para trazer uma melhor representatividade ao número de consumo, em 2021, o IBGE apontou que a cidade de Recife possuía uma população de 1.661.017 habitantes e, logo, se considerarmos o consumo igualitário para cada cidadão, obtém-se o valor de 116.271.190 kg de sacolas plásticas em um ano. Com isso, o bloco de referência (Uso das sacolas) para o processo representado na Figura 12 receberá esse valor como input inicial.

Figura 12 – Inserção do valor de referência de consumo de sacolas por brasileiro durante um ano

General information

Name: Processo produtivo - Sacolas

Description: First created: 2023-03-29T22:22:57
Linking approach during creation: None

Version: 00.00.010

UUID: e0a700d6-5afc-4cda-8746-92639f95f871

Last change: 2023-04-11T17:18:56-0300

Tags: Add a tag

Calculate

Reference

Process: Uso das sacolas

Product: Waste (unsp)

Flow property: Mass

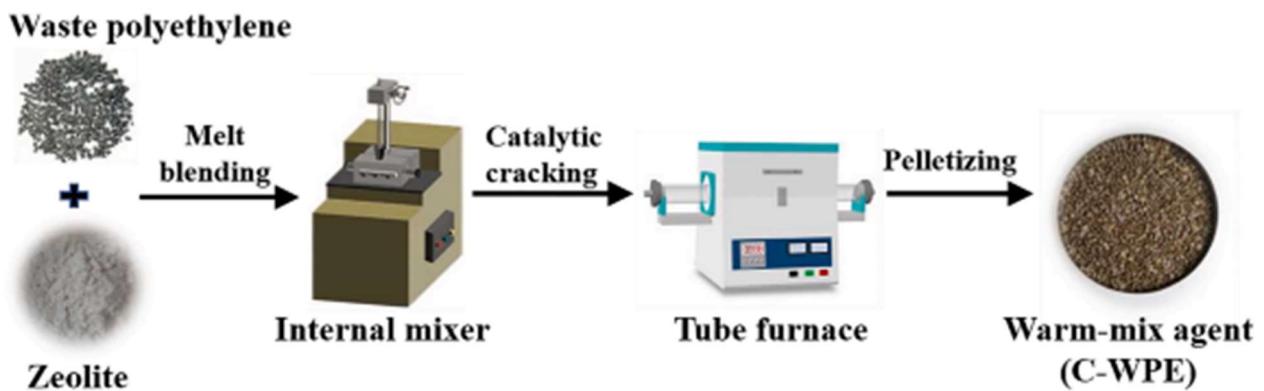
Unit: kg

Target amount: 116271190

Fonte: Autoria Própria, 2023

Ademais, como processo alternativo para reaproveitamento dos rejeitos de PEBD optou-se pelo processo de transformação desse material para produção de cera tomando como apoio o trabalho desenvolvido por Pengpeng *et al* (2023) que consiste no craqueamento catalítico de resíduos de polietileno para obtenção de uma cera-base para produção de asfalto, entretanto, neste trabalho, iremos dar foco apenas na primeira parte da metodologia que está representada na Figura 13.

Figura 13 – Esquema da preparação da cera-base



Fonte: Pengpeng *et al.* 2023 (Adaptado)

Para obtenção do material alvo, primeiramente, os grânulos de polietileno limpos e secos foram misturados com catalizadores de zeólita em uma proporção de

10:1 por um misturador interno a 160°C a uma velocidade do rotor de 50rpm por 10 minutos. Em seguida a mistura foi triturada e levada a um forno tubular seguido de uma calcinação sob uma atmosfera de nitrogênio a 350 °C por 2 horas para, enfim, obter a cera-base intitulada como C-WPE.

Seguindo os dados de mercado tanto para o forno como para o misturador, os equipamentos apresentaram potência de 4 kWh e 2 kwh, respectivamente. Levando em consideração o tempo de funcionamento de cada um, obteve-se uma potência total de 8,667 kWh. Dessa forma, foi criado um bloco para a produção de cera (Figura 14) constando os valores de input encontrados no trabalho de Pengpeng *et al.*

Figura 14 – Inputs de referência para a produção da cera-base

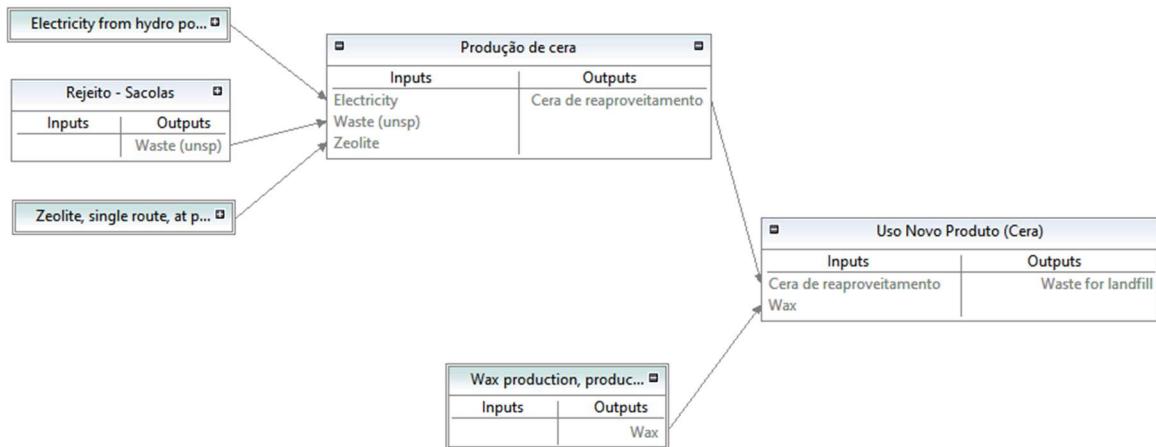
P Inputs/Outputs: Produção de cera								
▼ Inputs								
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided ...	Provider	D
F _o Electricity	Energy carriers and te...	8.66700	kWh		none		P Electri...	
F _o Waste (unsp)		1.00000	kg		none			
F _o Zeolite	Materials production/...	0.10000	kg		none		P Zeolit...	

▼ Outputs								
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided p...	Provider	D
F _o Cera de reaproveitamento		1.00000	kg		none			

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Com isso, construiu-se o esquema de produção da cera-base utilizando o rejeito plástico de polietileno como matéria-prima. Além disso, o bloco de uso do novo produto desenvolvido apresenta duas entradas, uma advinda do reaproveitamento e outra do processo produtivo tradicional para que, desta forma, seja possível analisar os impactos percentuais advindos de cada um dos processos.

Figura 15 – Processo de produção da cera-base advindo tanto do reprocessamento como do processo tradicional



Fonte: Autoria Própria, 2023.

3.4. CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Com o intuito de avaliar o objetivo e escopo aqui propostos, foram idealizados três diferentes cenários de avaliação para realização dos testes de sensibilidade.

3.4.1. Impacto do envio do PEBD para o aterro sanitário

Avaliar o impacto gerado onde 100% dos rejeitos são destinados para aterros sanitários sem nenhuma forma de reaproveitamento.

3.4.2. Análise de sensibilidade para o impacto do envio percentual global do PEBD para o aterro sanitário

Avaliar o impacto gerado de envios percentuais dos rejeitos destinados para aterros sanitários. Dessa forma é possível analisar a variação dos impactos ambientais do material que não possui nenhuma forma de reaproveitamento.

3.4.3. Reaproveitamento do PEBD para produção da cera-base

Avaliar os dados de impacto do reaproveitamento pós consumo dos rejeitos das sacolas plásticas através da variação percentual dos inputs no consumo do novo material. A análise contará com a variação dos inputs advindo da produção da cera-

base baseada na transformação descrita no trabalho de Pengpeng et al (2023) e advindo do processo tradicional de produção de cera.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões a seguir englobam os tópicos de avaliação de impacto do ciclo de vida e a interpretação dos dados dentro da metodologia de ACV através do comparativo dos cenários apontados dentro do tópico 3.4 da metodologia. Além disso, as categorias de impacto que guiaram a discussão focam no impacto ambiental: produção de metano, dióxido de carbono equivalente, consumo de recursos minerais, fósseis e de metais.

4.1. A produção de PEBD e a destinação para o aterro sanitário

4.1.1. Impacto Climático

Uma das principais métricas utilizadas para comparar as emissões de gases que causam o efeito estufa é o dióxido de carbono equivalente. Essa métrica vem como uma tentativa de representar todos os gases do efeito estufa em uma única unidade. O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação do potencial de aquecimento global (GWP – Global Warming Potencial) com as toneladas emitidas dos gases responsáveis pelo efeito estufa.

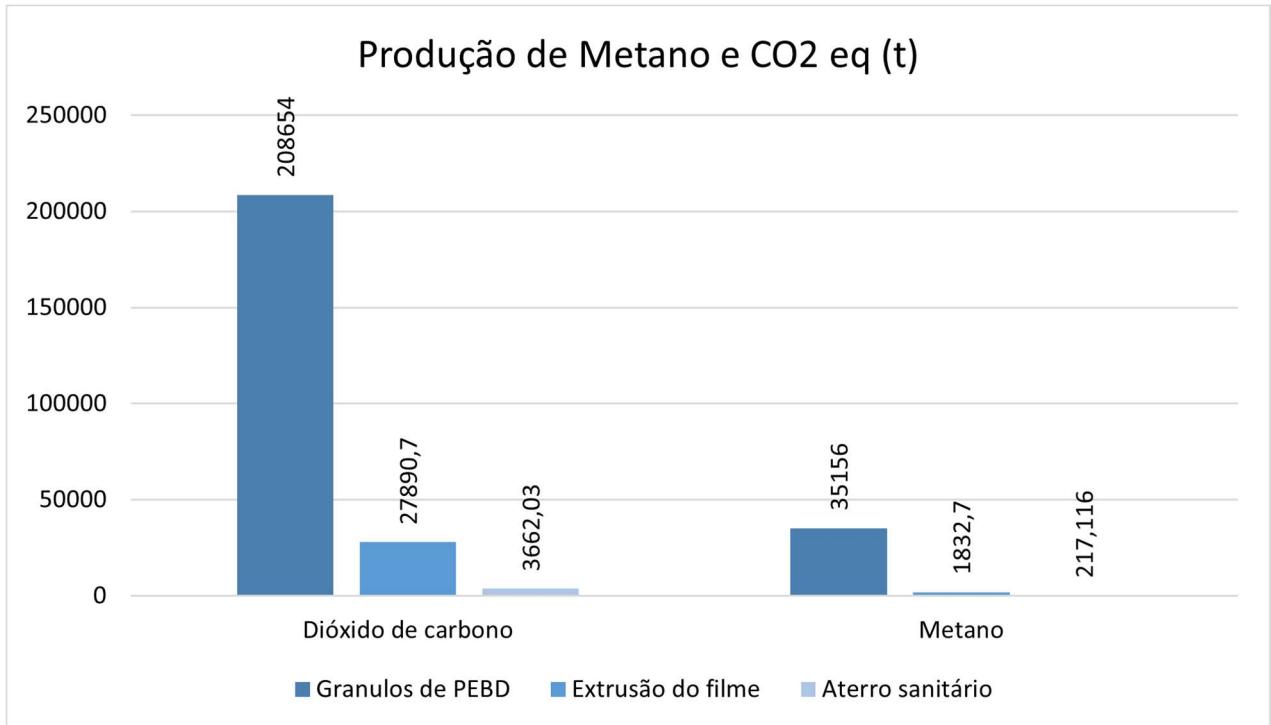
Tomando essa unidade como referência, foram obtidos os valores de impacto ambiental presentes na Tabela 2 e graficamente representados na Figura 16 para a produção das sacolas plásticas de polietileno.

Tabela 2 – Produção em toneladas de CO₂ equivalente correspondente a cada etapa

	Grânulos de PEBD	Extrusão do filme	Aterro sanitário
Dióxido de carbono	208654	27890,7	3662,03
Metano	35156	1832,7	217,116
ton CO ₂ eq	243810	29723,4	3879,146
	87,89%	10,71%	1,40%

Fonte: Autoria Própria, 2023

Figura 16 – Produção de Metano e CO₂ equivalente para cada processo em toneladas



Fonte: Autoria Própria, 2023

Ao todo, o processamento dos grânulos de polietileno é o que mais gera impacto no meio ambiente. Este sozinho é responsável pela emissão de 87,89% de CO₂ equivalente no meio ambiente.

4.1.2. Consumo de recursos de origem fóssil

Como é possível perceber no perfil de consumo de recursos energéticos advindos de origem fóssil representado pela Figura 17, os maiores impactos vêm das fontes de petróleo e gás natural. No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a matriz energética brasileira é composta por 34,3% de petróleo e seus derivados e 12,2% de gás natural, logo, apesar da base de dados utilizada na modelagem desse processo não ser advinda do Brasil ela consegue representar o consumo energético de forma significativa.

O consumo através das fontes de carvão (*Hard Coal* e *Brown Coal*) apresenta uma contribuição de 5,52% do consumo total de energia. Apesar de ser um valor bem inferior comparado ao petróleo e o gás natural, a queima do carvão para obtenção de

energia libera dióxido de carbono na atmosfera e, por consequência, contribui para o agravamento do efeito estufa.

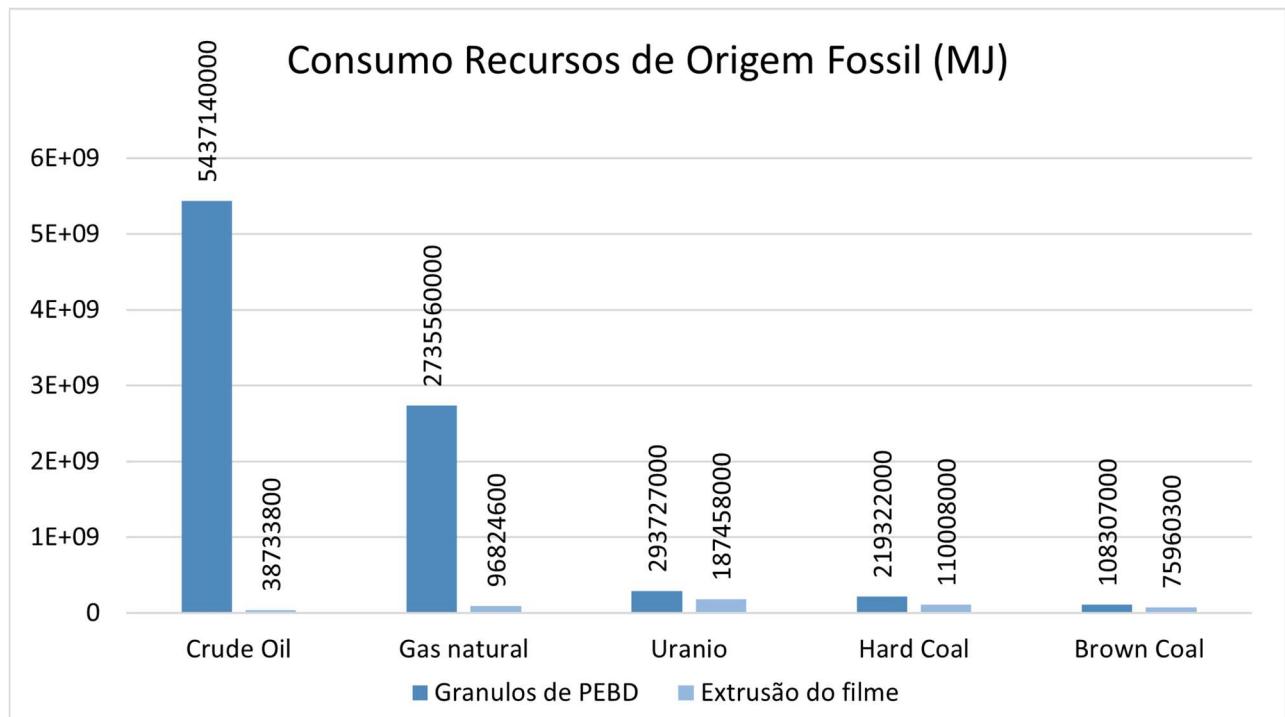
Como no tópico anterior, a produção de grânulos de PEBD é responsável pelo maior impacto, neste caso o maior consumo de energia correspondendo a 94,53% (Tabela 3) do consumo total de energia advinda de origem fóssil para a produção das sacolas plásticas.

Tabela 3 – Consumo em mega joule de recursos de origem fóssil correspondente a cada fonte energética

	Grânulos de PEBD	Extrusão do filme
Crude Oil	5437140000	38733800
Gás natural	2735560000	96824600
Uranio	293727000	187458000
Hard Coal	219322000	110008000
Brown Coal	108307000	75960300
	94,53%	5,47%

Fonte: Autoria Própria, 2023

Figura 17 – Consumo de recursos de origem fóssil em mega joule para cada processo



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A presença do urânio no gráfico de consumo se dá ao fato de que a base de dados utilizada advém da União Europeia no qual 25% dos países que a constituem

fazem uso da energia nuclear (G1, 2022). Já no Brasil pode-se dizer que as fontes de energia mais utilizadas advém do petróleo, do gás natural, hidrelétricas e derivados da cana (EPE, 2022) já representadas nos demais itens do gráfico.

Ademais, segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o setor de energia, em 2020, emitiu 393,7 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, representando 18% do total nacional de emissão.

4.1.3. Consumo de recursos de origem mineral e metais

Assim como o CO₂ equivalente, o fator de esgotamento abiótico ou fator de depleção abiótica é uma métrica utilizada para medir o impacto da extração de minerais e combustíveis fósseis. O fator de depleção é calculado pelo quociente para cada extração em kg equivalentes de antimônio (Sb) e kg de extração com base nas reservas e na taxa de extração desses recursos.

Os recursos de origem mineral são recursos não renováveis e correm o risco de esgotamento e, por isso, é um tópico crucial na análise de impacto ambiental uma vez que os fatores abióticos são elementos que afetam o bem-estar dos organismos vivos. Com isso em vista, obteve-se os dados de consumo desses recursos para a produção das sacolas plásticas que estão representados na Tabela 4 abaixo.

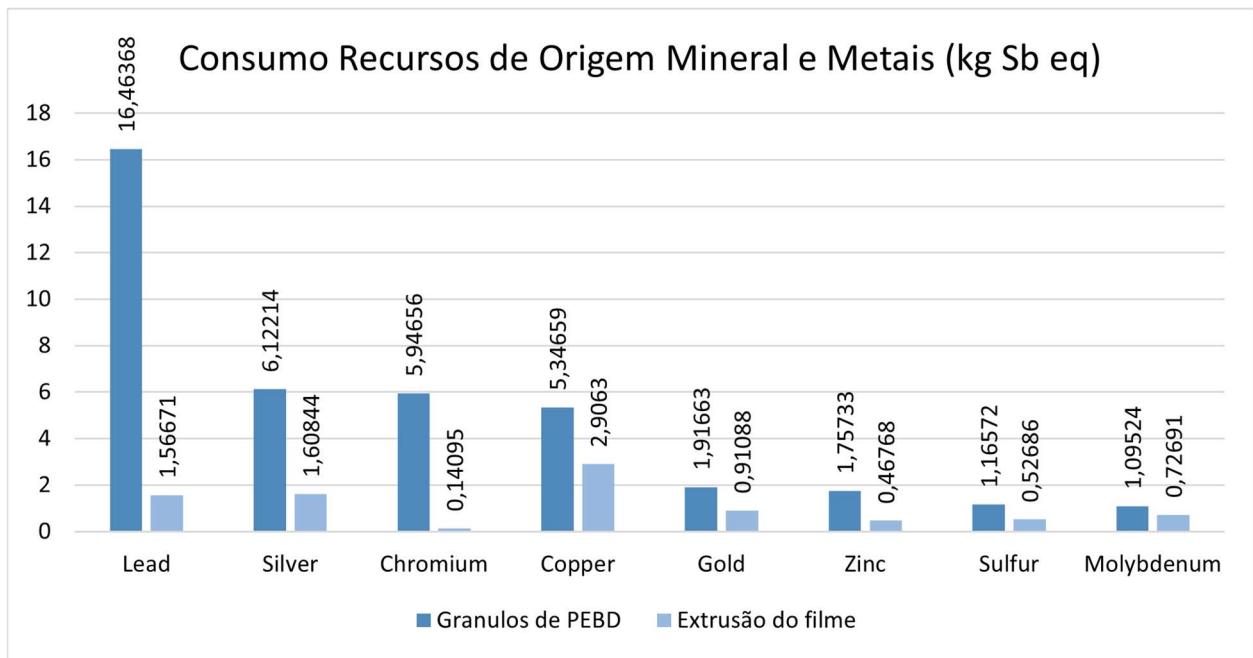
Tabela 4 – Consumo de recursos de origem mineral e metais correspondente a cada etapa

	Grânulos de PEBD (kg Sb eq)	Extrusão do filme (kg Sb eq)
Lead	16,46368	1,56671
Silver	6,12214	1,60844
Chromium	5,94656	0,14095
Copper	5,34659	2,9063
Gold	1,91663	0,91088
Zinc	1,75733	0,46768
Sulfur	1,16572	0,52686
Molybdenum	1,09524	0,72691
kg Sb eq total	39,81389	8,85473
	81,81%	18,19%

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para facilitar a visualização dos dados, plotou-se o gráfico presente na Figura 18 a seguir:

Figura 18 – Consumo de recursos de origem mineral e metais para cada processo



Fonte: Autoria Própria, 2023.

O processo de obtenção dos grânulos de PEBD, mais uma vez, é responsável pela maior porcentagem de contaminação no meio ambiente, sendo responsável por 81,81% (39,81 kg Sb equivalente) do consumo total de recursos de origem mineral para fabricação das sacolas plásticas.

4.2. Análise de sensibilidade do impacto do envio percentual do PEBD para o aterro sanitário

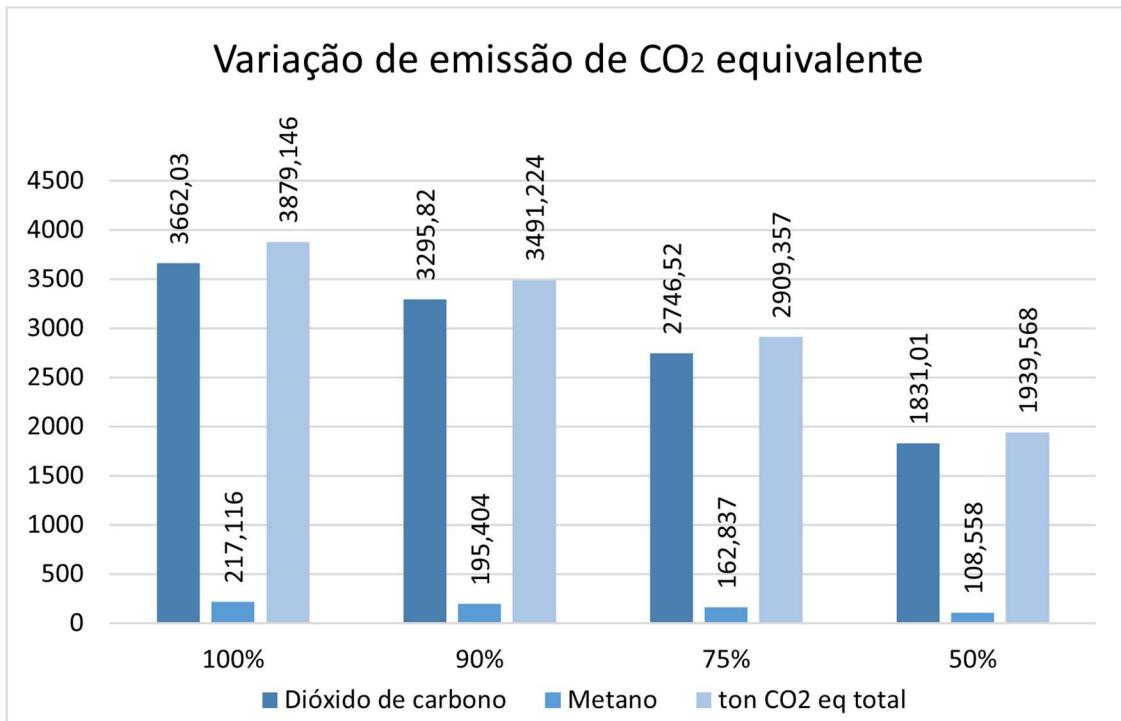
Para avaliar a variação dos impactos relacionados aos envios dos resíduos de PEBD para os aterros sanitários, utilizou-se a redução percentual de 10, 25 e 50% dos resíduos gerados da produção, ou seja, considerou-se que foram reaproveitados, respectivamente, em torno de 11.627, 29.067 e 58.135 toneladas de sacolas plásticas.

Tabela 5 – Análise de variação da emissão de CO₂ equivalente

	Aterro sanitário			
	100%	90%	75%	50%
Dióxido de carbono (t CO ₂ eq)	3662,03	3295,82	2746,52	1831,01
Metano (t CO ₂ eq)	217,116	195,404	162,837	108,558
ton CO ₂ eq total	3879,146	3491,224	2909,357	1939,568

Fonte: Autoria Própria, 2023

Figura 19 – Variação da emissão de CO₂ equivalente em toneladas



Fonte: Autoria Própria, 2023

Como é possível observar no gráfico, a variação de emissão de CO₂ equivalente variou de forma proporcional a redução do envio das sacolas plásticas para o aterro.

4.3. O impacto do reaproveitamento do PEBD para produção da cera-base

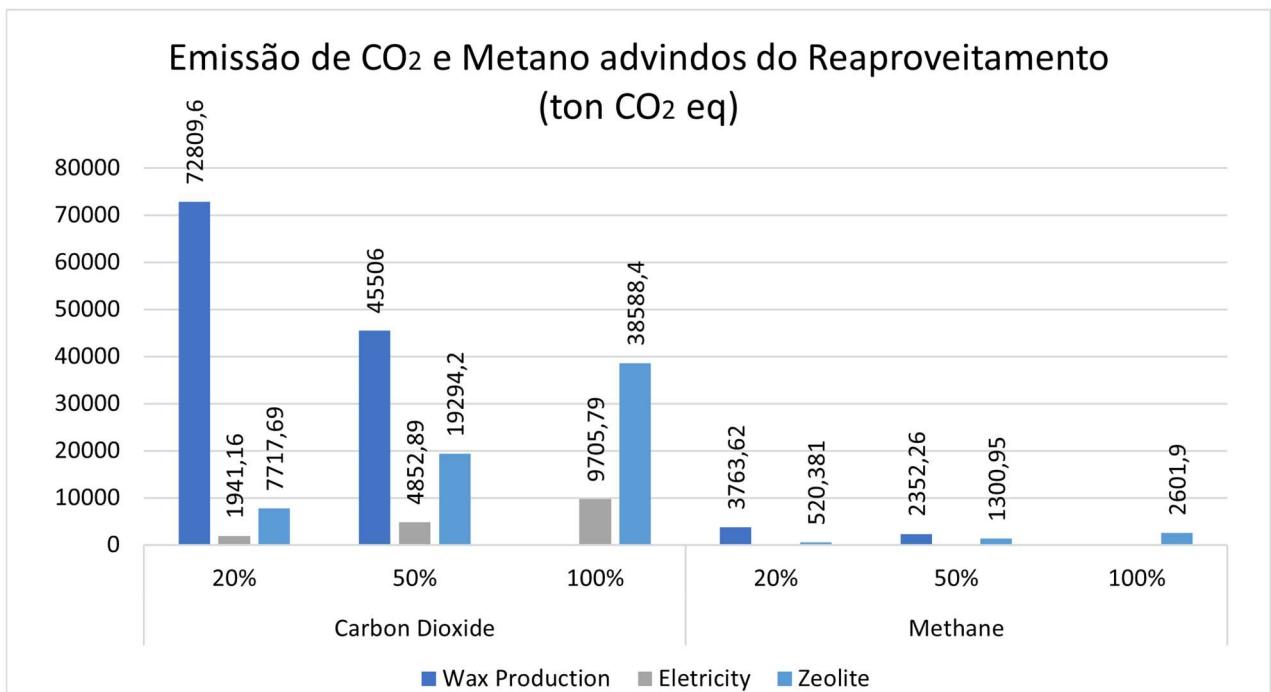
Na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP26) em 2021, o Brasil anunciou sua nova meta de redução de 50% de emissões de gases do efeito estufa até o ano de 2030 e de neutralidade de carbono até 2050. Com isso, para esta análise de sensibilidade, foram considerados o reaproveitamento de 58.135 toneladas de sacolas plásticas de PEBD uma vez que, como apontado no tópico anterior, tercia-se a redução de 50% da emissão de CO₂ na atmosfera.

Partindo desse pressuposto, foram comparadas a produção da cera-base caso advinda do processo tradicional e do processo de reaproveitamento, o percentual de produção adotado, respectivamente, foi de 20, 50 e 100% vindo do reaproveitamento. Dessa forma foi possível analisar e validar a sustentabilidade da transformação pós consumo desse material.

4.3.1. Emissão de gases poluentes

Para compreender melhor se o processo de reaproveitamento dos rejeitos de PEBD seria uma via mais sustentável, foi plotado o gráfico presente na Figura 20 para avaliar se havia o decréscimo da quantidade emitida de CO₂ a medida em que a produção da cera-base advinha do reaproveitamento.

Figura 20 – Emissão de Metano e CO₂ em toneladas de CO₂ equivalente



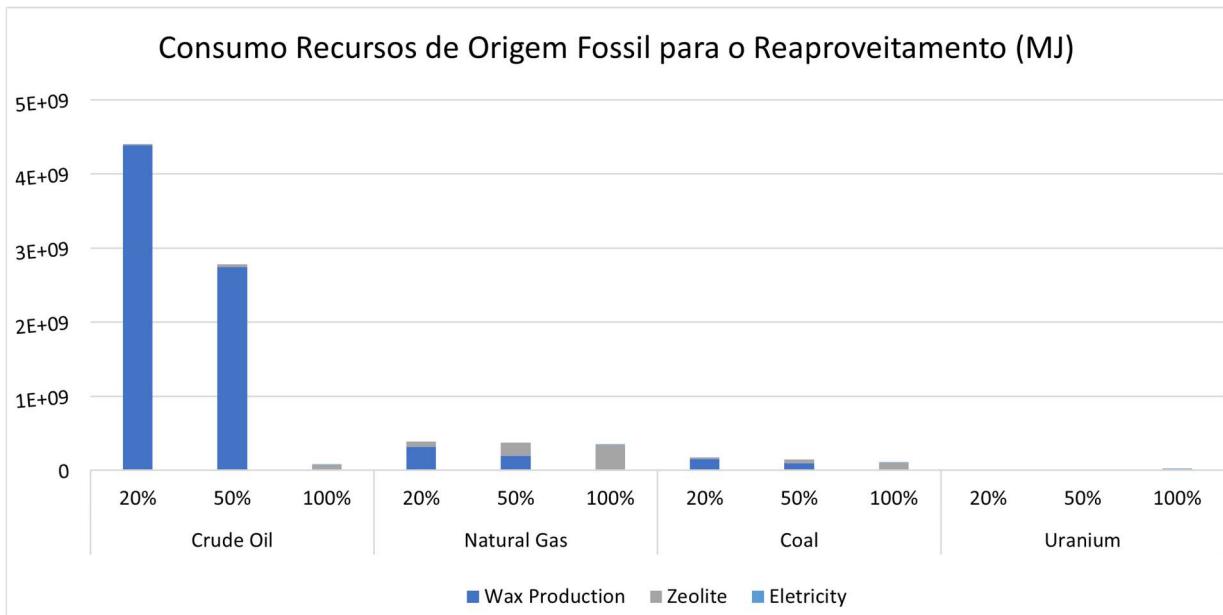
Fonte: Autoria Própria, 2023

Observando os cenários de produção de 20% e 100% têm-se ao todo, respectivamente, 86752.451 e 50896.09 toneladas emitidas de CO₂. Apesar do crescimento da emissão advindo da eletricidade e do zeolite do processo de reaproveitamento, se compararmos os dois cenários obtém-se uma redução de 41,33% da emissão de CO₂ equivalente que seria em torno de 35856.361 créditos de carbono que deixaram de ser emitidos.

4.3.2. Recursos de origem fóssil

Avaliando o consumo dos recursos de origem fóssil presente na Figura 21, percebe-se que o consumo de petróleo é dominante em relação aos demais e, à medida que aumenta a porcentagem do processo advindo do reaproveitamento temos o decréscimo do consumo dessa matéria prima. Ademais, é possível observar o aumento proporcional da utilização do gás natural, entretanto, vale ressaltar que o consumo, em mega Joule, em 100% com gás natural corresponde a 1,75% do consumo de petróleo no processo com apenas 20% de reaproveitamento.

Figura 21 – Consumo recursos de origem fóssil para o reaproveitamento em mega joule



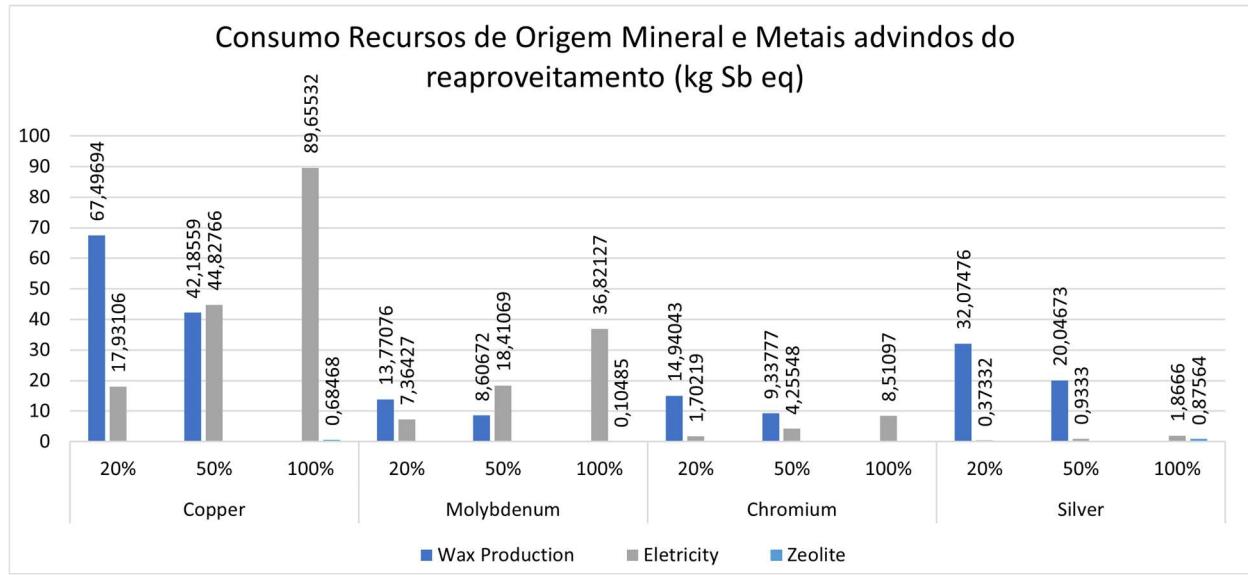
Fonte: Autoria Própria, 2023

E, assim como na Figura 17, o gráfico aponta uma pequena presença de urânio associado à eletricidade quando 100% do processo vem do reaproveitamento. Esse metal advém da produção de energia nuclear que, no Brasil, corresponde a apenas 1,3% da matriz energética brasileira. (EPE, 2022)

4.3.3. Recursos de origem mineral

Por fim, foi avaliado se houve o decréscimo no consumo de recursos de origem mineral e metais associado para cada porcentagem da produção da cera-base advinda do reaproveitamento pós consumo.

Figura 22 – Consumo recursos de origem mineral e metais advindos do reaproveitamento em quilogramas de Sb equivalente



Fonte: Autoria Própria, 2023

Analizando o gráfico, é possível observar um pico de consumo de cobre e molibdênio advindo do aumento do uso de energia elétrica associada à produção de reaproveitamento. Entretanto, ao analisar o número total consumido desses materiais temos um consumo de 155.65 e 138.52 kg de antimônio equivalente correspondente a produção de 20 e 100%, respectivamente, ou seja, um decréscimo de 11.01% da utilização dos recursos de origem mineral.

5. CONCLUSÃO

Utilizando a análise de ciclo de vida foi possível avaliar os impactos ambientais do processo produtivo das sacolas plásticas assim como da alternativa de reaproveitamento do material de polietileno de baixa densidade (PEBD) que iria ser descartado em aterros sanitários.

Os resultados obtidos para a produção tradicional das sacolas a produção dos grânulos de PEBD apresentou o maior nível de impacto de todo o processo produtivo tanto na emissão de gases do efeito estufa como no consumo de recursos minerais e de origem fóssil. Ademais, para o reaproveitamento das sacolas pós consumo, a produção da cera-base apresentou um decréscimo significativo no valor das categorias de impacto analisadas em comparação aos impactos causados pela produção tradicional de cera.

Em suma, a transformação das sacolas plásticas de polietileno para a produção de cera-base pode ser uma alternativa viável para obter um melhor desempenho ambiental e diminuição dos impactos ambientais ao retirar progressivamente esses materiais dos aterros sanitários.

Em conclusão, este estudo possibilitou uma melhor compreensão da ferramenta da análise de ciclo de vida e suas fases, assim como mostrou a versatilidade desse método para avaliação de aspectos cruciais associados à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

Software

OpenLCA: The Life Cycle and Sustainability Modeling Suite. GreenDelta, 2006.

Legislação

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 14040 – Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. ABNT. Brasil, 2009a.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 14044 – Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. ABNT. Brasil, 2009b.

BRASIL. Lei 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF

Autores

ABRAS. SACO É UM SACO: ORIENTAÇÕES SOBRE CONSUMO CONSCIENTE E PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DE SACOLAS PLÁSTICAS PELOS CONSUMIDORES. Volume 3 – Cartilha Para Consumidores - Brasília, 2011. Disponível em: <<https://www.abras.com.br/pdf/cartilha3web.pdf>>. Acesso em: 02 de abril de 2023.

VELINO, Guilherme Monteiro. A RECICLAGEM QUÍMICA COMO ALTERNATIVA AO TRATAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS NO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2020.

BARBOSA, Luiz A. DREGER, Ademir, A. SCHNEIDER, Eduardo L. MORISSO, Fernando D. P., SANTANA, Ruth M. C. Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações. Revista Espacios. v. 38, n 17. p 10. 2017. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a17v38n17/17381710.html>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2023.

BÍBLIA Vida Melhor. Nova Versão Internacional. Rio de Janeiro: Thomas Nelson Brasil, 2014. Pag 425, cap 28. 984 p. Antigo e Novo Testamento.

Braskem. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COMPARATIVA ENTRE COPOS DESCARTÁVEIS E REUTILIZAVEIS. Disponível em: <http://www.pagina22.com.br/wp-content/uploads/2015/10/ACV_Copos-Descart%C3%A1veis-X-Reutiliz%C3%A1veis-1.pdf> Acesso em 15 de abril de 2023.

Cesar Julio. COP26: Brasil promete reduzir emissões de CO2 em 50% até 2030. UOL, 2021. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/544741/cop26-brasil-meta-emissoes-2030/>>. Acesso em 13 de abril de 2023.

CORREIA JUNIOR, Edmar; OLIVEIRA, Julia Pin de; MELLO, Fabiana Ortiz Tanoue de. Logística reversa pós consumo: o caso da reciclagem de embalagens. Revista de Ciência e Tecnologia Fatec Lins, Lins/SP, ano 6, v. 6, n. 2, p. 59-73, jul./dez. 2020. Disponível em: C:/Users/Rosicler/Documents/RIC CPS/59-73.pdf. Acesso em: 08 de Janeiro de 2023.

COSSUL, Sibila B., LYRA, Júlio C. R., BAGETTI, João H. ANÁLISE DE CAUSAS RELACIONADAS AS PARADAS DE MÁQUINAS E AUMENTO DE DESPERDÍCIOS EM MATÉRIA-PRIMA EM UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE SACOLAS. In: III Simpósio Nacional de Engenharia de Produção. Dourados - Mato Grosso do Sul, 2021. Disponível em:<<https://ocs.ufgd.edu.br/index.php?conference=sinep&schedConf=IIISINEP&page=page&op=viewFile&path%5B%5D=1333&path%5B%5D=1240>>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

Coutinho, Fernanda M. B., Mello, Ivana L. e Santa Maria, Luiz C. de. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. Polímeros [online]. 2003, v. 13, n. 1 [Acessado 3 Janeiro 2023], pp. 01-13. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>>. Epub 28 Mar 2003. ISSN 1678-5169. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>.

DE PAOLI, Marco-Aurelio. Degradação e estabilização de polímeros. São Paulo: Artliber, 2009.

DORNELLAS, Leandro Diniz et al.. O reuso de plástico como fonte de pebd (polietileno de baixa de densidade) na fabricação de cera em pasta. Anais I ENECT / UEPB... Campina Grande: Realize Editora, 2012. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/1691>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia, 2022. 262 páginas. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2023.

Freese, Juliana Thaissa. Análise do ciclo de vida de copos plásticos de poliestireno e de canecas de cerâmica utilizados para servir café em um ambiente de trabalho. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/10183/114605>>.

Fujita, Igor T. B., Pires, Sidney. C. Análise do ciclo de vida do polietileno obtido a partir da cana de açúcar. TCC. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

Gerbase, Annelise Engel e Oliveira, Camila Reis de. Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química. Química Nova [online]. 2012, v. 35, n. 7 [Acessado 8 Janeiro 2023], pp. 1486-1492. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700035>>. Epub 16 Ago 2012. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700035>.

GOV BR. População Brasileira chega a 213,3 milhões de habitantes, estima IBGE. GOV. BR, 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/08/populacao-brasileira-chega-a-213-3-milhoes-de-habitantes-estima-ibge>>. Acesso em 02 de abril de 2023.

IBGE. Cidades e Estados. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>>. Acesso em 11 de abril de 2023.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. Organizações alertam para impactos ambientais e socioeconômicos da concessão de blocos de petróleo e gás natural da ANP. 2022. Disponível em: < [http://energiaeambiente.org.br/organizacoes-alertam-para-impactos-ambientais-e-socioeconomicos-da-concessao-de-blocos-de-petroleo-e-gas-natural-da-anp-20220411#:~:text=O%20setor%20de%20energia%2C%20que,\(SEEG\)%2C%20do%20Observat%C3%B3rio%20do](http://energiaeambiente.org.br/organizacoes-alertam-para-impactos-ambientais-e-socioeconomicos-da-concessao-de-blocos-de-petroleo-e-gas-natural-da-anp-20220411#:~:text=O%20setor%20de%20energia%2C%20que,(SEEG)%2C%20do%20Observat%C3%B3rio%20do)>. Acesso em 12 de abril de 2023.

KOPPER, Ernani. PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DE TERMOPLÁSTICO RECICLADO. Depositante: Manut Soe Eletromecanica Ltda. PI 9501056-4 A2. Depósito: 09 mar 1995. Disponível em:<<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodigoPedido=467460&SearchParameter=PI%209501056-4%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>>. Acesso em 08 de janeiro de 2023.

LACERDA, Matheus T. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PLÁSTICOS DE BASE FÓSSIL E VEGETAL. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

Marcelle C. McManus, Caroline M. Taylor. The changing nature of life cycle assessment. Biomass and Bioenergy. v. 82. p 13-26. November, 2015. doi: 10.1016/j.biombioe.2015.04.024

MATOS, Veronica Nogueira de. Impactos ambientais da produção e descarte de sacolas de diferentes materiais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo. São José dos Campos, 2019.

Mayorga, D. (2020). *Ciclo de vida del plástico (polipropileno) como residuo domiciliario en el barrio La Bella Estancia, Localidad 19, Bogotá D.C según la NTC-ISO 14040. [Proyecto aplicado]*. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/35541>.

OECD (2022), Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060, OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development. Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>.

ONU (2015). Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 - Consumo e produção responsáveis. Disponível em:<<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>>. Acesso em 08 de janeiro de 2023.

ONU (2022) Assembleia ambiental da ONU termina com 14 resoluções para conter a poluição e proteger e restaurar a natureza. Disponível em:< <https://brasil.un.org/pt-br/173811-assembleia-ambiental-da-onu-termina-com-14-resolucoes-para-conter-poluicao-e-proteger-e>>. Acesso em 08 de janeiro de 2023.

ONU News. (2022). Assembleia do Meio Ambiente aprova acordo para acabar com poluição plástica até 2024. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/03/1781522>>. Acesso em 08 de janeiro de 2023.

Os ensaios em sacolas plásticas. AdNormas, 2019. Disponível em:<<https://revistaadnormas.com.br/2019/11/19/os-ensaios-em-sacolas-plasticas>>. Acesso em 22 de dezembro de 2022.

PACTO GLOBAL, Rede Brasil. (2000). Cartilha Rede Brasil do Pacto Global. Disponível em:<https://www.pactoglobal.org.br/assets/docs/cartilha_pacto_global.pdf>. Acesso em 08 de janeiro de 2023.

Parkash, M.; Pihic, S. Resource efficient manufacturing of plastic bags - A study analyzing the materials, manufacturing and recycling of plastic bags. (2017). Disponível em: <<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1151678/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

PENG PENG DUAN, YONGFENG HAN, WEIWEI CAO, TAO LEI, ZHE LIU, ZHAOHUI MIN, SHAOHUA ZENG, Catalytic cracking of waste polyethylene into wax-based warm-mix agent for optimizing rheological and mechanical properties of asphalt composites, Construction and Building Materials, Volume 370, 2023, 130732, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130732>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823004439>>. Acesso em 05 de abril de 2023

PEREIRA, Beatriz Aparecida Muniz. Repensando o ciclo: avaliação do ciclo de vida do ácido polilático em substituição do polietileno em absorventes descartáveis. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13768>.

PIRAMIDAL. Como é o processo de fabricação do plástico?. Piramidal, 2020. Disponível em:<<https://www.piramidal.com.br/blog/resinas-termoplasticas/processo-de-fabricacao-do-plastico/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

PISTOR, V.; CHIESA, A.; ZATTERA, A. J. Estudo do Reprocessamento de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) Reciclado do Processamento de Extrusão de Filmes Tubulares. Laboratório de Polímeros, Universidade de Caxias do Sul, UCS. Disponível em: <https://www.revistapolimeros.org.br/article/10.1590/S0104-14282010005000045/pdf/polimeros-20-4-269.pdf>>. Acesso em 03 de janeiro de 2023.

Pistor, Vinicius, Chiesa, Amauri e Zattera, Ademir J.. Estudo do reprocessamento de polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado do processamento de extrusão de filmes tubulares. *Polímeros* [online]. 2010, v. 20, n. 4 [Acessado 3 Janeiro 2023], pp. 269-274. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000045>>. Epub 12 Nov 2010. ISSN 1678-5169. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000045>.

PRESSE, France. Baleia morre depois de engolir 80 sacolas plásticas na Tailândia. G1 Globo, 2018. Disponível em:<<https://g1.globo.com/natureza/noticia/baleia-morre-depois-de-engolir-80-sacolas-plasticas-na-tailandia.ghtml>>. Acesso em 22 de dezembro de 2022.

Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, Belloni A, Gioacchini G, Blondeel C, Zucchelli E, De Luca C, D'Avino S, Gulotta A, Carnevali O, Giorgini E, Raman. Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers (Basel)*. 2022 Jun 30;14(13):2700. doi: 10.3390/polym14132700. PMID: 35808745; PMCID: PMC9269371.

Santos, Camila Lopes dos. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GARRAFAS PET DE REFRIGERANTE E SEU GERENCIAMENTO PÓS-CONSUMO A PARTIR DO CICLO DE VIDA NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL URBANOS. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2022.

Silva, Victor A. O. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2018.

Spinacé, M. A. da S., & De Paoli, M. A.. (2005). A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, 28(1), 65–72. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100014>

TORRES, Amelia A. U. ENVELHECIMENTO FÍSICO QUÍMICO DE TUBULAÇÕES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE EMPREGADAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO. Tese (Mestrado) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO. Rio de Janeiro, 2007. <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.11035>.

UNEP - United Nations Environment Program. (2022). THE RESUMED SESSION OF UNEA - 5 (UNEA - 5.2). Disponível em: <<https://www.unep.org/environmentassembly/unea-5.2>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2023.

Wachter, Bruno & De Keulenaer, Hans & Herrmann, Constantin. (2015). The big 6 environmental impact categories Minute Lectures The foundation for a Life Cycle Assessment (LCA). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/333039870_The_big_6_environmental_im>

pact_categories_Minute_Lectures_The_foundation_for_a_Life_Cycle_Assessment_LCA> Acessado em 04 de janeiro de 2023.

Welle Deutsche. G1. Como cada país da União Europeia lida com a energia nuclear. G1, Globo, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2022/08/09/como-cada-pais-da-uniao-europeia-lida-com-a-energia-nuclear.ghtml>>. Acesso em 12 de abril de 2023.

XL Plastics. HOW ARE PLASTIC BAGS MADE?. (2018). Disponível em: <<https://www.xlplastics.com/plastic-bags-made/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.