



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

ANA CAROLINA DIAS PACHECO

**COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO DE  
DESLIZAMENTO DE ENCOSTAS A PARTIR DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

Recife

2023

ANA CAROLINA DIAS PACHECO

**COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO DE  
DESLIZAMENTO DE ENCOSTAS A PARTIR DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

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

Pacheco, Ana Carolina Dias.

COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO DE  
DESLIZAMENTO DE ENCOSTAS A PARTIR DA ANÁLISE DE CICLO DE  
VIDA / Ana Carolina Dias Pacheco. - Recife, 2023.

56 : il., tab.

Orientador(a): Felipe Pedro da Costa Gomes  
(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e  
Geociências, , 2023.

1. Avaliação de Ciclo de Vida. 2. encostas. 3. impermeabilização. 4. impacto.  
5. sustentabilidade. I. Gomes, Felipe Pedro da Costa. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

ANA CAROLINA DIAS PACHECO

**COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO DE  
DESLIZAMENTO DE ENCOSTAS A PARTIR DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

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

---

Profa. Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Glória Maria Vinhas (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento desse trabalho e de outros marcos importantes em minha vida contou com a presença de pessoas significativas, dentre as quais eu agradeço:

Aos meus pais, Teresa e Marcelo, e ao meu irmão, João, por me ensinarem sobre força e acima de tudo sobre persistência.

A minhas amigas que ganhei durante a graduação, Angela, Eduarda e Éven, por dividirem comigo toda a trajetória desde o início do curso e sempre me incentivarem.

A minhas amigas de vida, Alana, Elisa e Ingredy, pelo apoio em todos os momentos, por serem abraço e compreensão acima de tudo.

Ao meu noivo, Antônio, por ser incentivador e parceiro, partilhando a vida e cada pedaço mais complicado dela.

Ao meu orientador, Felipe, pela atenção e disponibilidade em realizar esse trabalho.

A Deus, por me fazer enxergar a beleza da conclusão de ciclos e de tudo que ainda me espera.

## RESUMO

As cidades brasileiras cresceram de forma desordenada, resultando em características urbanas que não seguem padrões adequados, levando a população a ocupar áreas de risco, como encostas. No estado de Pernambuco, atualmente, utiliza-se de três alternativas para contenção de taludes, lonas plásticas de PEBD, geomantas e gel polimérico, evitando a permeabilidade da água nos mesmos. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) surge como uma metodologia prática para analisar os impactos ambientais dos resíduos gerados por esses produtos, além de estudo comparativo de produtos e processos, a ACV fundamenta discussões de sustentabilidade a fim de objetivar resultados mais abrangentes. As diferentes etapas dos ciclos de vida dos materiais foram simuladas no software OpenLCA, com os resultados de índices de impactos gerados para diferentes cenários. As simulações levaram em consideração variados números de aplicações, visto que a durabilidade dos materiais também sofre mudanças. A análise dos resultados demonstrou que as lonas plásticas de PEBD apresentam um maior impacto geral, visto que suas variadas aplicações elevam ainda mais o nível das emissões de gases de efeito estufa e utilização de recursos fósseis, principalmente.

**Palavras-chave:** Avaliação de Ciclo de Vida; encostas; impermeabilização; impacto; sustentabilidade.

## ABSTRACT

Brazilian cities have grown in a disorderly way, resulting in urban characteristics that do not follow adequate standards, leading the population to occupy risk areas, such as slopes. In the state of Pernambuco, currently, three alternatives are used to contain slopes, plastic tarps of LDPE, geomats and polymer gel, avoiding the permeability of water in them. The Life Cycle Assessment (LCA) emerges as a practical methodology to analyze the environmental impacts of the residues generated by these products, in addition to a comparative study of products and processes, the LCA supports sustainability discussions in order to achieve more comprehensive results. Different stages of the material's life cycle were simulated using OpenLCA with impact results obtained for different scenarios. The simulations took into account a number of applications, since the durability of the materials also changes. Results analysis showed that the LDPE plastic tarps have a greater overall impact, since their various applications increase even more the level of greenhouse gas emissions and the use of fossil resources.

**Keywords:** Life Cycle Assessment; slopes; waterproofing; impact; sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Aplicação de lonas plásticas de PEBD em encostas	17
Figura 2 –	Aplicação de geomanta de PVC em encostas	18
Figura 3 –	Aplicação de gel polimérico em encostas	20
Figura 4 –	Etapas da Análise de Ciclo de Vida	22
Figura 5 –	Tela inicial do OpenLCA	27
Figura 6 –	Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 1	29
Figura 7 –	Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 2	30
Figura 8 –	Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 3	30
Figura 9 –	Criação do processo de especificação da matéria-prima da lona	31
Figura 10 –	Entrada e saída da especificação de matéria-prima da lona	32
Figura 11 –	Criação do processo de consumo da lona	33
Figura 12 –	Entrada e saída de consumo da lona	33
Figura 13 –	Processo produtivo da geomanta baseado na unidade funcional	35
Figura 14 –	Processo produtivo do gel polimérico baseado na unidade funcional	36
Figura 15 –	Sistema construído no OpenLCA para cenário 1	38
Figura 16 –	Avaliação do uso de recursos fósseis para cenário 1	39
Figura 17 –	Avaliação de mudança climática para cenário 1	39
Figura 18 –	Avaliação de consumo de água para cenário 1	40
Figura 19 –	Avaliação do uso de recursos fósseis variando com proporções das origens dos grânulos	41
Figura 20 –	Avaliação do consumo de água variando com proporções das origens dos grânulos	42
Figura 21 –	Avaliação de mudança climática variando com proporções das origens dos grânulos	42
Figura 22 –	Sistema construído no OpenLCA para cenário 2	43
Figura 23 –	Avaliação do uso de recursos fósseis para cenário 2	44
Figura 24 –	Avaliação de mudança climática para cenário 2	44
Figura 25 –	Avaliação de consumo de água para cenário 2	45

Figura 26 –	Sistema construído no OpenLCA para cenário 3	46
Figura 27 –	Avaliação do uso de recursos fósseis para cenário 3	47
Figura 28 –	Avaliação de mudança climática para cenário 3	47
Figura 29 –	Avaliação de consumo de água para cenário 3	48
Figura 30 –	Avaliação comparativa de uso de recursos fósseis entre cenários	49
Figura 31 –	Avaliação comparativa de mudança climática entre cenários	49
Figura 32 –	Avaliação comparativa de consumo de água entre cenários	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes e respectivos pesos utilizados na formação da geomanta	34
Tabela 2 – Componentes e respectivos pesos utilizados na formação do etilbenzeno	35
Tabela 3 – Base de componentes utilizado no processo produtivo de gel polimérico	36
Tabela 4 – Relação entre materiais impermeabilizantes e sua respectiva duração	37
Tabela 5 – Variação dos impactos para o uso de recursos fósseis	40
Tabela 6 – Proporções de grânulos em diferentes origens	41
Tabela 7 – Variação das análises para o uso de recursos fósseis	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CED	<i>Cumulative Energy Demand</i>
DRP	<i>Deep Rooting Plants</i>
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
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
PEUBD	Polietileno de ultrabaixa densidade
PVC	Poli (cloreto de vinila)
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	FORMULAÇÃO DE HIPÓTESE	14
1.2	OBJETIVO	15
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	MÉTODOS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS	15
<b>2.1.1</b>	<b>Lonas plásticas</b>	<b>15</b>
2.1.1.1	Polímero utilizado na obtenção de lonas plásticas	15
2.1.1.2	Processo produtivo de lonas plásticas	17
<b>2.1.2</b>	<b>Geomantas</b>	<b>18</b>
2.1.2.1	Polímero utilizado na obtenção de geomantas	18
2.1.2.2	Processo produtivo de geomantas	19
<b>2.1.3</b>	<b>Gel polimérico</b>	<b>20</b>
2.2	ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	21
<b>2.2.1</b>	<b>Histórico e definição</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Fases do estudo de ACV</b>	<b>22</b>
2.2.2.1	Definição de objetivo e escopo	22
2.2.2.2	Análise de inventário	24
2.2.2.3	Avaliação de impactos	24
2.2.2.4	Interpretação de Resultados	25
2.3	REVISÃO DE LITERATURA	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>26</b>
3.1	SOFTWARE	26
<b>3.2.1</b>	<b>Base de dados</b>	<b>27</b>
3.2	DESENVOLVIMENTO DA ACV	27
<b>3.2.1</b>	<b>Definição do objetivo e escopo</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Definição de cenários</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Definição das fronteiras do sistema</b>	<b>29</b>
3.3	ANÁLISE DE INVENTÁRIO	31
<b>3.3.1</b>	<b><i>Input</i> de dados</b>	<b>31</b>

3.4	AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>37</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	37
4.2	CENÁRIO 1 – LONA PLÁSTICA	38
<b>4.2.1</b>	<b>Avaliação dos impactos</b>	<b>38</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise de sensibilidade</b>	<b>40</b>
4.3	CENÁRIO 2 – GEOMANTA	43
<b>4.3.1</b>	<b>Avaliação dos impactos</b>	<b>44</b>
4.4	CENÁRIO 3 – GEL POLIMÉRICO	45
<b>4.4.1</b>	<b>Avaliação dos impactos</b>	<b>46</b>
4.5	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CENÁRIOS	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A política ambiental conduz um olhar de proteção, conservação, uso sustentável e recomposição dos recursos naturais, através de iniciativas governamentais com apoio dos mais diversos atores (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

Com base nesse tema, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pela Organização das Nações Unidas (ONU), junto a 193 Estados membros em setembro de 2015, aborda diversas dimensões ambientais, sociais e econômicas, dentro de seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (KRONEMBERGER, 2018).

O ODS 12 é um dos principais a concentrar o conceito da política ambiental, pois aborda o Consumo e Produção Responsáveis, através de uma métrica de redução da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Além de se propor a atingir o manejo sustentável de produtos químicos, avaliando o ciclo de vida desses, a fim de minimizar impactos negativos sobre o meio ambiente (IPEA, 2019).

Abrindo a particularidade do ODS 11, que aborda as cidades e assentamentos humanos de forma a torná-los inclusivos, seguros e sustentáveis, ainda traz consigo a meta de aumentar a urbanização e a capacidade de gerenciamento e planejamento dos assentamentos através de uma gestão participativa do Estado. Além de indicadores que articulem a produção habitacional, a provisão de infraestrutura, como a implantação de obras de segurança em encostas (IPEA, 2019).

O desenvolvimento e expansão das cidades brasileiras de forma desordenada estabeleceu características de urbanização fora dos padrões, como vias de circulação sem a dimensão adequada, variados tamanhos e formas de lotes e ocupações ilegais de terras de propriedade pública ou privada. Além disso, corroborou com a ocupação de terrenos em áreas de risco, como as encostas, marcando a formação desses espaços marcados pela exclusão socioespacial (CARVALHO; GALVÃO, 2006).

Pernambuco é o estado da região Nordeste com maior número de municípios suscetíveis a deslizamentos de encostas (CARVALHO; GALVÃO, 2006). Os pesquisadores ainda abordam que o número de assentamentos precários, a que parte da população é passível, é fruto da ineficiente política habitacional que amplia,

diretamente, esses potenciais riscos ambientais existentes, principalmente na região metropolitana do estado.

São anos em sequência sem o devido investimento nos taludes, mesmo com o orçamento sendo pleiteado. No ano de 2021, por exemplo, cerca de 80 milhões de reais foram destinados para obras de contenção e gestão de risco nas encostas, em uma arrecadação de mais de 5 bilhões de reais, representando apenas 1,48% da despesa anual da Prefeitura da cidade do Recife (MORAES, 2022).

No estado, atualmente, tem-se a utilização de quatro alternativas prioritárias, sendo o muro de arrimo a solução mais adequada por apresentar maior durabilidade e confiabilidade. A lona plástica, o gel polimérico e a geomanta são as alternativas utilizadas como soluções paliativas emergenciais para conter o quadro de risco já instalado nas áreas mapeadas, por sua função principal de promover impermeabilização ao talude.

Considerando as três soluções alternativas citadas anteriormente, para além dos impactos ambientais do processo de fabricação de um produto, é importante considerar as consequências durante a sua utilização até à sua completa degradação. Buscando de forma eficiente avaliar o ciclo de vida de um produto, considerando desde a obtenção da matéria-prima, a rota de processamento utilizada e sua eliminação. Os pesquisadores Hu e Milner (2020) abordam a Análise de Ciclo de Vida (ACV) como o método mais conhecido e difundido globalmente para essa avaliação.

No Brasil, o método é fundamentado através da ABNT 14040, revisada em 2009, em que consiste na avaliação do impacto ambiental potencial, além de mensurar a entrada no processo de insumos e energia, assim como as saídas de emissões gasosas, resíduos e produtos. A ACV pode subsidiar tomada de decisões e identificação de oportunidades de melhoria de processos e produtos para uma otimização do desempenho ambiental (ABNT, 2009a).

## 1.1 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESE

Através dos índices de impacto ambiental obtidos pela metodologia ACV serão apresentados argumentos que apoiem a seleção dos principais métodos paliativos utilizados para impermeabilização de encostas como forma de prevenção a deslizamento, com propósito de minimizar impactos socioambientais dos negócios em suas cadeias de valor.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o ciclo de vida dos métodos utilizados como alternativas ao deslizamento de taludes, analisando os impactos ambientais dos resíduos gerados por esses produtos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar rotas alternativas para o processamento dos principais métodos de impermeabilização de encostas através da metodologia da ACV regida pela ABNT 14040;
- Identificar pontos críticos e apresentar levantamento dos impactos de produção dos materiais;
- Realizar a quantificação de balanços de massa e de energia dos processos de fabricação dos materiais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MÉTODOS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

#### 2.1.1 Lonas plásticas

##### 2.1.1.1 Polímero utilizado na obtenção de lonas plásticas

As tradicionais lonas plásticas são feitas de polietileno de baixa densidade (PEBD), polímero que compõe uma das principais posições quando comparado a outros utilizados no mercado brasileiro, correspondendo a 21% de todo o plástico consumido, segundo relatórios divulgados pela ABIPLAST (2019).

Sendo um polímero semicristalino de matriz petroquímica, o polietileno (PE), possui sua estrutura cristalina organizada dentro das lamelas, que são distribuídas de forma planar, estabelecendo cadeias perpendiculares à cadeia principal. As suas propriedades são fruto de suas fases amorfas e cristalinas, sendo as lamelas

interligadas através de pontes que formam as regiões amorfas. Além disso, é caracterizada por ser uma estrutura de cadeia dobrada, ou zigue-zague, para cada 5 - 10 nm (DOAK, 1986).

Por causa de sua conformação, Peacock (2000) descreve em suas principais características o PE como um produto flexível, de baixo ponto de fusão e com uma resistência considerável à tração. Além disso, por possuir uma estabilidade de suas propriedades físicas e inércia química combinado a baixo custo de processamento, os usos desse material são expandidos para as mais diversas aplicações.

O grupo catalítico e o cenário reacional em que ocorre o processo de polimerização, diferenciam os tipos de PE, em cinco categorias, sendo: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno linear de baixa densidade (PELBD), polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e, por fim, polietileno de ultrabaixa densidade (PEUBD) (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Dentre as características que diferenciam as variedades de PE, tem-se os catalisadores que são utilizados em seus processos de polimerização, evidenciando propriedades diferentes para cada um deles, como, por exemplo, a maior densidade adquirida do PEAD corresponde a uma maior eficiência na orientação, alinhamento e empacotamento das cadeias. Além disso, as forças intermoleculares, Van der Waals, agem de forma mais representativa, gerando uma cristalinidade maior se comparada a do PEBD. Com isso, as aplicações relacionadas a cada uma das variedades de polietileno surgem evidenciando suas melhores características (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

As principais características evidenciadas das lonas plásticas são relativas às suas propriedades mecânicas, como é o caso da flexibilidade, material de processamento simples, resistente ao impacto, além de serem inertes diante da maioria dos produtos químicos amplamente utilizados, por conta de seu caráter parafínico e hidrofobicidade (NEVES, 1999). Comumente para essa finalidade, são utilizadas as lonas plásticas pretas, Figura 1, de espessura de 200 micras, unidade de medida amplamente utilizada para o material, equivalente a 0,2 mm (WURTH, 2020).

Figura 1 – Aplicação de lonas plásticas de PEBD em encostas



Fonte: SECOM (2021).

#### 2.1.1.2 Processo produtivo de lonas plásticas

Filmes de PEBD, como podem ser caracterizados as lonas plásticas, são produzidos através do processo de extrusão tubular, que se destaca, dentre as suas finalidades, para a produção de embalagens, sacarias, filmes para construção civil e para fins agrícolas. Sendo aliado a uma elevada produtividade, esse processamento permite ao produto um baixo custo de produção (HARADA; MARCONDES, 2022).

Em relação ao equipamento utilizado, a extrusora é composta por um parafuso de rosca sem fim que tem a finalidade de transportar o material ao longo do canhão, sendo posteriormente, aquecido, plastificado e comprimido. O aquecimento pode ser obtido através do atrito entre os *pellets*, forma convencional de denominar os grânulos de resinas plásticas, e a matriz, sendo por meio de vapor, óleo ou resistência elétrica. Essa etapa ocorre para que o material seja amolecido e possa ser conformado da forma requerida (OTTERBACH, 2011).

Os principais sistemas que compõem uma extrusora são, basicamente, o sistema de acionamento, de alimentação, de plastificação, de aquecimento e resfriamento, além de um conjunto de telas com filtro e placa perfurada. Por fim, a matriz de conformação, em que o material é forçado por ela, a fim de alcançar suas características de dimensões finais (FERREIRA, 2012).

Após isso, o filme é direcionado ao resfriamento, seja por imersão em água ou

por contato com rolos metálicos que apresentam um sistema de resfriamento interno. Para atingir a espessura final, o filme é tracionado por uma sequência de roletes de tração e tem suas laterais aparadas, para que não exista diferença entre as espessuras encontradas no filme. Por fim, os filmes são enrolados em bobinas para serem direcionados ao consumidor final (OTTERBACH, 2011).

### 2.1.2 Geomantas

As geomantas ou geomembranas impermeabilizantes, são compostas, principalmente, por PVC com fios sintéticos e, para finalização de seu processo de aplicação, são revestidas com uma camada de cimento aplicado de forma pulverizada, conforme Figura 2, misturado a água, areia, aditivos e pigmento, para elevar sua capacidade de proteção mecânica (CAVALCANTI, 2017).

Figura 2 – Aplicação de geomanta de PVC em encostas



Fonte: G1 BA (2020).

#### 2.1.2.1 Polímero utilizado na obtenção de geomantas

O policloreto de vinila, ou PVC, segundo Nunes, Rodolfo e Ormanji (2002) está consolidado entre os plásticos mais consumidos do planeta, sendo descoberto em 1835, mas com sua expansão para produção comercial em torno de 90 anos depois, em 1927. Sendo considerado um polímero polivalente, por sua capacidade de apresentar variabilidade entre rigidez e flexibilidade, o PVC alavancou sua popularidade por suas características físicas, além de ter um custo acessível e fácil

processabilidade.

O PVC apresenta uma composição de 57% de cloro, produto alcançado pela eletrólise do sal marinho e 43% de eteno, obtido através da matriz petroquímica. Em sua forma pura, não apresenta utilização industrial por conta das características químicas e físicas agregadas, sendo possível a produção de produtos apenas com a utilização de aditivos adicionados à resina de PVC, sendo formado o composto (IBPVC, s.d.).

Sendo utilizados para as mais diversas aplicações, desde calçados, brinquedos e para o setor automotivo, o PVC tem seu principal uso relacionado à construção civil, em tubos, conexões, cabos e fios. Além disso, outra aplicação muito expressiva é registrada nos setores de laminados e esmaltados, em que se observa fabricação de revestimentos com similaridades estéticas ao couro e geomembranas, por exemplo (FERNANDES; DIACENCO, 2015).

#### 2.1.2.2 Processo produtivo de geomantas

As geomantas apresentam composições que possibilitam uma grande variabilidade dependendo de sua aplicação (COLMANETTI, 2006). Para o caso em questão, o processo produtivo se caracteriza pela extrusão em chapas, especificamente a calandragem, em que a composição do produto é previamente pesada e misturada em uma câmara denominada *Farrel type* ou *Banbury type* e depois segue em uma correia transportadora até o moinho misturador (SANTOS, 2019).

De forma objetiva, após a saída do moinho misturador utiliza-se cilindros malaxadores, que são responsáveis por receber o composto fundido e dosar de forma previamente estabelecida para encaminhar a extrusora para formação de tubetes que serão destinados para a alimentação da calandra (NUNES; RODOLFO; ORMANJI, 2002).

A conformação do filme é obtida na calandra após passar consecutivamente por vários rolos que apresentam variadas temperaturas, na ordem de 10°C de variação, alcançando uma temperatura máxima de 150 a 190 °C. Por fim, a espessura final obtida varia em torno de 0,5 a 3,0 mm e com largura de até 2,40 m (PEREIRA, 2018).

### 2.1.3 Gel polimérico

O gel polimérico, apresentado na Figura 3, é uma das alternativas utilizadas na região metropolitana e na cidade do Recife, para controle de erosão e estabilização do solo de encostas e taludes. O composto viscoso é formado por uma dispersão aquosa baseada em éster acrílico, com teores variando de 40% a 50%, água em teor de 50% a 60%, e pigmento à base de água. Na sua forma final, este material se classifica como um compósito com matriz polimérica, composta pela adição da resina acrílica (acrilonitrila) com aditivos como tolueno, etilbenzeno e óleos, e reforços particulados em suspensão, como o pó de serra e algumas sementes, por exemplo (SANTANA, 2021).

Primeiramente, o etilbenzeno, líquido incolor e inflamável que para o presente composto é responsável por atribuir propriedades de resistência à abrasão. O tolueno, outro componente de matriz petroquímica, por ser utilizado como solvente, proporciona um aspecto mais líquido na mistura do gel concentrado. Já para o óleo e graxa, tem sua função centrada no aumento da viscosidade aparente, trazendo uma consistência mais desejável à aplicação de forma pulverizada do produto, além disso, a acrilonitrila possibilita fluidez e resistência térmica e mecânica (GRT, 2020).

Figura 3 – Aplicação de gel polimérico em encostas



Fonte: REFCON (2023).

## 2.2 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

### 2.2.1 Histórico e definição

Atualmente, com as discussões ambientais tomando mais espaço e forma nas corporações e na sociedade como todo, a responsabilidade socioambiental é fator essencial para o sucesso de uma empresa. A busca por formas de otimização do uso dos recursos naturais existentes tem levado inúmeras organizações a assumirem tais responsabilidades (BARBOSA JÚNIOR et al, 2007).

O impacto ambiental atrelado ao processo fabril de um produto, é importante de ser avaliado, mas as considerações acerca das consequências durante a sua utilização até sua degradação completa elevam o nível das discussões. Por conta disso, avaliar o ciclo de vida de um produto através de uma ferramenta que colabore e facilite esse processo tornou-se imprescindível (SANTIAGO, 2007).

Nesse sentido, surge o *Life Cycle Assessment*, correspondente ao acrônimo LCA, que foi utilizado pela primeira vez nos Estados Unidos no início dos anos 90. Contudo, os estudos relativos a esse tipo de análise, ocorrem desde o final da década de 60, mas sua designação era dada por *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) (FERREIRA, 2004).

Sendo conduzido pelo *Midwest Research Institute* (MRI) para a Companhia Coca Cola, foi elaborado um dos primeiros estudos, datado em 1969, sendo responsável por quantificar recursos requeridos, emissões e os resíduos gerados por diferentes embalagens de bebidas. Por conter informações confidenciais, este estudo nunca foi publicado, mas seus resultados puderam ser observados pelo trabalho conduzido pela Coca-Cola ao demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que existem uma série de variáveis e contextos a serem considerados (HUNT; FRANKLIN, 1996).

Com a adesão da nomenclatura Análise de Ciclo de Vida (ACV), a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* elevou o tema, sendo responsável pela organização de diversas conferências. O objetivo era reunir profissionais, utilizadores e investigadores do tema, a fim de otimizar e trazer inovações para a metodologia (FERREIRA, 2004).

A Organização Internacional para a Normalização (ISO), em 1992, instaurou um comitê técnico a fim de conduzir questões ambientais de forma regulamentada. Dessa forma, surgiram normas para a Análise de Ciclo de Vida, correspondentes ao grupo ISO 14040. No Brasil, a ABNT, instituiu o tema dentro das normas ABNT 14040 (2009a) e ABNT 14044 (2009b), em que cada uma das etapas constituintes da ACV foram estabelecidas e detalhadas (FERREIRA, 2004).

Segundo Curran (1999), a ACV tem abrangido um conceito que engloba além de uma metodologia para comparativo de produtos e processos, sendo atualmente vista como peça fundamental para discussões de sustentabilidade para conseguir objetivos mais abrangentes, como a consolidação de rotas para a Economia Circular.

### 2.2.2 Fases do estudo de ACV

Como abordado anteriormente, segundo Ferreira (2004), a ACV surge como método analítico de potenciais impactos ambientais através da leitura e interpretação dos processos que envolvem a obtenção e o descarte do produto. Portanto, faz-se necessário definições e análises prévias que serão destrinchadas nos tópicos seguintes e estão expostas de maneira relacional na Figura 4, para a realização de um estudo mais completo e eficaz.



Fonte: Adaptado de ABNT (2009a).

#### 2.2.2.1 Definição de objetivo e escopo

Como primeira etapa, a definição de escopo e objetivo tem a função geral de descrever os produtos e processos relacionados, além de determinar o contexto de

realização da análise, demarcar limites e os impactos ambientais que serão revistos (U.S.EPA, 2001).

O objetivo de um estudo de ACV deve ser composto pela aplicação pretendida, as motivações para execução do estudo, o público-alvo a quem será direcionado o estudo e, por fim, se os resultados obtidos serão utilizados posteriormente em afirmações comparativas (ABNT, 2009a). Partindo para o escopo, sua definição é de suma importância para que a partir do detalhamento e dimensão do estudo, seja possível atender o objetivo traçado. Além disso, o escopo precisa abordar itens como: função e unidade funcional; fluxos de referência; fronteiras do sistema; procedimentos de alocação; categorias de impacto selecionadas; requisitos dos dados, pressupostos; limitações; requisitos de qualidade dos dados (HANUN et al., 2019).

Detalhando os itens dispostos anteriormente, a função aborda os requisitos necessários para o produto, processo ou serviço, sendo possível um mesmo sistema apresentar diversas funções, mas a escolha deve ser alinhada de acordo com o objetivo definido para o estudo (ABNT, 2009a). A unidade funcional é apresentada pela quantificação das funções identificadas, define precisamente o que está sendo estudado e cria uma unidade de referência para o sistema de produto, em que as entradas e saídas podem ser relacionadas. Além disso, a unidade funcional é uma base importante que permite que os produtos ou serviços alternativos possam ser comparados e analisados (ABNT, 2009b). Por fim, os fluxos de referência podem ser definidos como a quantidade de produtos necessária para cumprir a unidade funcional estabelecida (IBICT, 2015).

Em relação às fronteiras do sistema, são responsáveis por definir os processos elementares que irão compor o sistema, sendo necessário identificar quais entradas e saídas são significativas, já que não se faz necessário quantificar aquelas que não geram alteração expressiva nas conclusões do estudo (ABNT, 2009a). Além disso, segundo o pesquisador Jacquemin et al. (2012), as fronteiras podem ser classificadas considerando a partida e o fim do ciclo de vida do produto, como *Cradle-to-grave* (“do berço ao túmulo”), em que é considerado o ciclo de vida a partir da extração da matéria-prima até a disposição final. A segunda classificação é dada por *Cradle-to-gate* (“do berço ao portão”), de forma semelhante a anterior, considera-se desde a extração da matéria-prima, mas é encerrado com o final da manufatura do produto. Por fim, *Gate-to-gate* (“do portão ao portão”) em que se apresenta uma maior especificidade, por considerar apenas uma unidade de processo, como a manufatura

do produto, por exemplo.

#### 2.2.2.2 Análise de inventário

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é a etapa que reúne informações de quantidade de insumos utilizados e identifica o nível de consumo de energia e todas as saídas do processo, como emissões atmosféricas, geração e descarte de resíduos sólidos e efluentes (KULAY, 2010). Esse procedimento de análise se difere de outros por sua iteratividade, afinal, ao longo da coleta, novos direcionamentos podem ser traçados a fim de que a ampliação de conhecimento sobre o tema eleve a construção de requisitos e facilite a identificação de limitações dos dados coletados inicialmente (ABNT, 2009a).

Segundo Jonker et al. (2012), um balanço material é o que melhor descreve resumidamente a segunda etapa da ACV, determinando entradas e saídas que se relacionam a uma unidade funcional do processo fabril de um produto ou serviço e gerando conexão com os seus impactos ambientais gerados.

A coleta das informações pode ser realizada, principalmente, através de bancos de dados que facilitam esse processo. Entretanto, a etapa segue sendo a mais densa dentre todas as outras que compõem uma ACV, principalmente pela atenção necessária aos dados coletados, em relação a sua qualidade (ALVES, 2014).

Por isso, a modelagem do sistema deve ser feita da melhor forma, englobando: fluxogramas e descrição dos processos implicados, listagem do fluxo de entrada e saída, definição das unidades funcionais das entradas e documentação de irregularidades dos dados coletados anteriormente (ABNT, 2009b). Alguns dos softwares utilizados para realizar a modelagem são: OpenLCA, SimaPro e Gabi (STEUBING et al., 2020).

#### 2.2.2.3 Avaliação de impactos

A terceira fase, denominada de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) apresenta seu principal foco em levantar informações sobre a significância dos impactos ambientais potenciais, dispondo dos resultados obtidos através da etapa anterior, ou seja, o ICV (ABNT, 2009a).

Para essa avaliação, Arbault (2014) define os recursos que são consumidos e

os poluentes emitidos pelo processo produtivo, como fluxos elementares e são, posteriormente, transpostos em impactos ambientais potenciais. O direcionamento desses impactos ocorre através de indicadores de ponto médio, tratando unicamente de problemáticas ambientais, como alterações climáticas ou acidificação, ou indicadores de ponto final, que elevam a discussão dos impactos para seus efeitos perante a biodiversidade, escassez dos recursos e saúde populacional. Um fator interessante é o de conversão dos pontos médios para pontos finais, gerando uma simplificação para a realização da última etapa de interpretação, porém a incerteza dos resultados obtidos pode ser agravada (MEIJER, 2021).

De forma simplificada, a avaliação dos impactos pode ser compreendida por duas fases: classificação e caracterização. Na primeira fase, de classificação, os dados obtidos no inventário podem ser agregados nas classes de impacto que foram definidas na primeira parte da ACV. Posteriormente, é realizada a caracterização, em que os fatores ambientais são agrupados através de equivalências, sendo classificados através disso (ALVES, 2014).

Para essa fase, ferramentas computacionais devem ser utilizadas a fim de gerar informações mais completas através de gráficos e tabelas, com base nos dados do inventário.

#### 2.2.2.4 Interpretação de Resultados

Em definição estabelecida pela norma ABNT (2009a) vigente, a interpretação de resultados consiste no agrupamento das informações levantadas nas etapas prévias de análise de inventário e avaliação dos impactos a fim de que a tomada de decisões ocorra de maneira mais eficiente.

A fase de interpretação deve fornecer consistência quando comparados ao objetivo e escopo traçados inicialmente, levando a conclusões efetivas acerca das limitações da análise e que as recomendações sejam evidenciadas (ABNT, 2009a).

### 2.3 REVISÃO DE LITERATURA

Ao abordar projetos de infraestrutura ou construção civil, relacionados à estabilização de solos devido aos mais variados desafios relacionados às condições que podem ser encontradas em diversos ambientes, em sua maioria, as alternativas

são avaliadas apenas em base do rendimento, desempenho e custo. Entretanto, com a temática da sustentabilidade ambiental com bastante relevância, tornou-se uma das características a ser introduzida e discutida como elemento essencial para o processo de tomada de decisão para procedimentos de estabilização e impermeabilização de solos (SHILLABER; MITCHELL; DOVE, 2016).

Na literatura, Rocco, Taranto e Colombo (2013), exploraram esse novo olhar da sustentabilidade e impacto ambiental para as alternativas utilizadas como antierosivos em solos de encostas e taludes a partir da Análise de Ciclo de Vida. Com a análise, foi possível evidenciar os resultados a partir do indicador de Demanda de Energia Acumulada, ou *Cumulative Energy Demand* (CED), utilizado como parâmetro de eficiência energética, já que eleva um comparativo de demandas de energia primárias em estudo de ACV. Assim, observou-se que os resultados do CED apresentaram uma menor grandeza na solução denominada de *Deep Rooting Plants* (DRP) constituída de sementes variadas, celulose e fertilizantes, do que nas soluções produzidas a partir de matriz petroquímica.

Yates e Barlow (2013), trouxeram levantamentos baseados nas mais diversas literaturas que mostravam tecnologias de biopolímeros em estudos preliminares para a aplicação na fabricação de geomantas capazes de reduções significativas nos impactos ambientais devido aos controles de emissões gasosas mais rigorosas e alterações no modelo de fornecimento externo de energia. Além disso, os estudiosos elevaram a provocação de que com o avanço dos estudos e tecnologias relacionadas à produção de biopolímeros, melhorias e otimizações simultâneas podem ocorrer em polímeros petroquímicos, ocasionando uma redução dos benefícios aparentes dos biopolímeros. Entretanto, as tendências nos estudos mostram que o perfil ambiental dos biopolímeros está em constante evolução e deve continuar nessa ascendência futuramente.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 SOFTWARE**

O software utilizado para a elaboração do presente trabalho foi o *OpenLCA*, uma ferramenta que teve seu desenvolvimento em 2006, pela consultoria *GreenDelta*, focada em ações voltadas à sustentabilidade. A escolha pela utilização dessa plataforma se deu por sua facilidade de manuseio e *input* de dados, além de sua

gratuidade. A Figura 5 apresenta a tela de início do software.

Sendo a ferramenta ideal para o desenvolvimento de estudos acerca da Avaliação do Ciclo de Vida, o *OpenLCA*, atende as normativas regentes da metodologia no Brasil, a NBR ISO 14040 e a NBR ISO 14044.

Figura 5 – Tela inicial do OpenLCA



Fonte: A autora (2023).

### 3.1.1 Bases de dados

Por não possuir uma base de dados própria, como outras plataformas, o OpenLCA, permite a inserção de diversas bases de dados existentes. As bases podem incluir processos bem definidos, fluxos elementares, seja de perdas ou de produtos, métodos para avaliação de impactos, ou seja, inúmeros dados que sejam relevantes para o desenvolvimento do estudo.

A base de dados escolhida para o desenvolvimento do estudo foi a *Environmental Footprints*, desenvolvida pela Comissão Europeia, por ser obtida gratuitamente e apresentar uma variedade de fluxos e processos que atendem a construção do projeto.

## 3.2 DESENVOLVIMENTO DA ACV

### 3.2.1 Definição do objetivo e escopo

O objetivo do estudo de ACV é comparar os impactos ambientais gerados pelos resíduos dos materiais utilizados como alternativas de impermeabilização de encostas: lona plástica de PEBD, geomanta ou geomembrana e gel polimérico. Sendo

a principal motivação avaliar as principais categorias de impacto de cada alternativa.

### 3.2.2 Definição de cenários

Como forma de direcionamento do estudo, foram definidos três cenários para avaliação do objetivo proposto, estabelecendo suas funções, unidades funcionais e fluxo de referência.

A função é comum para todos os cenários, já que o esperado é que as três soluções reduzam ou evitem a permeabilidade da água de chuvas nos taludes e encostas, evitando danos a população e aos seus bens.

- Cenário 1: utilização da lona plástica de PEBD

Para o primeiro cenário, foi avaliada a utilização das lonas plásticas em uma metragem estimada de 400 m<sup>2</sup> de encosta. As dimensões do material correspondem a 8 metros de largura e 50 metros de comprimento, com um peso de, aproximadamente, 37 kg, caracterizado como unidade funcional (LF, 2023).

- Cenário 2: utilização da geomanta de PVC

A geomanta, utilizada para avaliação do segundo cenário, também teve sua avaliação estimada para uma metragem de 400 m<sup>2</sup> de encosta. O material possui uma densidade de 1420 kg/m<sup>3</sup> e espessura de 1,70 mm, levando a um peso aproximado de 965 kg, valor utilizado como unidade funcional. Além disso, foi considerada uma camada de cimento de espessura 0,5 mm, resultando em 3.400 kg (SALVADOR, 2021).

- Cenário 3: utilização do gel polimérico

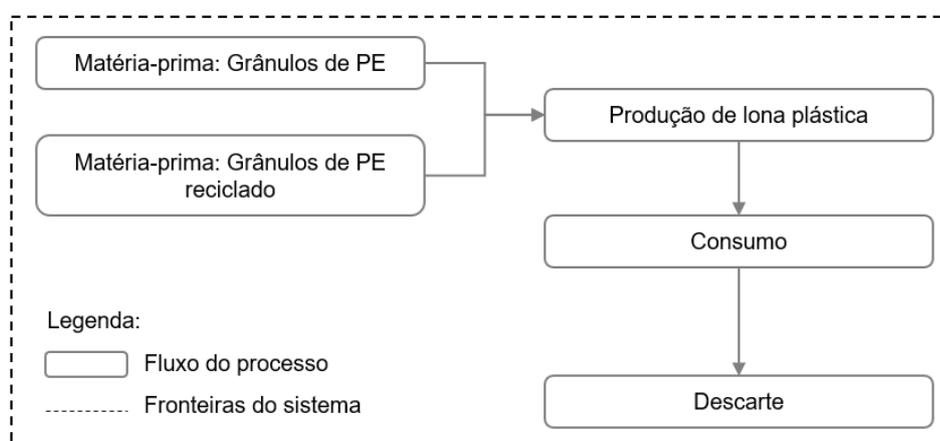
Por fim, para o terceiro cenário, para uma metragem estimada de 400 m<sup>2</sup> de encosta, sendo a unidade funcional de 500 litros de gel polimérico concentrado, por ser a quantidade necessária para utilização, em uma proporção de diluição de 1:5 em água, portanto 2500 litros de água serão utilizados. Segundo literatura, apenas acima de 500 m<sup>2</sup> de área aplicada que se faz necessário o uso de mais de uma proporção de gel (SANTANA, 2021).

### 3.2.3 Definição das fronteiras do sistema

- Cenário 1: utilização da lona plástica de PEBD

O sistema para obtenção do produto foi desenhado a partir das considerações de unidades de processo simplificadas mostradas na Figura 6. As fronteiras também definidas na imagem, são da abordagem “do berço ao túmulo”, pois incorpora desde a extração da matéria-prima ao descarte.

Figura 6 – Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 1

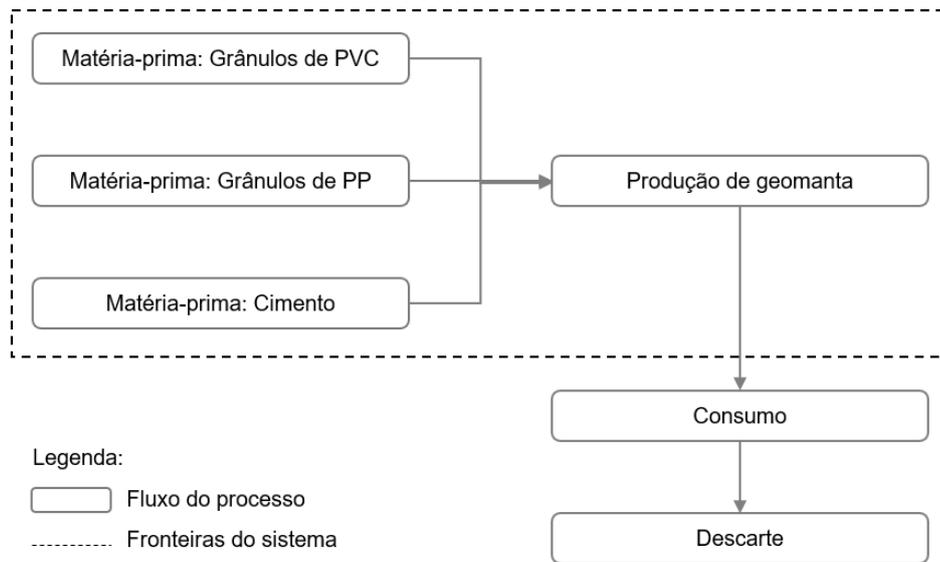


Fonte: A autora (2023).

- Cenário 2: utilização da geomanta de PVC

De forma semelhante ao cenário anterior, o sistema para obtenção do produto foi desenhado e encontra-se ilustrado na Figura 7. As fronteiras também definidas na imagem, são da abordagem “do berço ao portão”, pois incorpora desde a extração da matéria-prima, mas finalizam na manufatura do produto.

Figura 7 – Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 2

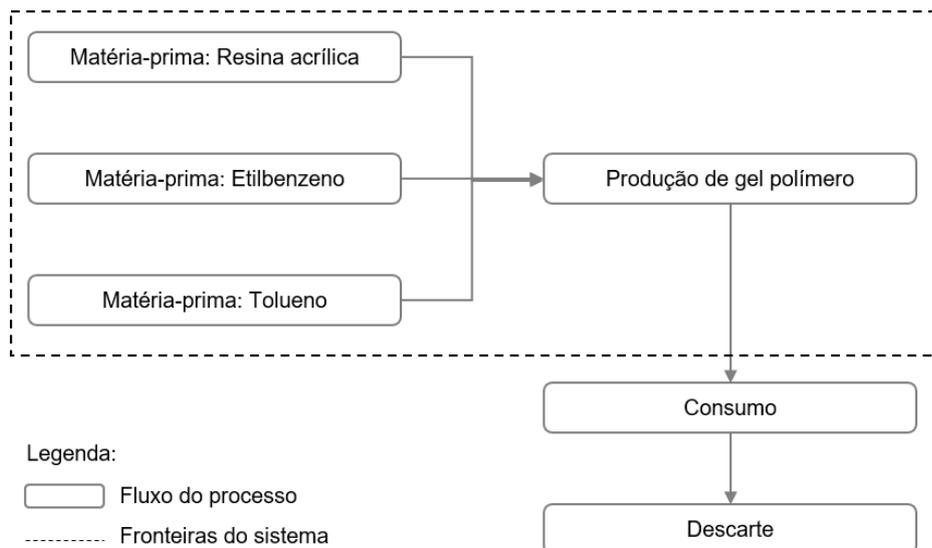


Fonte: A autora (2023).

- Cenário 3: utilização do gel polimérico

Por fim, apresenta-se na Figura 8, o terceiro cenário com seu sistema para obtenção do produto ilustrado. As fronteiras também definidas na imagem, são da abordagem “do berço ao portão”, semelhante ao Cenário 2 por explorar desde a extração da matéria-prima e finalizando na manufatura do produto.

Figura 8 – Delimitações de fluxo e fronteira do sistema no cenário 3



Fonte: A autora (2023).

### 3.3 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Em um primeiro momento, foram construídos os fluxogramas de processo no software OpenLCA, de forma semelhante a apresentada na definição das fronteiras do sistema. Para isso, foram utilizados dados disponíveis na base escolhida e coletados também em artigos científicos, documentos públicos ou notas técnicas, ou obtidos através de cálculos e estimativas.

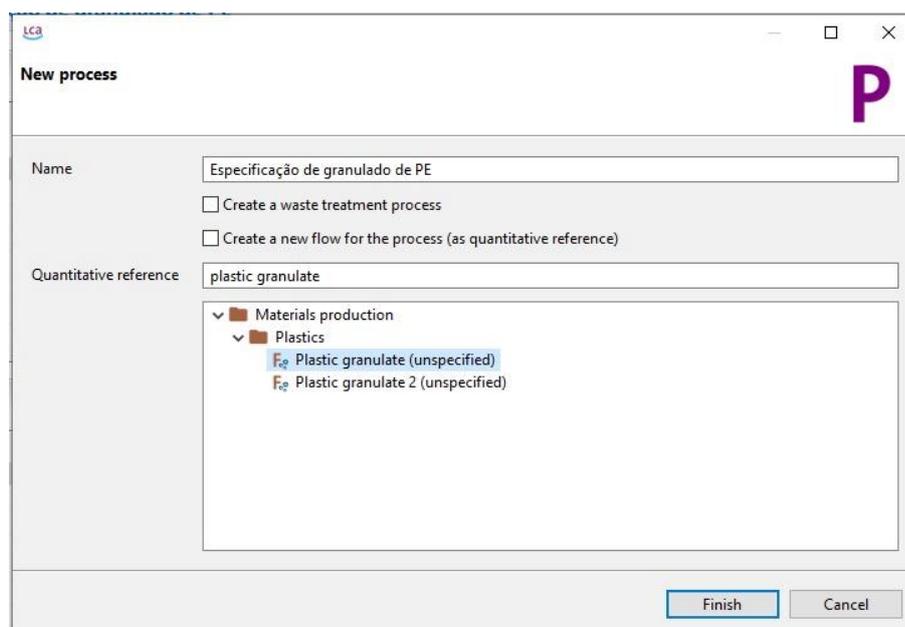
#### 3.3.1 *Input* de dados

Para iniciar a simulação no software, alguns fluxos e processos foram criados para que a construção dos cenários descritos anteriormente pudesse ser realizada de forma mais coerente.

- Cenário 1: utilização da lona plástica de PEBD

Primeiramente, para a construção do primeiro cenário, foi necessária a criação de um bloco, Figura 9, para especificação dos grânulos de polietileno utilizados para a produção das lonas plásticas, visto que a avaliação será feita com parte da matéria-prima reciclada.

Figura 9 – Criação do processo de especificação da matéria-prima da lona



Fonte: A autora (2023).

Após isso, as entradas do sistema foram ajustadas para que a proporção de

matéria-prima virgem e de origem reciclada fosse 1:1. A tela de exibição dos componentes de entrada e saída do software pode ser avaliada na Figura 10.

Figura 10 – Entradas e saída da especificação de matéria-prima da lona

**Inputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided w...	Provider	Data qualit...	Descripti...
PE granulates	Materials production/PL...	0.50000	kg		none		PE gra...		
Plastic granulate (unspecified)	Materials production/PL...	0.50000	kg		none		Plastic ...		

**Outputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided pr...	Provider	Data qualit...	Descripti...
Plastic granulate (unspecified)	Materials production/...	1.00000	kg		none				

Fonte: A autora (2023).

Como estabelecido previamente, a fronteira do sistema avalia da extração da matéria-prima até o descarte, portanto, foi criado o bloco para estabelecer o consumo da lona com sua destinação para aterro sanitário. A Figura 11 mostra a criação do processo.

Figura 11 – Criação do processo de consumo da lona

**New process**

Name:

Create a waste treatment process

Create a new flow for the process (as quantitative reference)

Quantitative reference:

Wastes

- Post consumer waste
  - Waste for incineration with energy recovery
  - Waste for landfill

Finish Cancel

Fonte: A autora (2023).

Para finalizar a inserção de dados do primeiro cenário, a Figura 12, mostra as entradas e saídas do sistema criado anteriormente e com base no que foi estabelecido na definição de cenários.

Figura 12 – Entrada e saída de consumo da lona

**Inputs/Outputs: Consumo de lona plástica**

**Inputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided w...	Provider	Data qualit...	Descripti...
Plastic film (unspecified)	Systems/Unspecific parts	37.00000	kg		none				

**Outputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided pr...	Provider	Data qualit...	Descripti...
Waste (unspecified)	Wastes	17.00000	kg		none				
Waste for landfill	Wastes/Post consume...	20.00000	kg		none				

Fonte: A autora (2023).

- Cenário 2: utilização da geomanta de PVC

De forma semelhante a apresentada anteriormente, iniciou-se o processo de criação do segundo cenário com a criação do fluxo da geomanta, para que fosse possível dar seguimento a criação do processo produtivo. Para isso, foram considerados os dados de densidade e espessura apresentados, 1420 kg/m<sup>3</sup> e 1,70 mm, respectivamente, para o cálculo do peso do material polimérico, de acordo com a Equação 1.

$$m = 1420 \frac{kg}{m^3} \times 0,0017 m \times 400 m^2 \cong 965 kg \quad (1)$$

De acordo com a literatura, o consumo médio de cimento por m<sup>2</sup>, está apresentado em uma faixa de 17 kg a 20 kg, para fins de estudo, considerou-se 17 kg. Além disso, para a Equação 2, foram considerados os valores para 0,5 mm de espessura da camada de chapisco (MAPA DA OBRA, 2014).

$$m_c = 17 \times 400 \times 0,5 = 3.400 kg \quad (2)$$

Com isso exposto, a formação do processo produtivo da geomanta foi construído a partir da Tabela 1, em que os resultados obtidos e alocados no software estão apresentados. Por fim, a tela do *OpenLCA* com as informações, está disposta na Figura 13.

Tabela 1 – Componentes e respectivos pesos utilizados na formação da geomanta

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
Grânulo de PVC	728
Fibra de PP	237
Cimento	3.400

Fonte: GEROTO (2008).

Figura 13 - Processo produtivo da geomanta baseado na unidade funcional

The screenshot shows a software interface for a production process. The main window is titled 'Inputs/Outputs: Geomanta'. It contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs'.

**Inputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality en...	Description
Plastic film (unspecified)	Systems/Unspecific parts	728.00000	kg		none		Film Extrus...		
Polypropylene (PP) fiber	Materials production/Plastics	237.00000	kg		none		Polypropyl...		
Portland cement	Materials production/Other mi...	3400.00000	kg		none		Portland c...		

**Outputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided produ...	Provider	Data quality en...	Description
Geomanta		4365.00000	kg		none				

Fonte: A autora (2023).

- Cenário 3: utilização do gel polimérico

Por fim, para o cenário 3, a simulação se inicia com a criação do fluxo do etilbenzeno por ser um dos componentes utilizados na produção do gel polimérico. Após o fluxo criado, foi possível a criação do processo produtivo do etilbenzeno. A fabricação do etilbenzeno baseia-se no processo de alquilação catalítica do benzeno ( $C_6H_6$ ) decorrente da reação química descrita na Equação 3 (BARCZA, 2013).



Para realização dos cálculos, utilizou-se como base as massas molares do benzeno, de 78,11g/mol, do etileno 28,05 g/mol e por fim, a do etilbenzeno, 106,167 g/mol. Os resultados obtidos e inseridos no software para a formação de 1550 mg de etilbenzeno podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Componentes e respectivos pesos utilizados na formação do etilbenzeno

Componente	Quantidade
Benzeno ( $C_6H_6$ )	1140 mg
Etileno ( $C_2H_4$ )	410 mg

Fonte: A autora (2023).

Com o etilbenzeno estabelecido, foi possível dar continuidade a criação do processo para o gel polimérico. Semelhante ao caso anterior, primeiramente fez-se necessário a criação do fluxo, seguida da criação do processo de produção do gel polimérico.

Como a base utilizada não apresentava nenhum dado que pudesse ser utilizado para esse novo processo, as informações foram obtidas da literatura em uma correspondência a 1 litro de gel polimérico (SANTANA, 2021). Porém, como a unidade funcional estabelecida foi de 500 litros, os valores utilizados foram com base nessa referência e estão apresentados na Tabela 3 e Figura 14.

Tabela 3 – Base de componentes utilizado no processo produtivo do gel polimérico

Componente	Quantidade para 1 L	Quantidade para 50 L
Água	5 L	2500 L
Tolueno	10 mg	5000 mg
Resina acrílica	7,55 mg	3775 mg
Etilbenzeno	3,1 mg	1550 mg

Fonte: SANTANA (2021).

Figura 14 – Processo produtivo do gel polimérico baseado na unidade funcional

The screenshot shows a software interface for managing the production process of a polymer gel. The main window is titled 'Inputs/Outputs: Gel polímero'. It contains two main sections: 'Inputs' and 'Outputs', each with a table of data.

**Inputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided w...	Provider	Data qualit...	Descripti...
Acrylic binder	Organic chemicals/nan	3775.00000	mg		none				
Etilbenzeno		1550.00000	mg		none				
Tap water, technology mix_at u...		2500.00000	kg		none				
Toluene	Organic chemicals/nan	5000.00000	mg		none				

**Outputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided pr...	Provider	Data qualit...	Descripti...
Gel polímero		500.00000	l		none				

Fonte: A autora (2023).

### 3.4 AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Na presente etapa, após a criação dos ciclos de vida dos materiais estabelecidos no software, foi realizada a simulação para verificação dos resultados obtidos, a partir da avaliação dos impactos ocasionados para cada um dos cenários. Os resultados podem ser verificados na próxima seção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para uma avaliação mais coerente dos cenários estabelecidos, a Tabela 4 mostra a relação entre os materiais e sua duração.

Tabela 4 – Relação entre materiais impermeabilizantes e sua respectiva duração

<b>Material</b>	<b>Duração</b>
Lona plástica	30 a 60 dias
Gel polimérico	1 ano
Geomanta	5 anos

Fonte: Adaptado de Markman (2014).

Com base nas informações dispostas, as avaliações foram feitas considerando um ciclo de 5 anos, por ser a duração máxima encontrada entre as alternativas.

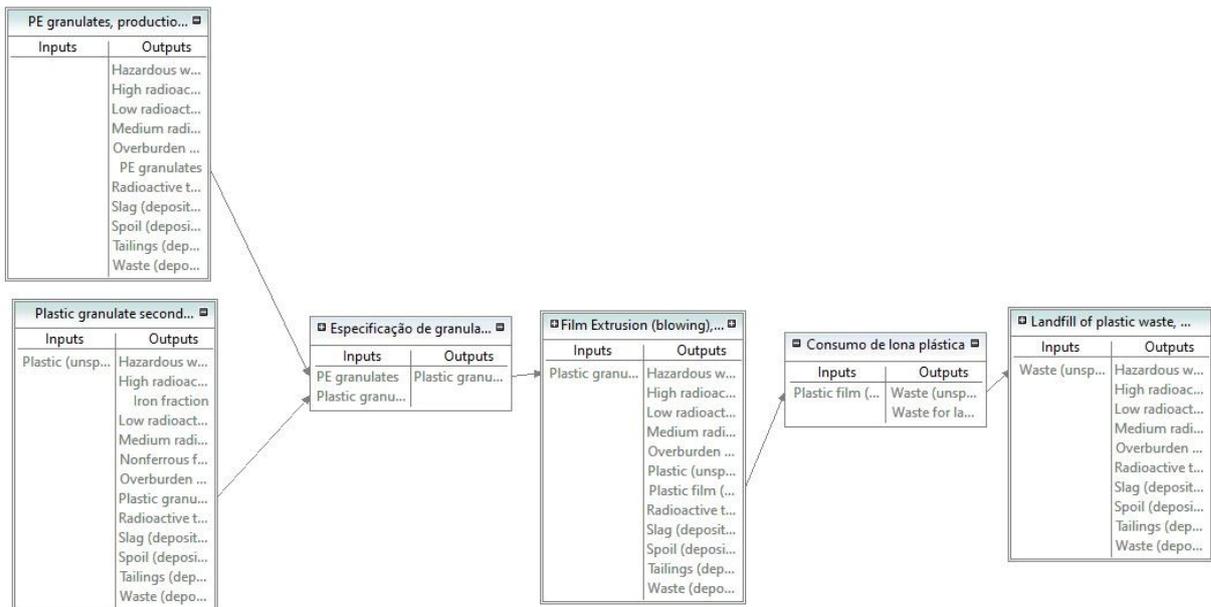
Além da consideração em relação a duração e quantidade de aplicações de cada uma das alternativas, foram selecionadas três categorias de impacto, sendo elas: uso de recursos fósseis, mudança climática e consumo de água. A primeira delas é avaliada a partir de MJ, devido ao consumo de energia relacionada ao processo produtivo. A mudança climática tem por unidade de medida kg CO<sub>2</sub> eq, que estima a comparação de diferentes emissões de gases de efeito estufa. Para a última categoria, consumo de água, a avaliação é feita a partir do m<sup>3</sup> consumido.

## 4.2 CENÁRIO 1 – Lonas plásticas

Para o primeiro cenário, em que se têm as tradicionais lonas plásticas pretas sendo utilizadas, serviu-se de base sua duração máxima de 60 dias de acordo com a literatura (MARKMAN, 2014). Considerando 365 dias no ano, em 5 anos, tempo de duração máxima entre os três cenários apresentados, tem-se 1825 dias. Portanto, as avaliações dispostas na sequência, estão sendo baseadas em 30 aplicações desse método.

O sistema construído no *OpenLCA* está apresentado na Figura 15, considerando a fronteira previamente estabelecida.

Figura 15 – Sistema construído no *OpenLCA* para cenário 1



Fonte: A autora (2023).

### 4.2.1 Avaliação dos impactos

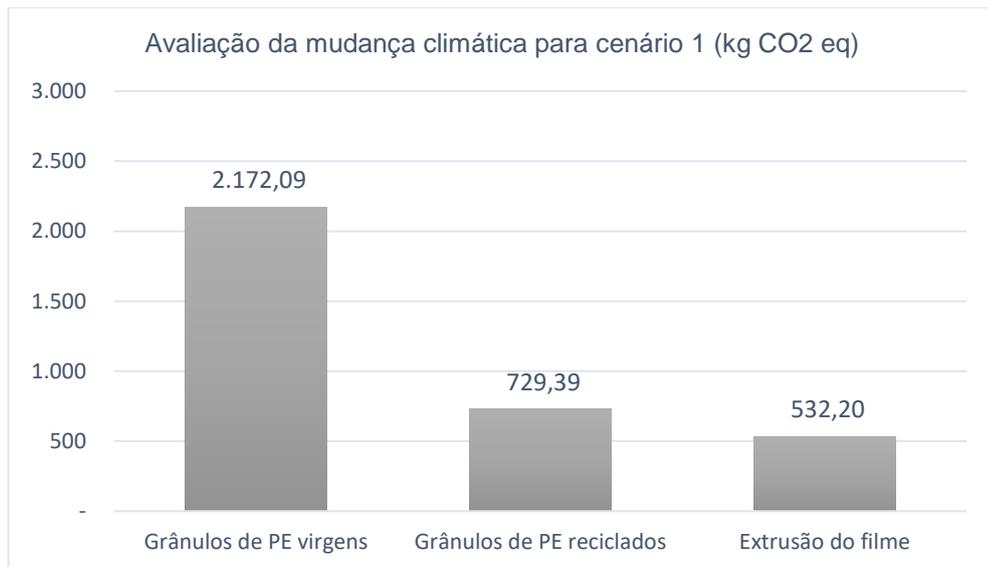
Dentre os impactos dispostos no software utilizado, foram escolhidos os que avaliam mudança climática, consumo de água e uso de recursos fósseis. É possível observar pelos resultados obtidos que a produção de grânulos de PE virgens apresenta grande evidência em relação aos impactos, já que nas três avaliações demonstradas nas Figuras 16, 17 e 18, seus resultados apresentam maior significância quando comparado aos outros processos.

Figura 16 – Avaliação do uso de recursos fósseis para cenário 1



Fonte: A autora (2023).

Figura 17 – Avaliação de mudança climática para cenário 1



Fonte: A autora (2023).

Figura 18 – Avaliação de consumo de água para cenário 1



Fonte: A autora (2023).

Para analisar de forma mais simples os resultados da avaliação do uso de recursos fósseis a Tabela 5 dispõe das variações em percentual quando comparados os diferentes processos envolvidos para a produção da lona conforme cenário 1. Esse resultado se dá, principalmente, pelo processo de extração do petróleo bruto e utilização de gás natural para o processamento do material.

Tabela 5 – Variação dos impactos para o uso de recursos fósseis

	<b>Emissões (MJ)</b>	<b>Diferença (MJ)</b>	<b>Variação percentual</b>
Produção grânulos de PE virgens	77.669,07	-	
Produção grânulos de PE reciclados	5.749,05	- 71.920,02	-92,60%
Extrusão do filme	9.007,44	- 68.661,63	-88,40%

Fonte: A autora (2023).

#### 4.2.2 Análise de sensibilidade

Como a produção de grânulos de PE virgens para todas as análises de impacto apresentou maiores resultados, a análise de sensibilidade foi utilizada para avaliar a variação dos impactos conforme existe a variação de quantidade na entrada de matéria-prima virgem para a produção do produto final.

Os ensaios foram realizados para diferentes proporções de grânulos de origem reciclável e virgens, expressos na Tabela 6.

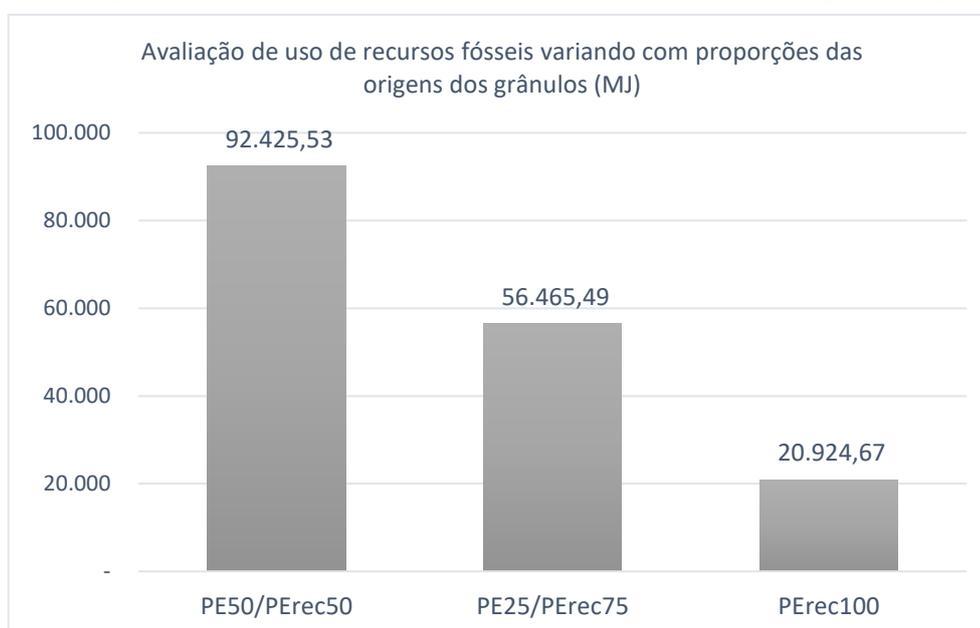
Tabela 6 – Proporções de grânulos em diferentes origens

	PE virgem (kg)	PE reciclado (kg)
PE50/PErec50	0,50	0,50
PE25/PErec75	0,25	0,75
PErec100	0,00	1,00

Fonte: A autora (2023).

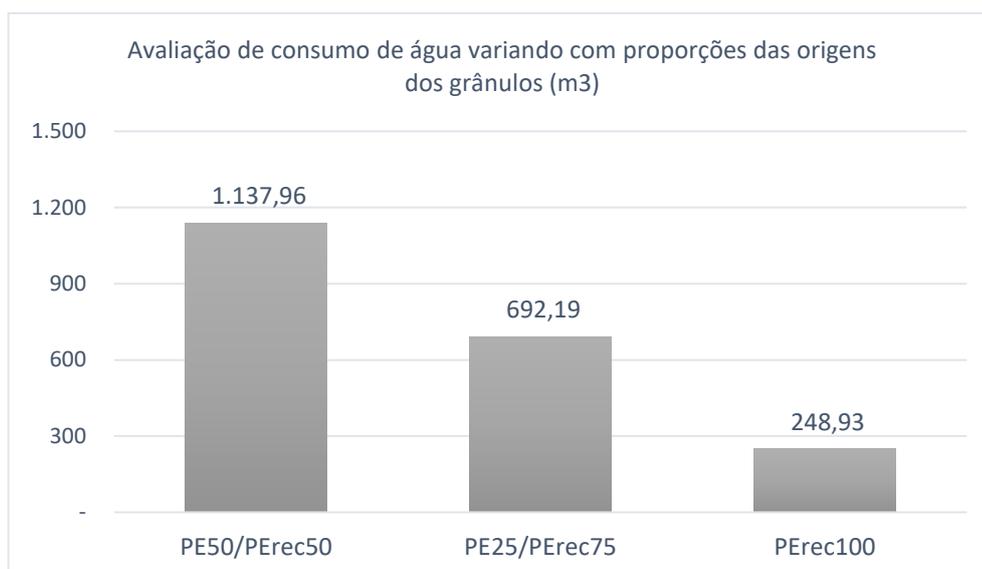
Com as proporções definidas, e as alterações inseridas no OpenLCA no bloco criado para especificação do granulado previamente apresentado, foi possível obter os resultados expressos nas Figuras 19, 20 e 21.

Figura 19 – Avaliação de uso de recursos fósseis variando proporções das origens dos grânulos



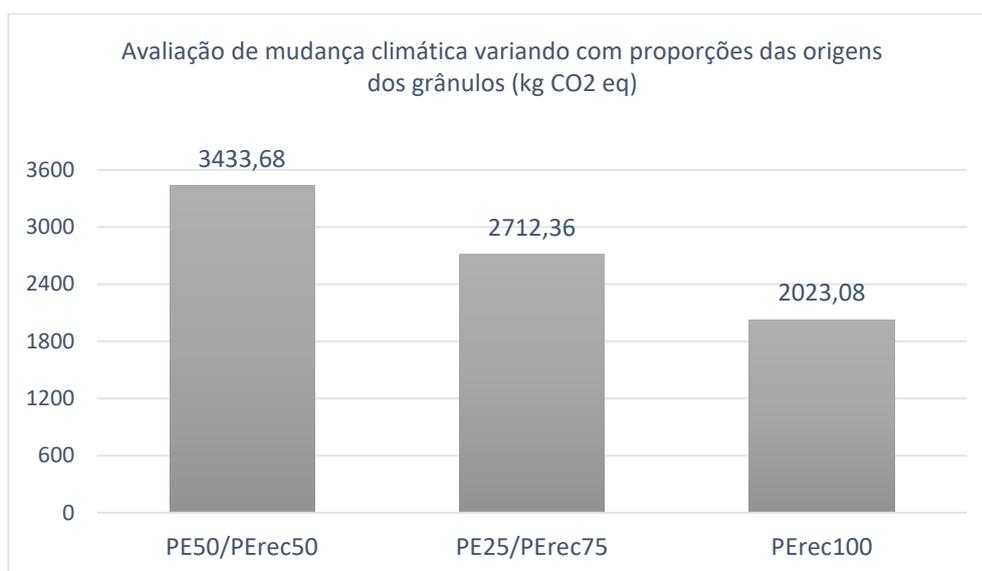
Fonte: A autora (2023).

Figura 20 – Avaliação de consumo de água variando proporções das origens dos grânulos



Fonte: A autora (2023).

Figura 21 – Avaliação de mudança climática variando proporções das origens dos grânulos



Fonte: A autora (2023).

De forma semelhante a realizada anteriormente, na Tabela 7 estão dispostos os resultados do uso de recursos fósseis para as três análises. É possível notar que quando comparadas, as análises PE50/PErec50 e PErec100 evidenciam uma variação percentual de 77%, mostrando que em sua maior significância os impactos para essa categoria são influenciados pela produção do PE.

Esse resultado mostra que a extração do petróleo bruto segue sendo o maior implicador na análise de impactos, seguido pelo uso do gás natural, no caso da

primeira análise. Partindo para a terceira, o gás natural passa a ser o elemento de maior impacto, seguido pelo urânio, umas das principais fontes de energia da Europa, continente utilizado como suporte para construção da base de dados utilizada.

Tabela 7 – Variação das análises para o uso de recursos fósseis

	Emissões (MJ)	Diferença (MJ)	Variação percentual
PE50/PErec50	92.425,53	-	
PE25/PErec75	56.465,49	- 35.960,04	-38,91%
PErec100	20.924,67	- 71.500,86	-77,36%

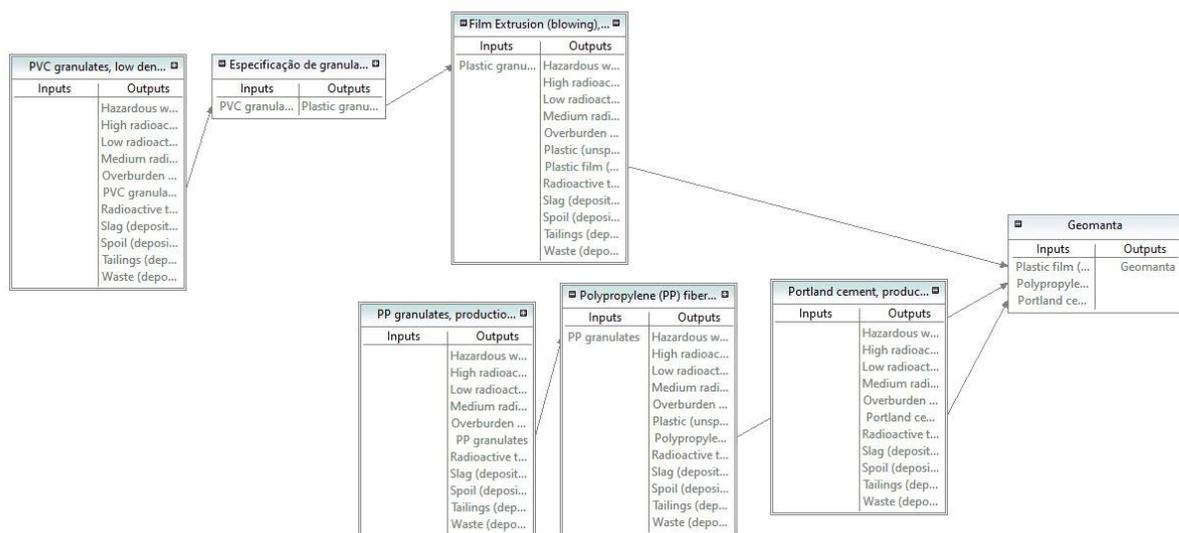
Fonte: A autora (2023).

### 4.3 CENÁRIO 2 - Geomanta

Para o cenário 2, construído com base nas geomantas de PVC, utilizou-se para a realização da simulação apenas o correspondente a uma aplicação, visto que sua duração corresponde a 5 anos, período máximo entre as alternativas avaliadas.

O sistema construído no OpenLCA está apresentado na Figura 22, considerando a fronteira previamente estabelecida.

Figura 22 – Sistema construído no OpenLCA para cenário 2

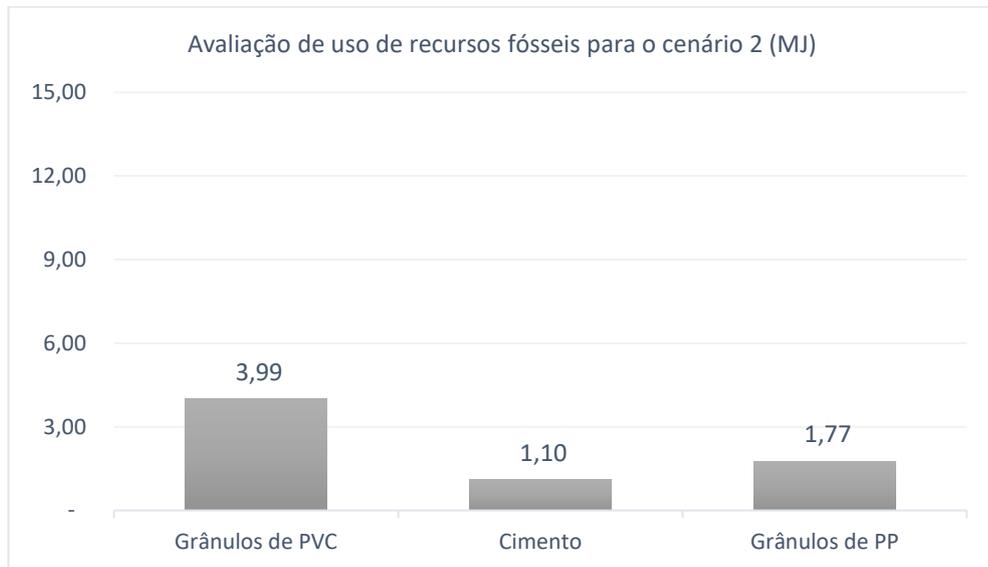


Fonte: A autora (2023).

### 4.3.1 Avaliação dos impactos

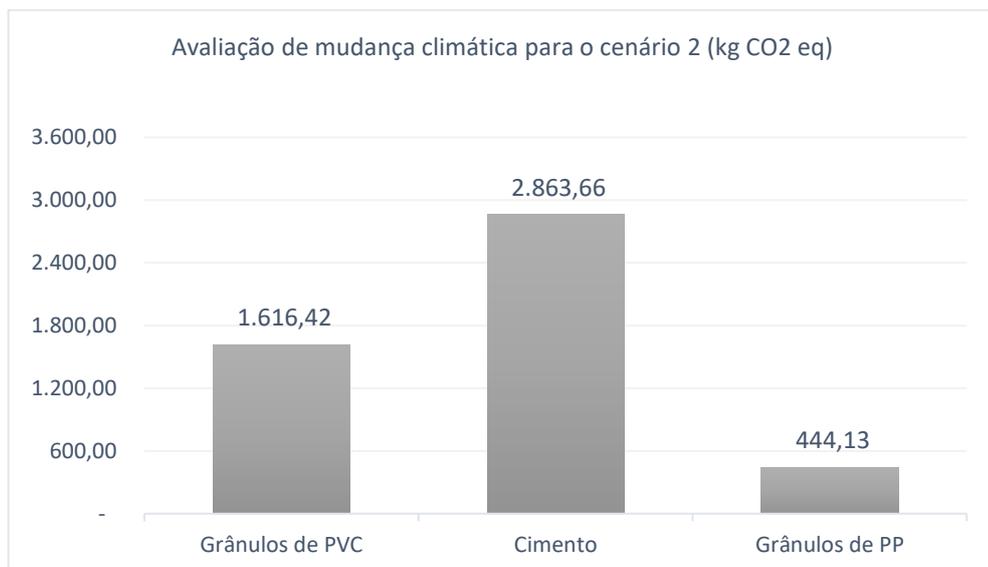
É possível observar pelos resultados obtidos que a produção de grânulos de PVC apresenta representativa evidência em relação aos impactos, sendo sobreposto apenas na categoria de mudança climática pelo processo produtivo do cimento, conforme demonstrado nas Figuras 23, 24 e 25.

Figura 23 – Avaliação de uso de recursos fósseis para o cenário 2



Fonte: A autora (2023).

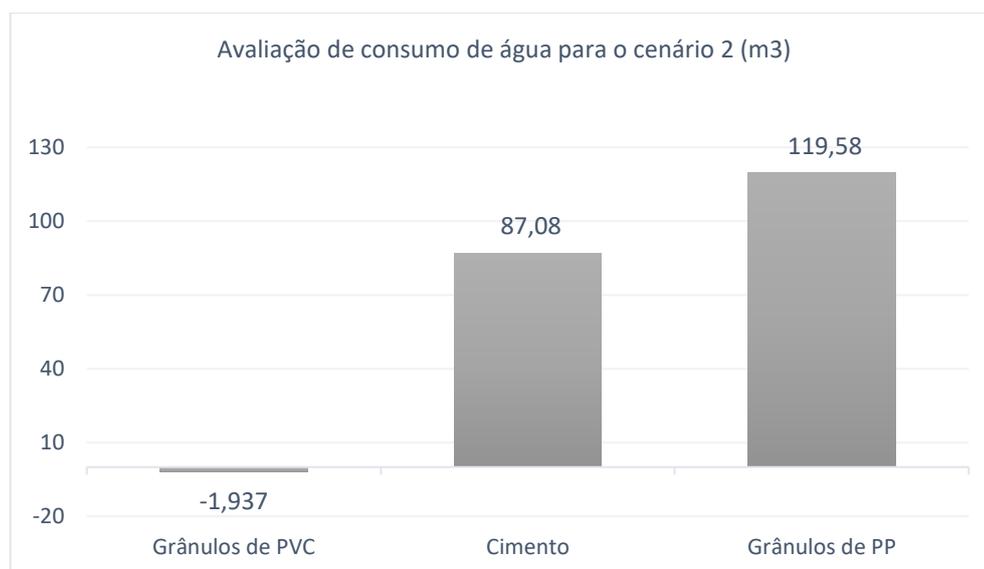
Figura 24 – Avaliação de mudança climática para o cenário 2



Fonte: A autora (2023).

A principal fonte de emissão de gases efeito estufa, observando-se a Figura 24, é o dióxido de carbono advindo da produção de cimento, com 2.796,67 kg CO<sub>2</sub> eq, correspondendo a aproximadamente 98% das emissões totais do processo produtivo citado. Seguem-se em grau de representatividade o metano e o monóxido de carbono.

Figura 25 – Avaliação de consumo de água para o cenário 2



Fonte: A autora (2023).

É de se observar na Figura 25, o impacto numericamente negativo da produção dos grânulos PVC, possivelmente sendo representado dessa forma por conta de excesso de água no processo produtivo. Além disso, a produção dos grânulos de PP utilizados nas fibras, apresenta cerca de 49% do consumo de água do cenário.

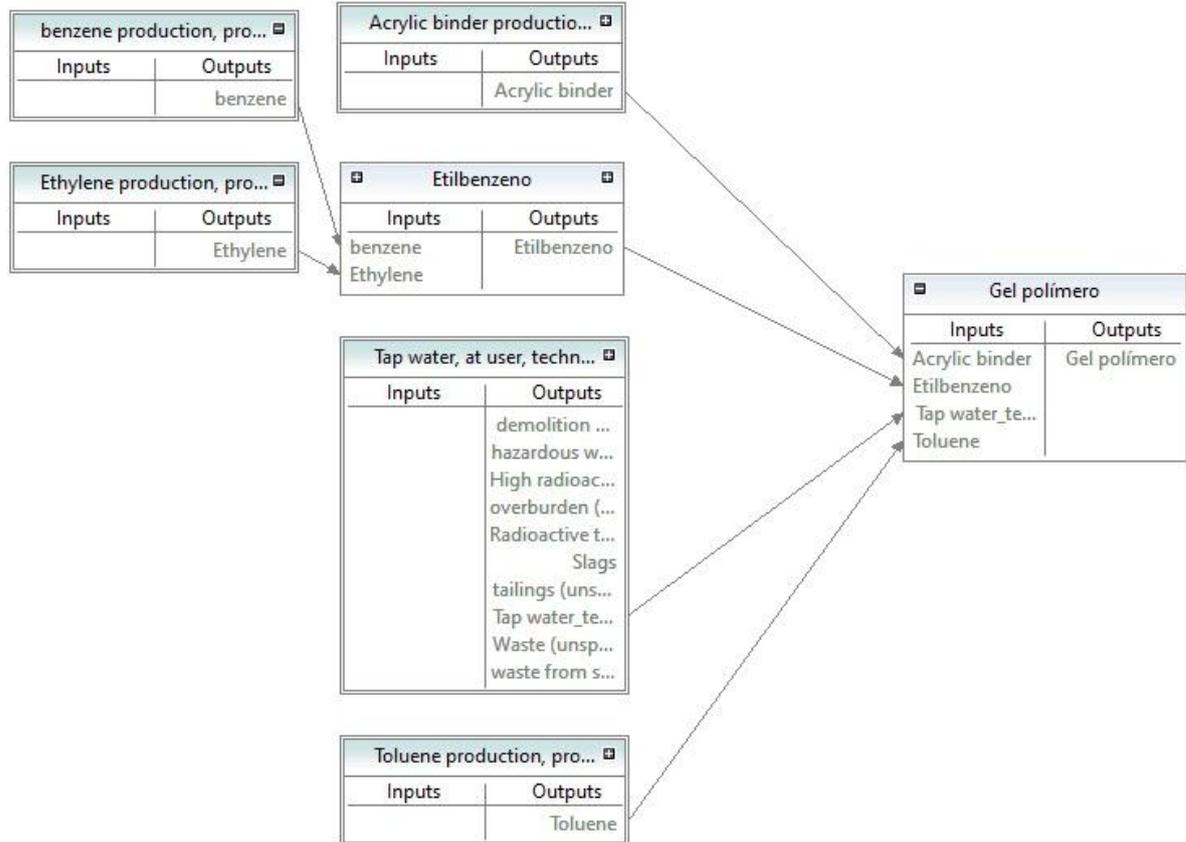
Contudo, a produção dos grânulos de PVC apresenta uma grande significância em seus impactos ao avaliarmos de forma geral as três categorias. De forma semelhante ao cenário anterior, o gás natural e o petróleo bruto representam a maior taxa de emissão de energia advinda de origem fóssil.

#### 4.4 CENÁRIO 3 – Gel polimérico

Por fim, para o último cenário construído, o material apresenta uma duração de 1 ano, segundo a literatura (MARKMAN, 2014). Portanto, as avaliações dispostas na sequência, estão sendo baseadas para 5 aplicações desse método.

O sistema construído no *OpenLCA* está apresentado na Figura 26, considerando a fronteira previamente estabelecida.

Figura 26 – Sistema construído no *OpenLCA* para cenário 3



Fonte: A autora (2023).

#### 4.4.1 Avaliação dos impactos

Para as avaliações de impacto da produção do gel polimérico a partir da resina acrílica, o maior detrator é a água utilizada para diluição no momento da aplicação. As Figuras 27, 28 e 29 demonstram a variação dos impactos entre os três processos mais significativos.

Figura 27 – Avaliação de uso de recursos fósseis para o cenário 3



Fonte: A autora (2023).

Para a Figura 27, é possível observar que a água utilizada para diluição apresenta considerável discrepância quando comparada aos outros dois produtos. Contudo, para o tolueno e resina acrílica, os impactos dessa categoria seguem de forma semelhante aos cenários anteriores, com o petróleo bruto e o gás natural com as maiores taxas, respectivamente.

Figura 28 – Avaliação de mudança climática para o cenário 3



Fonte: A autora (2023).

Figura 29 – Avaliação de consumo de água para o cenário 3



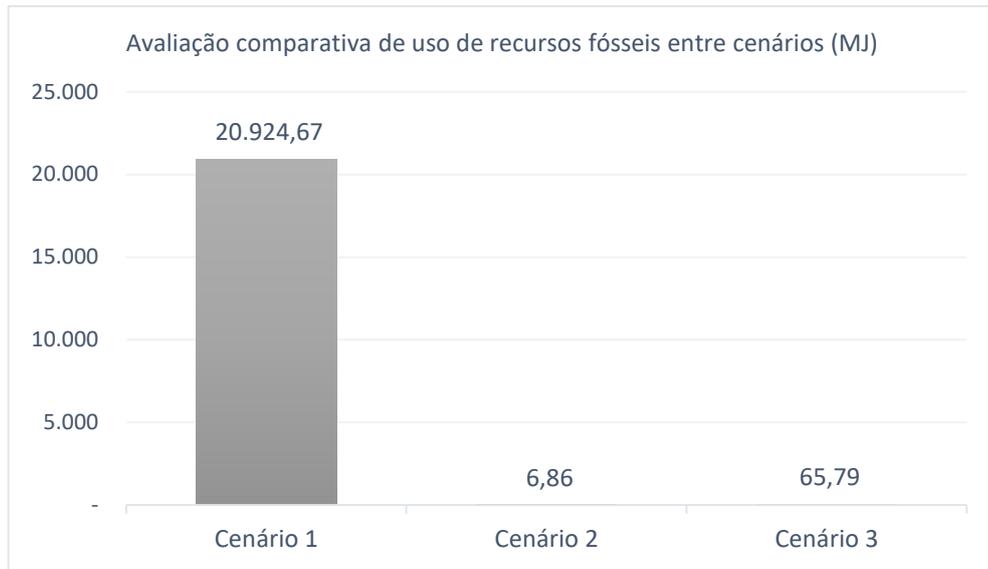
Fonte: A autora (2023).

Em relação aos resultados apresentados na Figura 29, para a avaliação de consumo de água, 538,30 m<sup>3</sup> são provenientes da diluição realizada, representando um percentual de aproximadamente 100%, visto que os outros processos apresentam uma parcela que pode ser desconsiderada.

#### 4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CENÁRIOS

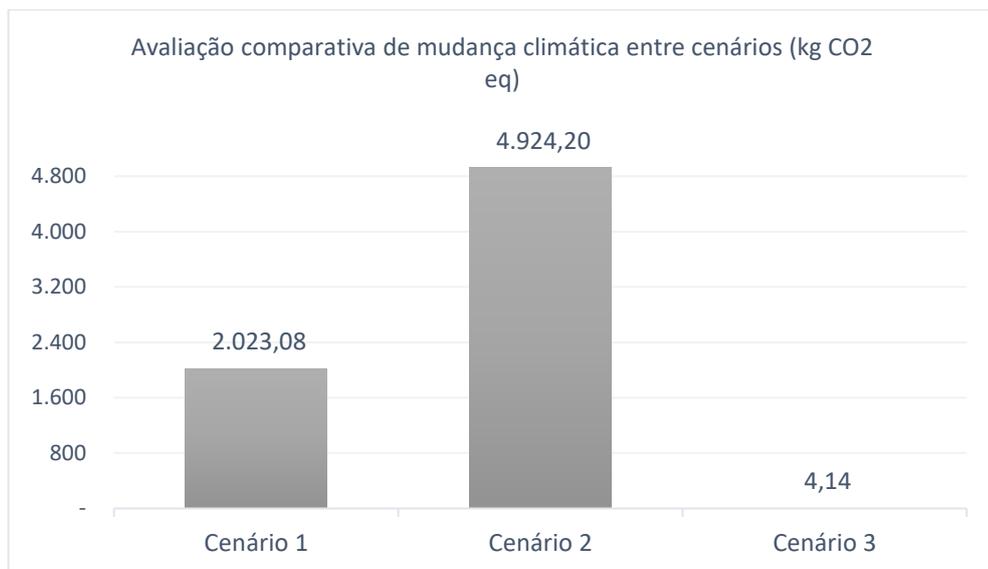
De forma a avaliar de forma mais concisa todos os dados levantados através do software, as Figuras 30, 31 e 32 apresentam resultados dos três cenários apresentados anteriormente. Para o cenário 1, utilizou-se os dados apresentados através da análise de sensibilidade PRec100.

Figura 30 – Avaliação comparativa de uso de recursos fósseis entre cenários



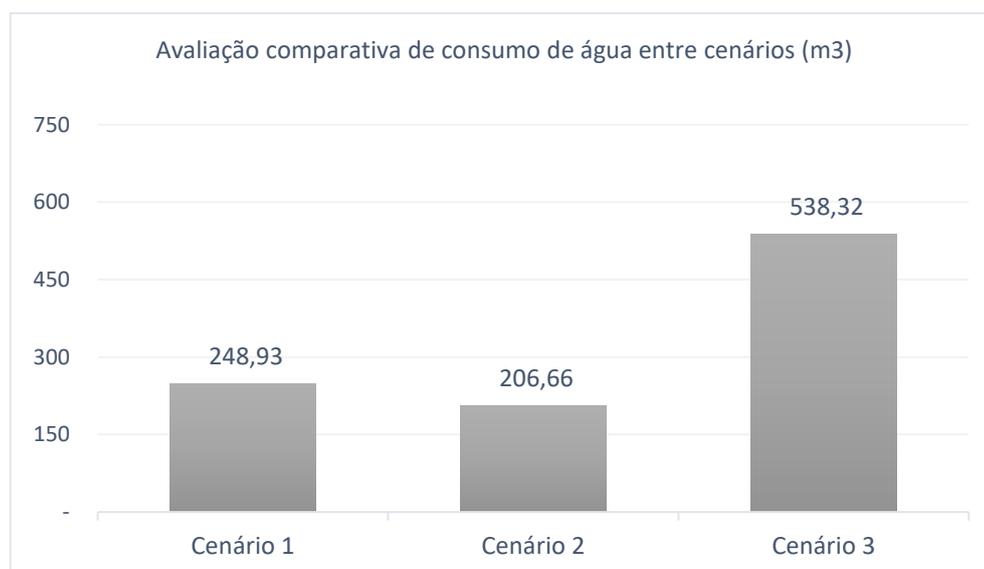
Fonte: A autora (2023).

Figura 31 – Avaliação comparativa de mudança climática entre cenários



Fonte: A autora (2023).

Figura 32 – Avaliação comparativa de consumo de água entre cenários



Fonte: A autora (2023).

A partir disso, é possível observar que as lonas plásticas de PEBD apresentam, no geral, maior impacto se comparada as outras duas alternativas desenvolvidas, principalmente, na categoria de uso de recursos fósseis, em que a variação em termos percentuais supera os 99%, ou seja, consome cerca de 3.000 vezes mais energias advindas de diferentes fontes.

O cenário 3 apresenta maior representatividade apenas no consumo de água, visto que uma grande proporção dela é utilizada para diluição do gel polimérico antes de sua aplicação na encosta. Por esse motivo, surge uma variação percentual próxima aos 54% frente ao cenário 1.

Por fim, o cenário 2, apresenta um significativo percentual, cerca de 59% de emissões de gases de efeito estufa a mais, quando comparado ao cenário 1 e, aproximadamente, 99% de variação percentual quando comparado ao cenário 2.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da metodologia da análise de ciclo de vida, foi possível realizar um comparativo entre os diferentes materiais utilizados como alternativas para impermeabilização de encostas, tornando possível a visualização crítica dos impactos relacionados a essas alternativas.

Avaliando os ciclos de vida, observou-se um maior impacto geral das lonas plásticas de PEBD, visto que além de já apresentar impactos representativos de início,

suas variadas aplicações elevam ainda mais o nível das emissões de gases de efeito estufa e utilização de recursos fósseis, principalmente. É possível evidenciar que mesmo com a utilização de matéria-prima advinda de fonte exclusivamente reciclável, na categoria de uso de recursos fósseis, a variação frente os impactos dos outros cenários ultrapassam os 99%.

Porém, o gel polimérico, quando comparado a lona produzida a partir de matéria-prima reciclada, apresentou um maior consumo de água, cerca de 54%, sendo essa a única categoria de impacto em que as lonas, principal alternativa utilizada na contenção de encostas, não obteve o pior resultado.

Por fim, é possível inferir que a ACV se trata de uma metodologia valiosa para análise de sustentabilidade das três alternativas distintas. Além disso, esse método apresenta um grande potencial devido à crescente preocupação com os impactos relacionados aos produtos consumidos e suas respectivas cadeias de produção, sendo indicado um caminho para sua utilização ampliada no futuro.

## REFERÊNCIAS

- ABIPLAST (org.). **Produção mundial de resinas e de transformados plásticos**. 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2022/10/Perfil-2021-PT-vs2.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ALVES, S. C. C. **Análise de Ciclo de Vida de Coberturas Ajardinadas**. 2014. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2014.
- ARBAULT D., RIVIÈRE M., RUGANI B., BENETTO E., BARNA L. T. **Integrated Earth system dynamic modeling for life cycle impact assessment of ecosystem services**. *Science of the Total Environment*, p. 262–272, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009b.
- BARBOSA JÚNIOR, A. F. et al. **Conceitos e Aplicações de ACV no Brasil**. In: ENEGEP, 17, 2007, Foz do Iguaçu.
- BARCZA, M. V. **Refino de Petróleo** [online]. Notas de Aula. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Refino%20do%20Petroleo.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de política e gestão ambiental: os caminhos do desenvolvimento sustentável**. RJ: Garamond, 2012.
- CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas em áreas urbanas**. In: MORAIS, M. P.; KRAUSE, C.; LIMA, V. C. **Caracterização e tipologia de assentamentos precários: estudo de caso brasileiros**. Brasília: Ipea, 2016.
- CAVALCANTI, M. M. **Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda**. 2017. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- COLMANETTI, J. P., 2006. **Estudos sobre a aplicação de geomembranas na impermeabilização da face de montante de barragens de enrocamento**. Tese de D.Sc., Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. de Santa. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

CURRAN, M. A. Life-Cycle Assessment. BAMAC, Ltd, Rock Hill, SC, United States. (pp. 359-362), 2016.

DOAK, K. W. Ethylene Polymers. In: Mark, H. M.; Bikales, N. M.; Overberg, C. G.; Menges, G. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. John-Wiley & Sons. New York, 1986.

FERNANDES, S. S.; DIACENCO, A. A. Origem do PVC e seu processo de transformação. **Revista Científica do Centro Universitário de Itajubá**, Itajubá, v. 3, n. 1, 2015.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos produtos**. Viseu, Portugal, 2004.

FERREIRA, R. L. R. **Estudo da influência da razão de sopro na estrutura e propriedades de filmes de polietilenos produzidos pelo processo de extrusão tubular**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FRAZÃO, A.; JÚNIOR, B. Conceitos E Aplicações De ACV. Enegep, 2007. p. 1–9.

G1 BA. Para evitar deslizamentos, maior geomanta de Salvador é entregue no Alto do Cabrito. Disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2020/08/24/para-evitar-deslizamentos-maior-geomanta-de-salvador-e-entregue-no-alto-do-cabrito.ghtml>. Acesso em 15 abr. 2023.

GLOBAL ROAD TECHNOLOGY (org.). **GRT Enviro Binder**: erosion control product. Erosion Control Product. 2020. Disponível em: <https://globalroadtechnology.com/grt-enviro-soil-binder/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

GEROTO, Regis Eduardo. **Desempenho de camadas de proteção para geomembranas**. 2008. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

HANUN, R. Siti Farah; SHARIZAL, A. S.; MAZLAN, M.; TER, T. Pao; ANDI, H.; AZFIZALDI, M. S. A.; MOHAMAD BASHREE, A. B.; NAJMI, M. Mohamad. Life-cycle assessment (LCA) of plastic bag: Current status of product impact. **International Journal of Advanced Science and Technology**, [S. l.], v. 28, n. 18, p. 94–101, 2019.

HARADA, J.; MARCONDES, A. R. C. **Extrusão de Plásticos**: tecnologias e processamentos. São Paulo: Artliber, 2022. 384 p.

HU, M.; MILNER, D. Visualizing the research of embodied energy and environmental impact research in the building and construction field: A bibliometric analysis. **Developments in the Built Environment**, [S. L.], v. 3, n. 4, abr. 2020.

HUNT, R. G.; FRANKLIN, W. E. LCA — How it came about. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 4-7, mar. 1996. Springer Science and Business Media LLC.

IBICT. Curso de curta duração: Introdução à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, 2015. Disponível em: <https://acv.ibict.br/comunicacao/noticias/575-curso->

de-introducao-a-metodologia-de-avaliacao-do-ciclo-de-vida/>. Acesso em: 05 jan. de 2023.

IBPVC. **O que é PVC?** Disponível em: <https://pvc.org.br/o-que-e-pvc/#>. Acesso em: 12 jan. 2023.

IPEA. **Consumo e Produção Sustentáveis:** assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. 2019. Disponível em: <https://ipea.gov.br/ods/ods12.html>. Acesso em: 19 dez. 2022.

IPEA. **Cidades e Comunidades Sustentáveis:** tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. 2019. Disponível em: <https://ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em: 19 dez. 2022.

JACQUEMIN, L.; PONTALIER, P. Y.; SABLAYROLLES, C Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 17, n. 8, 2012.

JONKER G., HARMSSEN, J. **Creating Design Solutions.** Engineering for Sustainability: A Practical Guide for Sustainable Design. The Netherlands, Elsevier, 2012.

KRONEMBERGER, Denise Maria Penna. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 71, n. 1, p. 40-45, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO).

KULAY, L.; SEO, E. Orientações conceituais para elaboração de inventários de ciclo de vida. 2010.

LF MÁQUINAS. **Lona plástica preta PEBD.** Disponível em: <https://www.lfmaquinaseferramentas.com.br/lona-plastica-preta-4x50-ecocicle-200micras-37kg/p>. Acesso em: 07 abr. 2023.

MAPA DA OBRA. **Calcular material de construção:** saiba como fazer. 2014. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/saiba-como-calcular-material-de-construcao/#:~:text=O%20consumo%20m%C3%A9dio%20fica%20entre,x%20%20cm%20%3D%20408%20kg.&text=Tamb%C3%A9m%20s%C3%A3o%20levadas%20em%20conta,espessura%20da%20camada%20de%20argamassa>. Acesso em: 14 abr. 2023.

MARKMAN, Luna. **Recife testa geomanta para evitar deslizamentos em encostas.** 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2014/05/recife-testa-geomanta-para-evitar-deslizamentos-em-encostas.html>. Acesso em: 08 abr. 2023.

MEIJER, E. **Consider your audience when doing LCA.** 2021. Disponível em: <https://pre-sustainability.com/articles/consider-your-audience-when-doing-lca/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MORAES, K. **PSB foi quem menos investiu em prevenção de tragédias nos morros do Recife.** 2022. Disponível em:

<https://jc.ne10.uol.com.br/politica/2022/06/15018407-gestoes-do-psb-sao-as-que-menos-investiram-em-prevencao-de-morros-no-recife.html>. Acesso em: 20 dez. 2022.

NEVES, C. J. A. Resistência Química de PE's a Vários Reagentes Químicos. Boletim Técnico, n. 13, OPP Petroquímica S.A. 1999.

NUNES, L. R.; RODOLFO, A. J.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2002.

OTTERBACH, J. C. H. Processo de transformação de plásticos por extrusão de filmes tubulares. Esteio: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT, 2011.

PEACOCK, A. J. Handbook of polyethylene, structures, properties, and applications. Editado por Marcel Dekker, Inc. New York, 2000.

PEREIRA, R. **Aplicação de laminados de pvc flexível em substratos têxteis para indústria moveleira**. 2018. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Produção Têxtil, Fatec Americana, Americana, 2018.

ROCCO, M.; TARANTO, F.; COLOMBO, E. **Energy and Exergy Life Cycle Assessment of different anti-erosion systems**. Milão: Departamento de Energia - Politécnica de Milão, 2013.

REFCON. Biomembrana compósito e gel estabilizador. Disponível em: <https://www.refcon.com.br/gel-estabilizador/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SALVADOR (BA). Edital de licitação nº001/2022. Pregão Eletrônico nº001/2022. [Contratação de empresa de engenharia especializada na execução de serviços de manutenção continuada de encostas protegidas com Geomanta (revestimento com geocomposto de PVC e geotêxtil)]. **Salvador**: órgão oficial do município, Salvador, ano, p.54, 2021.

SANTANA, B. C. L. **Estudo comparativo entre técnicas de impermeabilização em talude do município de Jaboatão dos Guararapes/PE: lona plástica x gel polimérico**. 2021. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, 2021.

SANTIAGO, L. Análise de Ciclo de Vida. Disponível em: <http://acv.ibict.br/>. Acesso em: 25 dez. 2022.

SANTOS, K. F. M. **Análise experimental comparativa entre banners e geomembranas de pvc como camada de impermeabilização em telhados verdes**. 2019. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SECOM. Mutirão da Defesa Civil de Olinda instala 10 mil m<sup>2</sup> de lona em Águas Compridas. Disponível em: <https://www.olinda.pe.gov.br/mutirao-da-defesa-civil-de-olinda-instala-10-mil-m2-de-lona-em-aguas-compridas/>. Acesso em 15 abr. 23.

SHILLABER, C. M.; MITCHELL, J. K.; DOVE, J. E. Energy and carbon assessment of ground improvement works I: Definitions and background. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 142(3), 04015083 (2016).

STEUBING, B.; DE KONING, D.; HAAS, A.; MUTEL, C. L. The Activity Browser —An open source LCA software building on top of the brightway framework. *Software Impacts*, [S. l.], v. 3, p. 100012, 2020.

U.S. EPA. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. 2006. Disponível em: [encurtador.com.br/deFNX](http://encurtador.com.br/deFNX). Acesso em: 03 jan. 2023.

WURTH. *Lona Plástica*. São Paulo: WURTH, [2020]. Disponível em: <https://static.wurth.com.br/catalog/PDF/Info/LONA-PLASTICA.pdf> . Acesso em 17 de nov. 2020.

YATES, M. R.; BARLOW, C. Y. Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—A critical review. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 78, p. 54-66, set. 2013.