



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**JOÃO VITOR ALVES SANTIAGO**

**DESENVOLVIMENTO DE ECOBARREIRA MANUFATURADA VIA**  
**INJEÇÃO DE POLIETILENO RECICLADO**

**VOLTA REDONDA**  
**2025**



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**JOÃO VITOR ALVES SANTIAGO**

**DESENVOLVIMENTO DE ECOBARREIRA MANUFATURADA VIA  
INJEÇÃO DE POLIETILENO RECICLADO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais e linha de pesquisa em materiais poliméricos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira

**VOLTA REDONDA**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

S235d Santiago, João Vítor Alves

Desenvolvimento de ecobarreira manufaturadas via injeção de polietileno reciclado. / - Volta Redonda: UniFOA, 2025. 63 p.: Il

Orientador (a): Profa. Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em  
Materiais, 2025

1. Materiais - dissertação. 2. PET. 3. PEAD. 4. Ensaios mecânicos.  
I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



JOÃO VITOR ALVES SANTIAGO

DESENVOLVIMENTO DE ECOBARREIRA MANUFATURADA VIA INJEÇÃO  
DE POLIETILENO RECICLADO

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

*Roberto de Oliveira Magnago*

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

*Cirlene Fourquet Bandeira*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira  
Presidente / UniFOA

*Izabel de Oliveira Mota*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Izabel de Oliveira da Mota  
Examinador interno / UniFOA

*André Marques dos Santos*

Prof. Dr. André Marques dos Santos  
Examinador externo / UFRRJ

Junho de 2025

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, sem ele nada seria possível.

Dedico também aos meus pais, Luiz Alberto Alves Santiago (*in memoriam*) e Elizete Maria Alves Santiago (*in memoriam*), que sempre foram os pilares para que eu chegasse onde cheguei.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cirlene Fourquest Bandeira pela confiança, paciência, incentivo, amizade e excelente orientação.

Aos meus amigos e familiares, por todo carinho e apoio nos momentos de tristeza e alegria durante essa caminhada. Sem o apoio de vocês, este trabalho não teria sido como planejado, fica aqui o meu muito obrigado.

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por sempre me agraciar com força, saúde, sabedoria para superar todos os desafios encontrados nessa longa jornada.

Aos meus pais Luiz Alberto e Elizete (*in memoriam*), cujo empenho em me educar sempre foi prioridade. Aqui estão os resultados dos seus esforços. É com muita alegria que eu digo: - se hoje sou quem sou, devo a vocês, muito obrigado.

Aos meus familiares, em especial meus tios Sérgio, Ignêz e Cláudia, e minha prima Lina, por serem meus alicerces na falta dos meus pais, pois se hoje estou me tornando mestre é graças ao empenho de vocês, apoio e credibilidade que veem em mim, fica aqui a minha eterna gratidão por tudo.

Aos meus amigos que me deram total apoio nos momentos mais dolorosos durante esse percurso, por não me deixarem desistir dos meus objetivos, muito obrigado.

Agradeço também, a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira pela orientação deste trabalho, feita com dedicação e incentivo. Por ser incansável em me ajudar nos momentos que não tive forças. Ao seu esposo Valter Porto, que se empenhou em me auxiliar na parte prática e técnica desse trabalho.

Quero agradecer também a toda instituição pelo apoio, pela estrutura envolvida e recursos necessários para que tornemos grandes profissionais.

“O mais corajoso dos atos ainda é pensar com a própria cabeça.”

**Coco Chanel (1883-1971)**

SANTIAGO, J. V. A. **Desenvolvimento de Ecobarreira Manufaturada via Injeção de Polietileno Reciclado**. 2025. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2022.

## RESUMO

No mundo, segundo a ONU (2023) são fabricados, anualmente, aproximadamente 430 milhões de toneladas de plásticos, dos quais, dois terços vão dar origem à produtos de curta duração. No Brasil, foram produzidos, em 2022, 6,7 milhões de toneladas deste material segundo a ABIPLAST (2023), com perspectivas de alcançar cerca de 1,1 bilhões de toneladas até 2050. Esse volume, tem sofrido, em sua grande maioria, descarte incorreto, que vão parar em cursos d'água, causando problemas ambientais e sanitários, sem contar danos à embarcações e hidroelétricas. Em decorrência disso, várias técnicas de coleta tem sido implantadas. Dentre estas, as ecobarreiras vem se destacando devido a facilidade e baixo custo de fabricação e utilização. Essas barreiras visam reter resíduos flutuantes nos cursos d'água. Sendo assim, esse trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma ecobarreira, usando técnica de injeção para produção dos cabos de amarração da rede externa. Foram inicialmente separados dois tipos de polímeros, o PET e o PEAD reciclado que foram recolhidos, limpos, picados e avaliados via FT-IR para determinar sua composição, TGA e DSC para determinar suas propriedades térmicas visando a sua moldagem por injeção. Após esse processo, escolheu-se o PEAD devido as suas temperaturas de trabalho e esse material foi, então, injetado (250 °C). As amostras virgens e recicladas foram avaliadas para verificar suas propriedades mecânicas (Ensaio de tração). Obteve-se filamentos de PEAD puro, de, aproximadamente, 20 cm de comprimento x 2 mm de espessura. O material apresentou boa resistência mecânica com valores médios de 18 MPa (virgem e reciclado). Com esses dados, foi possível reintroduzir o material reciclado na cadeia produtiva, para a manufatura da rede externa e, conseqüentemente, da ecobarreira.

**Palavras-chave:** PET; PEAD; TGA, DSC. Ensaio mecânicos.

SANTIAGO, J. V. A. **Development of EcoBarrier Manufactured via Injection of Recycled Polyethylene**. 2025. Dissertation (Professional Master of Material) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2025.

### **ABSTRACT**

According to the UN (2023), approximately 430 million tons of plastic are manufactured annually worldwide, of which two-thirds will be used to produce short-lived products. In Brazil, 6.7 million tons of this material were produced in 2022, according to ABIPLAST (2023), with prospects of reaching around 1.1 billion tons by 2050. Most of this volume has been improperly disposed of, ending up in waterways, causing environmental and health problems, not to mention damage to vessels and hydroelectric plants. As a result, several collection techniques have been implemented. Among these, eco-barriers have stood out due to their ease and low cost of manufacture and use. These barriers aim to retain floating waste in waterways. Therefore, this work aims to develop an eco-barrier, using an injection technique to produce the mooring cables for the external network. Initially, two types of polymers were separated: PET and recycled HDPE, which were collected, cleaned, chopped and evaluated via FT-IR to determine their composition, and TGA and DSC to determine their thermal properties for injection molding. After this process, HDPE was chosen due to its working temperatures and this material was then injected (250 °C). The virgin and recycled samples were evaluated to verify their mechanical properties (tensile test). Pure HDPE filaments measuring approximately 20 cm long x 2 mm thick were obtained. The material showed good mechanical resistance with average values of 18 MPa (virgin and recycled). With these data, it was possible to reintroduce the recycled material into the production chain for the manufacture of the external net and, consequently, the eco-barrier.

**Keywords:** PET; HDPE; TGA, DSC. Mechanical tests.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Panorama esperado para o mercado de embalagens de polietileno .....	21
<b>Figura 2.</b> Fórmula estrutural molecular do PEAD. ....	24
<b>Figura 3.</b> Ecobarreira sobre o Arroio Dilúvio .....	28
<b>Figura 4.</b> Esquemático do processo de injeção .....	31
<b>Figura 5.</b> Esquemático do processo de alimentação da injetora.....	31
<b>Figura 6.</b> Esquemático do processo de derretimento na injetora.....	32
<b>Figura 7.</b> Esquemático do processo final de extrusão .....	32
<b>Figura 8.</b> Simbologia do polietileno de alta densidade .....	33
<b>Figura 9.</b> Simbologia do polipropileno .....	33
<b>Figura 10.</b> Preparo do material reciclado para posterior uso.....	34
<b>Figura 11.</b> Material após picotamento .....	34
<b>Figura 12.</b> TGA 7 da PerkinElmer. ....	35
<b>Figura 13.</b> Analisador térmico DSC. ....	36
<b>Figura 14.</b> Preparação da caixa de passagem dos cabos e adaptação do sistema de controle de temperatura .....	37
<b>Figura 15.</b> Sistema de cabeamento do sistema de controle de temperatura. ....	38
<b>Figura 16.</b> Cabeamento do sistema – ligações eletrônicas do sistema.....	38
<b>Figura 17.</b> Enrolamento da resistência e posicionamento do termopar no corpo da seringa.....	39
<b>Figura 18.</b> Isolamento do sistema com fita térmica de teflon.....	39
<b>Figura 19.</b> Ajuste do sistema de temperatura. ....	40
<b>Figura 20.</b> Preenchimento do recipiente de armazenagem da injetora.....	40

<b>Figura 21.</b> Preenchimento do recipiente de armazenagem da injetora .....	41
<b>Figura 22.</b> Corpos de ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D 638 .....	42
<b>Figura 23.</b> Solda a quente dos filamentos de PEAD .....	42
<b>Figura 24.</b> Formação da rede.....	43
<b>Figura 25.</b> Junção dos recipientes flutuantes com cola quente.....	43
<b>Figura 26.</b> Embutimento dos recipientes flutuantes no sistema de rede .....	44
<b>Figura 27.</b> Curva de TGA do PEAD.....	45
<b>Figura 28.</b> Curva de TGA do PET .....	46
<b>Figura 29.</b> Espectros FT-IR de reflexão – UATR / PEAD Virgem e PEAD reciclado ...	48
<b>Figura 30.</b> Formação dos fios de PEAD pelo processo de injeção.....	49
<b>Figura 31.</b> Barreira instalada em aquário .....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais propriedades do PEAD. ....	23
<b>Tabela 2.</b> Resultados da análise em DSC.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DSC	Calorimetria exploratória diferencial
EPS	Poliestireno expandido
FT-IR	Espectrometria de absorção na região do infravermelho
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Polietileno de alta densidade
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
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
TGA	Termogravimetria
UVA	Radiação ultravioleta tipo A
UVB	Radiação ultravioleta tipo B

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1 Objetivos Gerais</b> .....	18
<b>1.2.1 Objetivos Específicos</b> .....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 POLÍMEROS .....	19
2.2 MERCADO DOS POLÍMEROS NO BRASIL E NO MUNDO.....	20
2.3 POLIETILENO .....	21
2.4 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE.....	23
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	24
2.6 RECICLAGEM.....	25
2.7 ECOBARREIRAS .....	27
2.8 PROCESSO DE INJEÇÃO.....	30
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
3.1 MATERIAIS .....	33
3.2 MÉTODOS.....	33
<b>3.2.1 Coleta e preparação do material para reciclagem</b> .....	33
<b>3.2.2 Termogravimetria (TGA)</b> .....	35
<b>3.2.3 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)</b> .....	36
<b>3.2.4 Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FT-IR)</b> .....	36
<b>3.2.5 Montagem do sistema de injeção manual</b> .....	37

<b>3.2.6 Injeção do PEAD .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.7 Ensaio à tração .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.8 Manufatura da rede externa da ecobarreira.....</b>	<b>42</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
4.1 Ensaio de TGA da amostra coletada .....	45
4.2 Ensaio de DSC da amostra coletada .....	46
4.3 Ensaio de FT-IR da amostra coletada.....	47
4.4 Obtenção dos filamentos de PEAD reutilizados.....	48
4.5 Montagem da ecobarreira .....	49
4.6 Resistência à tração.....	50
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>6 TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>53</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas décadas o acúmulo de lixo descartado incorretamente nos rios, lagos e afins tem crescido de forma alarmante. Isto se deve, em parte, ao aumento das populações do entorno dos cursos d'água, bem como a falta de destino correto para esses resíduos, especialmente os de origem polimérica que podem levar até séculos para se degradarem (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Estes materiais poliméricos, além da poluição ambiental, podem causar problemas de saúde e até danos materiais quando são captados por usinas hidroelétricas (NASCIMENTO et al., 2020; SANTANA; CUNHA, 2019).

Devido a esses problemas, várias técnicas de coleta destes materiais tem sido aplicadas. Dentre estas, as ecobarreiras vem se destacando devido a facilidade com que é possível reter resíduos flutuantes nos cursos d'água e o baixo custo desse sistema (FORGIARINI, 2018; SANTOS, 2018).

A diminuição desses poluentes ajuda e contribui para um ambiente mais limpos e saudáveis, diminui os riscos de acidentes em barcos e hidroelétricas devido a destruição de partes do maquinário e a poluição visual decorrente deste material não corretamente destinado (MOREIRA, 2021; SANTOS, 2018).

Além disto, os resíduos coletados pelas ecobarreiras tem um papel fundamental na atividade econômica, visto que, após serem separados e processados, podem ser reaproveitados, sendo portanto, reintroduzidos no ciclo produtivo, gerando renda para a camada mais pobre da sociedade (SANTOS, 2018; ZAFANELLI et al., 2021).

As ecobarreiras são, basicamente, redes que revestem galões que permitem a flutuabilidade da mesma e, conseqüentemente, a retenção dos resíduos. Elas são constituídas, em sua maioria, por materiais poliméricos, especialmente o nylon devido a sua durabilidade e resistência, e fabricadas pelos processos convencionais de fiação de matérias primas virgens fundidas ou pelo processo Melt-spining (FORGIARINI, 2018; MACHADO et al., 2022; MOREIRA, 2021; SANTOS, 2018).

Entretanto, atualmente, devido a necessidade crescente de dar destinação aos materiais outrora inservíveis, vários processos tem utilizado materiais reciclados (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019).

Neste seguimento, diversos polímeros vem se destacando, dentre eles o PET (Polietilenotereftalato), o PEAD e o PEBD (Polietileno de alta e baixa densidade, respectivamente) e o PP (Polipropileno), que apresentam grande disponibilidade, baixo preço e reciclagem fácil por serem termoplásticos. No entanto, devido as suas propriedades, sua temperaturas de trabalhabilidade e baixo custo, o PEAD, tem se apresentado como uma opção mais viável para reciclagem (HENTOUX, 2018; HOLGUIN, 2015; MUMBACH, 2017).

Um outro ponto de destaque é a tecnica de injeção que, juntamente com o a extrusão, são os processos produtivos mais usados. No processo de injeção, o polímero, após fundido, é forçado através de uma abertura denominada de orifício ou matriz, para encher ou não um molde que apresenta uma forma aproximada da seção transversal desejada. Esta técnica pode ser aplicada em polímeros diversos com grandes vantagens em termos de processamento para se obter estruturas variadas que vão desde tubos até peças complexas (AFINKO, 2018; FERREIRA, 2019).

Sendo assim, em vista do que foi mencionado anteriormente, o uso desta técnica de extrusão para reciclagem de materiais poliméricos, visando a construção de ecobarreiras, traz inúmeras vantagens ambientais, um grande ganho científico, bem como, a capacidade de auxiliar economicamente a região, com uma fonte de renda para a população mais pobre do entorno do Rio Paraíba do Sul.

Por isto este trabalho tem por objetivo construir cabos de amarração para uma ecobarreira, com material reciclados encontrado em aterros sanitários, e com isto, diminuir o custo e aumentar a acessibilidade de cidades menores a este sistema de barreira ecológica.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver cabos de amarração para uma ecobarreira, com materiais recicláveis via processo de injeção.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- I. Reintroduzir o material polimérico descartado novamente no ciclo produtivo;
- II. Avaliar se o material é adequado para construção da ecobarreira;
- III. Determinar um processo de injeção adequado as necessidades do processo.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho se justifica no âmbito ambiental, científico e econômico, visto que reduz o impacto ambiental, desenvolve mão-de-obra especializada no processo de injeção e pode servir como uma fonte de renda para a população mais pobre do entorno do Rio Paraíba do Sul.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 POLÍMEROS

Os polímeros, apesar de serem materiais que ganharam destaque, principalmente, após a segunda metade do século passado, tem sua origem em tempos primitivos (ARRUDA, 2020; HAGE, 1998).

Sua utilização data das primeiras tentativas do homem de adaptar o meio ambiente as suas necessidades. Esses polímeros, denominados de naturais devido a sua origem, foram usados como base de manufatura de estruturas, utensílios domésticos, artefatos têxteis e na indústria de papel como é o caso da celulose, amido, borracha natural e proteínas (ARRUDA, 2020; HAGE, 1998).

Entretanto, o termo como é conhecido atualmente, começou a ser usado após 1922, com desenvolvimento de polímeros sintéticos que apresentam sua origem, majoritariamente, de derivados de petróleo e os estudos de macromoléculas feitos por Hermann Staudinger (1920) (HAGE, 1998; SIMAN FILHO; SANFELICE, 2019).

Sendo assim, o termo polímero caracteriza um conjunto de macromoléculas obtidas a partir da junção de unidades básicas repetitivas, denominadas meros, por meios de ligações covalentes que apresentam propriedades mecânicas, térmicas e elétricas que permitem utilizações nos mais diversos seguimentos (BANDEIRA et al, 2022; SANTOS, 2010).

Esses materiais são classificados, de forma geral como:

- Termoplásticos, que são materiais que podem sofrer processos de aquecimento e resfriamentos múltiplos sem, de forma geral, perderem suas características, o que possibilitam novas conformações (BANDEIRA, 2015; CANEVAROLO JR., 2010; CARVALHO, 2019).
- Termorrígidos que formam ligações cruzadas após o primeiro aquecimento, o que impossibilita novas fusões, uma vez que a energia necessária para romper estas ligações, é tão elevada, que acaba por degradar o material (CANEVAROLO JR., 2010; COSTA, 2018).

## 2.2 MERCADO DOS POLÍMEROS NO BRASIL E NO MUNDO

Estima-se que 300 diferentes tipos de plásticos são produzidos mundialmente. Dentre estes, os mais populares são o polipropileno (PP), o poliuretano (PU), o polietileno (PE), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno tereftalato (PET), a resina fenólica, a resina epóxi entre outras que visam atender aos mais variados setores de produção e serviços (CHEN et al., 2020; GOLVEIA, 2021)

O mercado produtor de materiais poliméricos vem crescendo nas últimas décadas devidos as suas inúmeras características tais como durabilidade, baixa densidade, possibilidade de design diferenciados e baixo custo (CAIXETA; MORAIS, 2022).

Em 2018, foram produzidos cerca de 359 milhões de toneladas de plásticos, sendo a Ásia, o Canadá, os EUA, o México e a América Latina os responsáveis por um total de 73% desta produção (CAIXETA; MORAIS, 2022; PLASTICSEUROPE, 2019).

Segundo a ONU (2023), a produção destes materiais chegou a 430 milhões de toneladas, dos quais, dois terços vão dar origem à produtos de curta duração, sendo transformados em resíduos que poluem o meio ambiente e que, em alguns casos, se incorporam a cadeia alimentar humana.

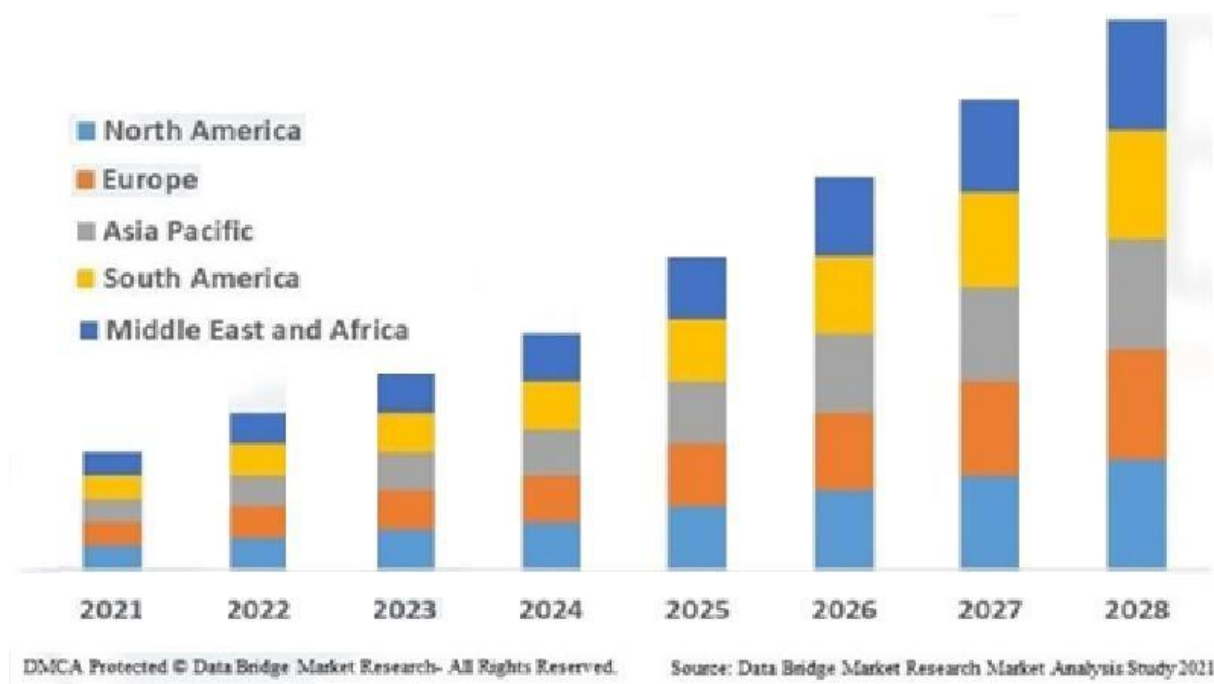
Somado ao isso, em 2023, foram produzidos aproximadamente 2,8 milhões de toneladas de polímeros de base biológica, o que representam cerca de 0,7% do total de polímeros de base fóssil produzidas no mesmo período. Esta produção, estagnada devido ao período de COVID-19, deve aumentar de chegar à, cerca de, 7 milhões de toneladas em 2028 e um faturamento de US \$ 8,3 bilhões (Figura 1) (PLÁSTICO INDUSTRIAL, 2024; PLÁSTICO NEWS.ORG, 2022).

O Brasil, foi responsável, em 2022, pela produção de 6,7 milhões de toneladas de plásticos (ABIPLAST, 2023). Estudos mostram que essa produção deve crescer, chegando à aproximadamente 1,1 bilhões de toneladas até 2050 (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024).

De acordo com a Associação Brasileira de Plásticos (ABIPLAST), em 2022, os setores de transformação e reciclagem de plásticos foram os maiores empregador da

indústria de transformação, ficando em 4º. lugar com cerca de 360 mil empregos gerados (ABIPLAST, 2023).

Figura 1. Panorama esperado para o mercado de embalagens de polietileno – Previsão 2021 – 2028



Fonte: Adaptado de PLÁSTICO NEWS.ORG (2022).

Dentre estes materiais, o polietileno de alta densidade (PEAD) é uma das resinas mais recicladas do mundo. Cerca de 30% do consumo mundial de PEAD designam a produtos da moldagem por sopro, sendo que a maior parte é representada em frascos para embalagens de produtos alimentícios e higiene (ARAÚJO, MOREIRA, DE LIMA, 2022).

### 2.3 POLIETILENO

O polietileno é uma resina flexível que faz parte dos grupos dos termoplásticos, tem aparência cristalina, é resistente à baixas temperaturas, apresenta boa resistência a tração e à abrasão, possui baixa condutividade térmica e é dielétrico. No entanto, essas características podem mudar de acordo com o tipo de PE (Polietileno). Esta diversidade de propriedades, possibilita seu emprego em setores e produtos variados

tais como embalagens, alimentos e até brinquedos, tendo larga utilização no cotidiano das populações (BATISTA, 2013; LEMOS, 2021; PCC GROUP, 2022).

Sua fórmula química, quando puro, é  $(C_2H_4)_n$ , sendo  $n$  o grau de polimerização ou o número de monômeros de etileno que vão formar a cadeia polimérica. Este número pode variar de 100 até 250000 unidades, fazendo com que a massa molecular esteja entre 1400 e 3500000  $g.mol^{-1}$  (BATISTA, 2013; LEMOS, 2021; PCC GROUP, 2022; SILVA, 2024).

Este polímero, que hoje em dia, está disponível em cores variadas, foi criado em 1869 no estado líquido. Apenas em 1933, este material foi sintetizado na forma sólida, como é comercializado atualmente, por Eric W. Fawcett e Reginald O. Gibson (UFSC, 2024; MELO, 2013).

De forma geral, as moléculas de polietileno, podem ser obtidas por reações de polimerização por coordenação, via aniônica, através de radical ou por meio catiônico que dão origem a diferentes tipos de polietilenos, que podem ser não ou não ramificados e com números de insaturações variadas que permitem um range de aplicações bastante significativo. Dentre estes PE, os comercialmente disponibilizados e mais comuns são (SILVA, 2024):

- Polietileno de Baixa Densidade (PEBD);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD);
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM);
- Polietileno de ultrabaixa densidade (PEUBD).

Além disso, todos esses materiais são recicláveis, podendo ser reinseridos na cadeia produtiva para a produção de novas peças, diminuindo o consumo de petróleo e, conseqüentemente, seu descarte (HIAMAGUTI; COZZOLINO, 2020).

Levando em consideração essas características dos materiais acima, e a disponibilidade dos mesmos na forma virgem ou reciclada do material, o PEAD foi escolhido como um dos materiais de ensaio preliminares visando determinar sua aplicabilidade no processo de desenvolvimento deste trabalho.

## 2.4 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

Sua estrutura linear (Figura 2), quimicamente muito próxima ao PE puro, proporciona baixo índice de defeitos e elevado grau de cristalinidade, acarretando uma alta densidade e resistência à exposição a ácidos e outros solventes, quando comparados aos demais polietilenos (COUTINHO; MELLO; MARIA, 2003; FREITAS, 2018; SILVA, 2024).

Esta característica, somada ao fato de sua temperatura de fusão se apresentar na faixa de 130 e 135 °C (Tabela 1), permite que o mesmo tenha seu uso diversificado em seguimentos distintos, especialmente, como embalagens (DA CRUZ, 2010; SILVA, 2024).

**Tabela 1-** Principais propriedades do PEAD

<b>Propriedades</b>	<b>Valores</b>
Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	0,94-0,97
Grau de cristalinidade (% relativo à densidade)	62-82
Grau de cristalinidade (% relativo à calorimetria)	55-77
Módulo de flexão (MPa @ 23 °C)	1000-1550
Módulo de tração (MPa)	1060-1380
Tensão de escoamento (MPa)	18-31
Tensão de ruptura (MPa)	22-31
Alongamento à ruptura (%)	10-1500
Dureza Shore D	66-73
Resistência ao impacto Izod ((ft-lb).in <sup>-1</sup> de entalhe)	0,4-4,0
Temperatura de fusão (°C)	125-132
Calor de fusão (cal.g <sup>-1</sup> )	38-53

Fonte: SILVA (2024) Adaptado de FREITAS (2018).

Figura 2. Fórmula estrutural molecular do PEAD



Fonte: SILVA (2024) Adaptado de WOLF (2004).

Sua manufatura se dá, principalmente, através dos processos de polimerização via catalisadores Ziegler-Natta ou via catalizador Phillips que ocorre a pressões, na faixa de 10 a 15 atm, consideradas moderadas e a temperaturas entre 20 °C a 80 °C (COSTA, et al., 1997; FREITAS, 2018; SILVA, 2024; WOLF, 2004).

A maioria das peças obtidas com base neste material usam os processos de sopro, extrusão ou moldagem por injeção para obtenção de caixas d`água, galões, bandejas, brinquedos, sacos para lixo, acetos sanitários, etc. (SILVA, 2024).

## 2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Um dos maiores problemas na atualidade é o acúmulo de plásticos em lixões, que vem provocando a contaminação de solos, ar e fontes hídricas (MEDEIROS; SCABIN, 2024).

Esses materiais, denominados, de forma genérica, como plásticos ou material polimérico, apresentam composições diversas e, conseqüentemente, propriedades distintas que permitem seu uso em diferentes setores industriais tais como eletrônico, civil, automobilístico, médico-hospitalar, utensílios domésticos entre outros. A maioria deles, com ciclo de vida útil bastante curto, que faz com que sua obsolescência ocorra num prazo médio de seis meses. Entretanto, seu ciclo de degradação pode levar até centenas de anos (MEDEIROS; SCABIN, 2024; OLIVEIRA et al. 2022).

Com isso, a ONU (2024), em conjunto com a *International Solid Waste Association* (ISWA) (2024) prevê que a geração de lixo chegue a 3,8 bilhões em 2050,

o que representa um aumento de 81% se for tomado, como base, o lixo produzido em 2023.

Levando-se em conta o gerenciamento deste resíduo, em 2020, que inclui os custos decorrentes dos problemas de poluição, mudanças climáticas entre outros, provenientes do manejo inadequado desses produtos, foram gastos, em média, US\$ 361 bilhões anuais global. Esse custo anual, pode chegar, em termos globais, a US\$ 640,3 bilhões em 2050 (ISWA, 2024).

Entretanto, esses custos poderiam ser limitados se medidas de prevenção para minimizar a geração de resíduos e a gestão dos mesmos fossem tomadas. Os valores anuais globais, estimados, então, para o gerenciamento dos resíduos, ficariam na faixa de US\$ 270,2 bilhões em 2050 (ISWA, 2024).

Outro fator preocupante é o índice de reinserção dos mesmos na cadeia produtiva. Estima-se que apenas 10% desse material é destinado a reciclagem (ABRELPE, 2021; OLIVEIRA et al., 2022).

Tentando minimizar esse problema, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) lançou um relatório que visa reduzir a poluição causada por materiais plástica em 80% até ano de 2040 (ONU, 2023).

Tomando como base esses problemas ambientais, medidas para conscientizar as populações a despeito do uso responsável de materiais de origem polimérica não renovável, estão sendo tomadas, de forma a reduzir o consumo, promover a reciclagem e procurando alternativas mais sustentáveis (MEDEIROS; SCABIN, 2024).

## 2.6 RECICLAGEM

De acordo com a Lei 12.305 de 2010 que instituiu, no Brasil, a Política Nacional de Resíduos sólidos, reciclagem é um “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa” (PEREIRA, 2015; PNRS, 2010).

Entretanto, a reciclagem promove, além da reinserção do material novamente no ciclo produtivo, a inclusão social, especialmente para fatia da população de baixa renda no país, através da geração de emprego e renda (PEREIRA, 2015).

Isto é de extrema significância em um país, onde 27,5% da população, que em 2024, é de, aproximadamente, 212.583.750 habitantes (IBGE, 2024), está abaixo da linha da pobreza (BRASIL DE FATO, 2024; ZIULKOSKI, 2024).

No entanto, essa reciclagem é bastante insignificante. No mundo, apenas 9% dos resíduos são reciclados de acordo com a ONG norte-americana *Center for Climate Integrity* (2023). No Brasil, este índice é de apenas 4% segundo a ABRELPE (2022), sendo que apenas 1,3% do plástico descartado passa por esse processo (CARVALHO, 2024; GRANDA, 2022).

Apesar das inúmeras campanhas visando minimizar o descarte e a geração de resíduos, bem como promover ações de sustentabilidade em relação ao consumo, como a que foi realizada, no último dia 30 de março, pelas Nações Unidas, denominada “Dia do Resíduo Zero”, muitos países, como é o caso do Brasil, tem um caminho muito longo a percorrer (GRANDA, 2022; ONU, 2024).

Quando comparados a países desenvolvidos, como é o caso da Alemanha, que apresenta índices de reciclagem em torno de 67%, esses países tem um atraso de, pelo menos, 20 anos neste seguimento (CARVALHO, 2024; GRANDA, 2022; ONU, 2024).

Embora o Brasil seja capaz de aumentar seus índices de reciclagem, fatores tais como: falta de infraestrutura que permitam esse processo, descarte e coleta seletiva de resíduos, falta de engajamento em temas ambientais por parte das populações, desconhecimento do tema, políticas públicas ineficientes, entre outras, fazem com que estes índices de reciclagem permaneçam estagnados (GRANDA, 2022; OLIVEIRA et al, 2022; ONU, 2024).

Sendo assim, qualquer ação efetiva que incentive a reciclagem ou qualquer outro processo de reaproveitamento e reinserção dos materiais

novamente no ciclo produtivo, bem como a educação das populações, como é o caso de estudos de reciclagem de polímeros realizada por diversos pesquisadores tais como: Maciel, Murakami e Paiva (2018) que propuseram a reciclagem de PEAD para fabricação de compósitos com fibras de juta e Azevedo et al. (2024) que avaliou o comportamento de diferentes fibras, com e sem agentes compatibilizantes, na formação de compósitos com PEAD reciclado.

## 2.7 ECOBARREIRAS

Com o crescimento das populações, vem aumentando a geração de resíduos. Essa atividade antrópica, muitas vezes, tem causado impactos negativos ao ecossistema e a vida humana (MACHADO et al., 2022).

Muitos dos materiais sólidos descartados, de forma inapropriada, acabam poluindo rios, lagos e outros corpos d'água. Se eles não forem retidos, acabam por chegar ao mar, causando grande poluição ambiental e visual com as chamadas “ilhas de plásticos” (OLIVEIRA et al., 2022).

Visando reter esse material flutuante, uma técnica de fácil manufatura, com custo baixo e bastante eficiente, de retenção destes materiais, denominada de ecobarreira, tem sido instalada em córregos e rios ao longo das cidades para retirar, do meio ambiente, e dar destinação correta a estes resíduos (OLIVEIRA et al., 2022; SANTOS, 2018).

As ecobarreiras, são estruturas montadas de forma à flutuarem na calha transversal dos córregos e rios, visando impedir a passagem de resíduos sólidos carregados por esses corpos d'água. Normalmente, essas estruturas flutuantes são compostas por bombonas de plástico, boias e outros materiais afins e são presos entre si e as margens por cordas ou cabos de aço. Entretanto, sua composição e custo de fabricação varia bastante (FRANZ, 2011; MACHADO et al., 2022; MOTTIN, 2023).

Apenas para se ter uma noção da capacidade deste equipamento, nos dez primeiros meses de 2024, no Arroio Dilúvio em Porto Alegre, foram retiradas 76,553 toneladas de materiais flutuantes com o auxílio da ecobarreira

instalada aí (Figura 3). Desde sua instalação em 2016, até outubro de 2024, foram retiradas 1349,2 toneladas de resíduos deste córrego (MALINOSKI, 2024).

Através do que foi exposto, é possível notar que este equipamento de fácil manufatura, que requer tecnologia simples e de baixo custo, pode ajudar a solucionar problemas de resíduos flutuantes em rios e afluentes, evitando danos em embarcações, equipamentos em hidroelétricas e que os mesmos cheguem aos oceanos, removendo de forma eficiente essa poluição ambiental e visual.

Figura 3. Ecobarreira sobre o Arroio Dilúvio



Fonte: Adaptado de TRASHIN (2024).

A revisão da literatura a seguir explora a utilização de materiais reciclados, especificamente o polietileno de alta densidade (PEAD), na criação de ecobarreiras, com foco em suas propriedades e aplicações em aterros sanitários. A análise começa com o trabalho de (REGUEIRO, 2006), que

discute a eficácia de diferentes barreiras utilizadas em aterros, destacando que estas podem variar entre argilas compactadas e barreiras químicas. O autor enfatiza a importância de um sistema de drenagem para a coleta de lixiviados, evidenciando a necessidade de uma estrutura robusta que impeça a contaminação ambiental.

Em seguida, (CONCIANI, 2011) aprofunda-se na avaliação de barreiras de solo compactado, propondo que a eficácia dessas barreiras depende da compreensão dos processos de transporte de contaminantes. A pesquisa sugere que a escolha do material e suas características geológicas são cruciais para a impermeabilidade e, portanto, para a proteção do solo e das águas subterrâneas.

Kurscheidt (2013) introduz uma alternativa inovadora ao discutir a fitorremediação utilizando macrófitas para o tratamento de lixiviados, evidenciando a eficiência desse método na remoção de contaminantes, como metais pesados. Este estudo oferece uma perspectiva complementar sobre como a natureza pode ser utilizada na mitigação de impactos ambientais, sugerindo que a integração de soluções biológicas pode ser uma estratégia eficaz.

Soares (2014) aborda o processo de coleta e reciclagem do poliestireno expandido (EPS), que, embora não seja PEAD, compartilha características de reciclabilidade e leveza, sendo uma alternativa viável para a construção de aterros. O autor argumenta que a reciclagem do EPS pode trazer benefícios econômicos significativos, além de reduzir o espaço ocupado em aterros, um fator crítico na gestão de resíduos.

Locastro e Angelis (2016) discutem barreiras impermeabilizantes em aterros, detalhando as configurações e materiais utilizados. O estudo destaca a crescente necessidade de soluções inovadoras para conter lixiviados, reforçando a importância de barreiras que utilizem materiais reciclados, como o PEAD, para aumentar a eficiência e sustentabilidade dos aterros.

Martins (2017) investiga a adição de bentonita em misturas para barreiras impermeabilizantes, ressaltando a importância de melhorar as propriedades hidráulicas e mecânicas dos materiais. Este estudo é relevante, pois sugere que a combinação de materiais reciclados com aditivos naturais pode potencializar a eficácia das barreiras, contribuindo para a proteção ambiental.

Por fim, Galdino, Gonzaga e Marques (2020) exploram o uso do EPS como aterro ultraleve, apresentando suas vantagens em obras sobre solos moles. O autor destaca que o EPS é 100% reciclável e não contamina o ambiente, alinhando-se com o objetivo de criar soluções sustentáveis na construção civil, o que é pertinente ao debate sobre o uso de PEAD reciclado nas ecobarreiras.

A análise dos artigos revela um panorama rico e diversificado sobre a aplicação de materiais reciclados em sistemas de contenção de contaminantes, destacando a necessidade de inovação e sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos.

## 2.8 PROCESSO DE INJEÇÃO

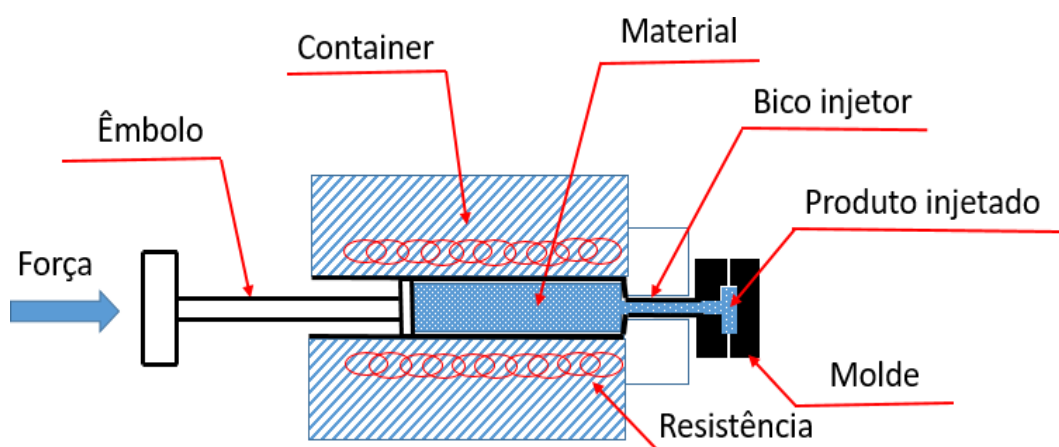
O processo de injeção, em materiais termoplásticos, consiste, basicamente, em forçar um material fundido ou viscoso, através de uma matriz, de modo a se obter uma forma desejada ou para o interior de um molde com a mesma finalidade (Figura 4) (COMPOSTOS, 2023; RODRIGUES, 2018).

Esse processo é muito utilizado em vários seguimentos industriais tais como a indústria automobilística, de plástico, a civil, a farmacêutica, a metalúrgica e a elétrica entre outras, que produzem artefatos em grande quantidade e qualidade usando materiais termoplásticos como matéria-prima (ZUIM, 2013).

Este processo pode ser dividido em três etapas principais que são (RODRIGUES, 2018; ZUIM, 2013):

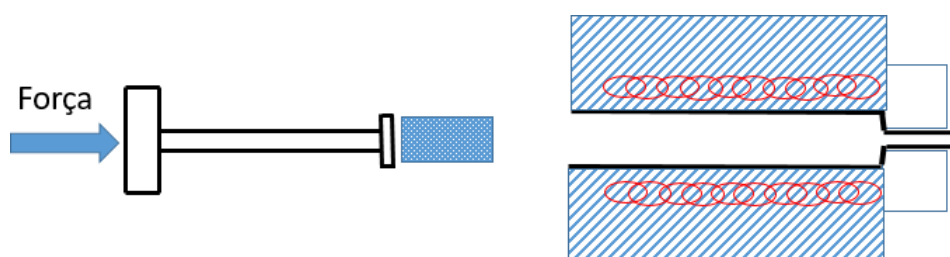
- Alimentação – a matéria-prima é inserida na injetora, na forma de *pellets*, pó ou em tarugos (Figura 5).
- Derretimento – no interior da injetora, a matéria-prima é submetida a calor e pressão adequados ao processo (Figura 6).
- Forma final – a matéria-prima é forçada através do bico injetor, de modo a adquirir a forma desejada ou dosada e injetada no interior de um molde previamente fechado (Figura 7).

Figura 4. Esquemático do processo de injeção



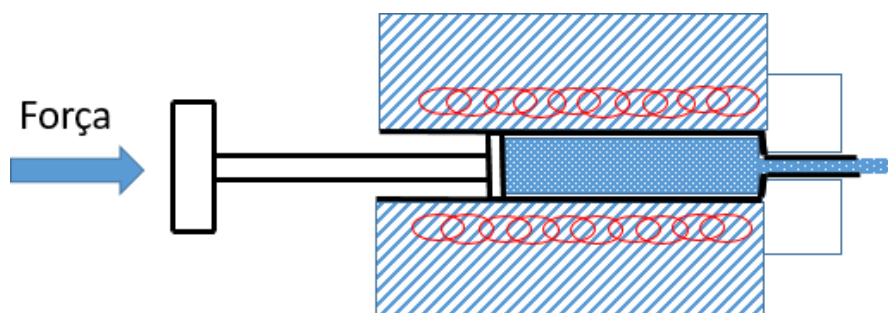
Fonte: AUTOR (2024).

Figura 5. Esquemático do processo de alimentação da injetora



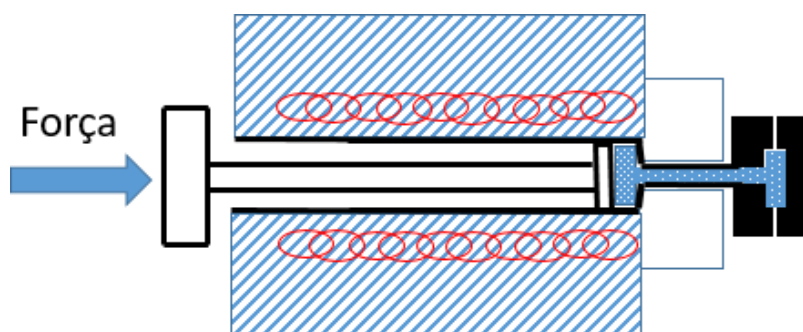
Fonte: AUTOR (2024).

Figura 6. Esquemático do processo de derretimento na injetora



Fonte: AUTOR (2024).

Figura 7. Esquemático do processo final de extrusão



Fonte: AUTOR (2024).

Suas maiores vantagens são: alta eficiência na produção de larga escala, redução de custos, precisão e repetitividade, flexibilidade de design, ampla variedade de materiais, tempo de ciclo rápido e sustentabilidade (COMPÓSITOS, 2023; FERREIRA, 2017).

No entanto, todos esses tipos de injeção devem obedecer aos princípios básicos que envolvem o controle rigoroso da temperatura e pressão de forma a se obter as propriedades desejadas do material final, a velocidade de injeção para garantir a qualidade das peças e o material do molde, para que não haja desgaste, inviabilizando a peça que vai possuir menor precisão (FERREIRA, 2017; RODRIGUES, 2018; ZUIM, 2013).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Os polímeros (Polietileno de alta densidade - PEAD e Politereftalato de etileno - PET) foram coletados nas ruas de Volta Redonda, sendo selecionados para adequação ao processo mediante sua simbologia.

#### 3.2 MÉTODOS

##### 3.2.1 Coleta e preparação do material para reciclagem

As amostras de polietileno de alta densidade e polipropileno foram coletas e separadas de acordo com a simbologia de polímeros que visa facilitar sua reciclagem (Figuras 8 e 9) e posteriormente limpos e secos.

Figura 8: Simbologia do polietileno de alta densidade.



Fonte: AUTOR (2024).

Figura 9: Simbologia do polipropileno.

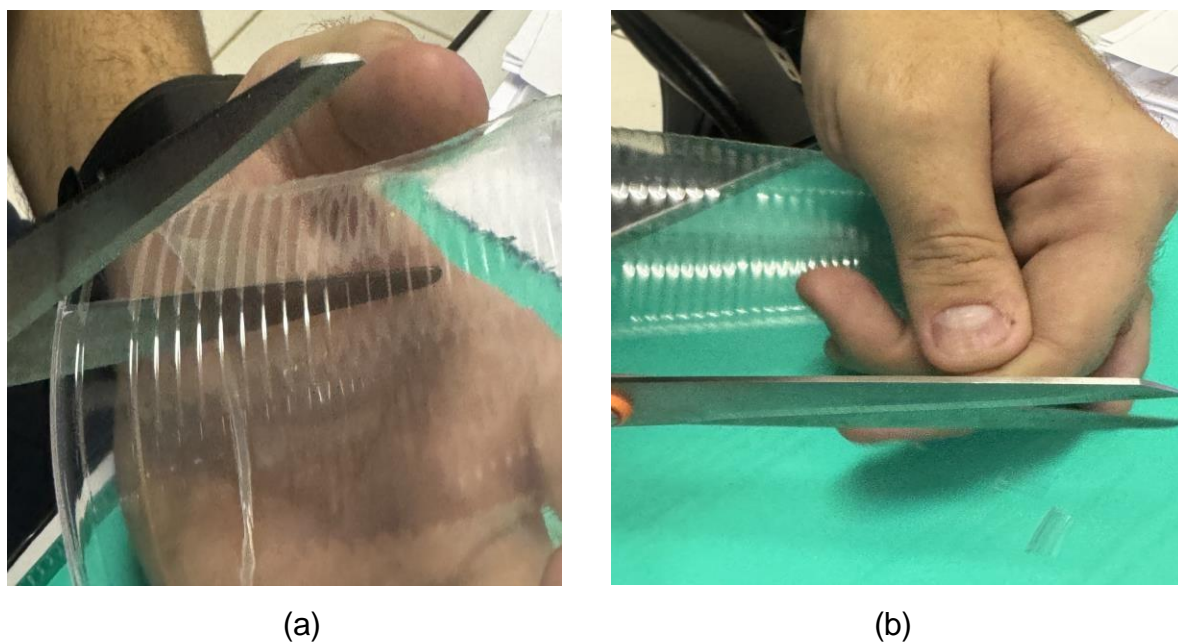


Fonte: AUTOR (2024).

Posteriormente as amostras foram lavadas, visando a retirada de contaminantes e secas.

Na sequência, elas foram picotadas (Figura 10 (a) e (b)) no formato quadrangular de tamanho inferior à 0,5 x 0,5 mm de modo a se apresentarem próximas das dimensões de um pelet (Figura 11).

Figura 10: Preparo do material reciclado para posterior uso.



Fonte: AUTOR (2024).

Figura 11: Material após picotamento.



Fonte: AUTOR (2024).

### 3.2.2 Termogravimetria (TGA)

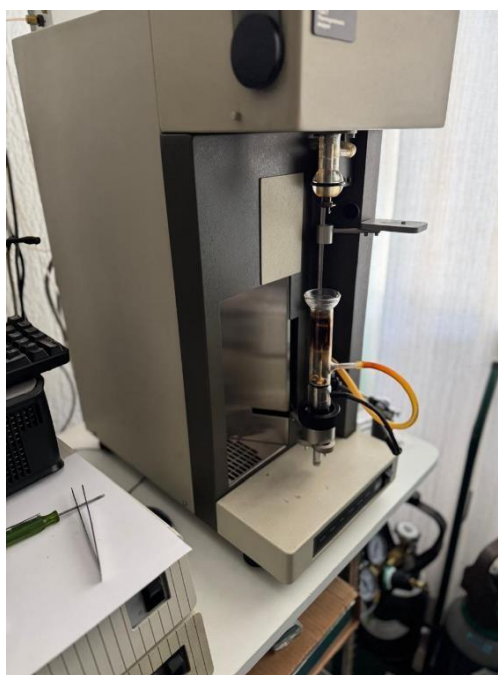
Este ensaio visa determinar a temperatura inicial de degradação ( $T_i$ ) (consequentemente a temperatura máxima de uso) e a umidade, bem como dar idéia da pureza do material.

Os ensaios foram feitos de acordo com as seguintes especificações:

- massa de aproximadamente 10 mg,
- taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ,
- faixa de temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $800^{\circ}\text{C}$
- atmosfera de nitrogênio,
- fluxo de nitrogênio de  $20\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,

Para realização do ensaio foi utilizado um equipamento TGA 7 da PerkinElmer (Figura 12) gentilmente cedido pela i-TECH (São Caetano do Sul –SP) onde foram realizados os ensaios.

Figura 12: TGA 7 da PerkinElmer.



Fonte: AUTOR (2024).

### 3.2.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises foram feitas em um DSC da PerkinElmer Ltda Modelo DSC 7 (Figura 13), disponível no Laboratório da i-TECH (São Cestano do Sul –SP), antes e após a passagem pelo processo de extrusão para determinar se houve alguma modificação das propriedades térmicas do material.

Os ensaios foram realizados à  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , na faixa de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $350^{\circ}\text{C}$ , sob fluxo constante de nitrogênio ( $20\text{ mL}/\text{min}$ ) em porta amostras de alumínio para sólidos. A massa utilizada foi de, aproximadamente,  $10\text{ mg}$ .

Figura 13: Analisador Térmico DSC



Fonte: AUTOR (2024).

### 3.2.4 Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)

Como o plástico foi coletado nas ruas de Volta Redonda, faz-se necessário a determinação da composição do material para garantir que o polímero usado neste trabalho é puro e se corresponde a sua identificação, através do ensaio de FT-IR que avalia as bandas resultantes da vibração de átomos (COSTA, 2018).

Os ensaios foram realizados em um equipamento FT-IR da marca PerkinElmer, modelo Spectrum One localizado na empresa i-TECH (São Caetano do Sul – SP) usando-se o acessório UATR (*Universal Attenuated Total Reflectance*) com célula de seleneto de zinco e torque de  $80\text{N}$ . Os ensaios foram feitos na faixa do infravermelho médio (MIR) ( $4.000$  a  $550\text{ cm}^{-1}$ ), com ganho de 1 e resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Além disso,

foram feitas 20 varreduras a uma velocidade de  $0,2 \text{ cm.s}^{-1}$ . Posteriormente, as amostras foram comparadas com o espectro de FT-IR de um PEAD virgem.

### 3.2.5 Montagem do sistema de injeção manual

Para montagem da injetora manual, foram utilizados:

- um sistema de injeção metálico (Aço Inox) com bicos da marca Stainless steel,
- sistema de controle de temperatura Novus N1030-pr Pt100 / J/ K / T,
- termopar tipo J Mineral inox 1.5 X 100 mm cabo com 2m,
- cabo resistivo Silicone Tamar 2m, 2,7 mm de diâmetro 25W/m 110V
- fio de cobre de 2 mm,
- fita termica de teflon adesiva de 15mm resistente a alta Temperatura da marca Wylie;
- caixa de passagem da marca Kraus-Muller Ind e Com. De 107 x 35 x 86 mm.

Todos obtidos no mercado local em Volta Redonda – RJ.

A caixa foi adaptada para encaixar o sistema de controle de temperatura e para permitir a passagem dos fios de energia, controles de termopar e resistência (Figura 14).

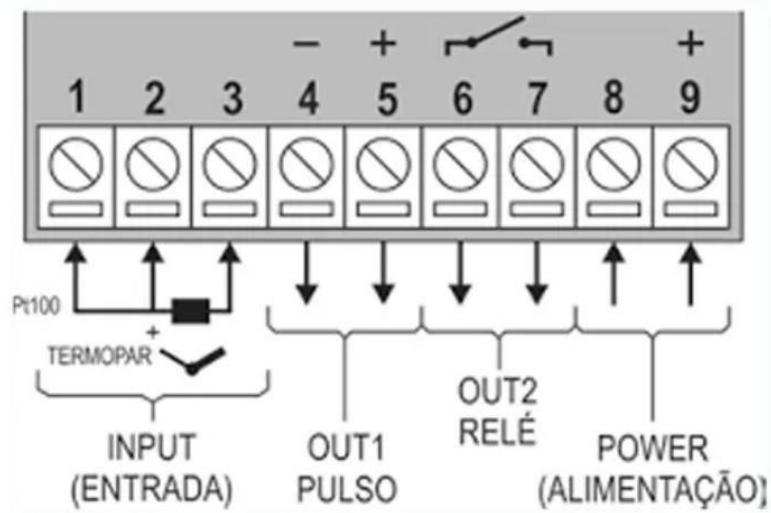
Figura 14: Preparação da caixa de passagem para permitir a passagem dos cabos e adaptação do sistema de controle de temperatura



Fonte: AUTOR (2025).

O sistema de cabeamento foi realizado de acordo com o recomendado pelo fabricante (Figuras 15 e 16).

Figura 15: Sistema de cabeamento do controle de temperatura, recomendado pelo fabricante



Fonte: AUTOR (2025).

Figura 16: Cabeamento do sistema – ligações eletrônicas



Fonte: AUTOR (2025).

Além disso, a resistência foi enrolado em torno do corpo da seringa para garantir que o sistema fique aquecido e o termopar colocado de forma a ler a temperatura do sistema (Figura 17).

Figura 17: Enrolamento da resistência e posicionamento do termopar no corpo da seringa



Fonte: AUTOR (2025).

Para isolar o sistema, foi utilizado fita termica de teflon adesiva de 15mm resistente a alta temperatura da marca Wylie (Figura 18).

Figura 18: Isolamento do sistema com fita térmica de teflon



Fonte: AUTOR (2025).

Após o sistema pronto, as temperaturas foram ajustadas e o sistema ficou operante (Figura 19).

Figura 19: Ajuste do sistema de temperatura



Fonte: AUTOR (2025).

### 3.2.6 Injeção do PEAD

O material coletado, limpo e picotado foi inserido na boca superior do recipiente e o bico injetor, foi então, acoplado (Figura 20).

Figura 20: Preenchimento do recipiente de armazenagem da injetora



Fonte: AUTOR (2025).

Posteriormente, o conjunto foi aquecido a uma temperatura superior a de fusão mas inferior a temperatura de degradação do PEAD (200 °C) para garantir que o material fundisse (Figura 21).

Figura 21: Preenchimento do recipiente de armazenagem da injetora



Fonte: AUTOR (2025).

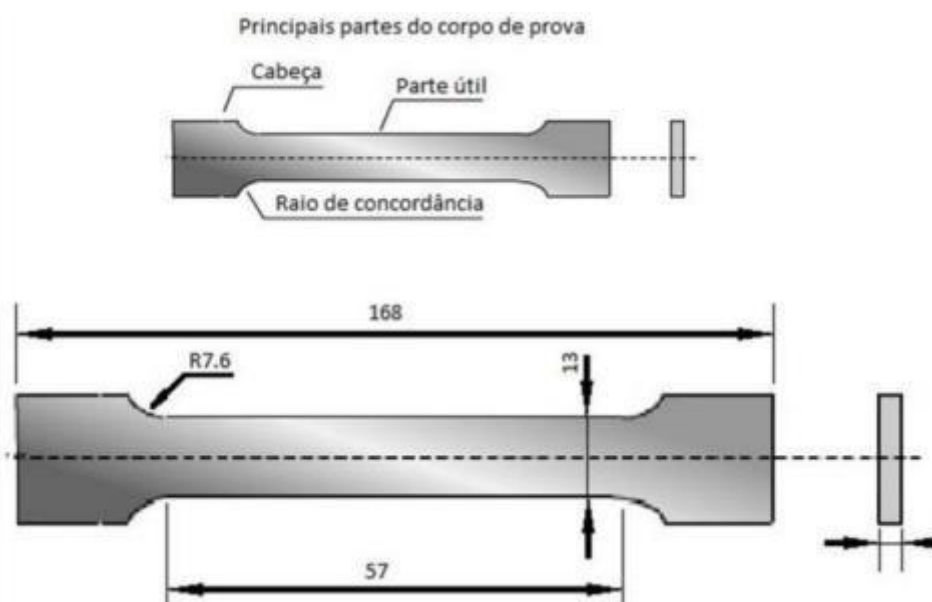
Na sequência, o êmbulo da injetora manual foi pressionado e os filamentos de PEAD, se formaram.

### 3.2.7 Ensaio à Tração

Utilizando-se a Máquina de Ensaio DL-10000 da EMIC, localizada no UniFOA (Volta Redonda), que apresenta velocidade de 2,0 mm.min<sup>-1</sup> e célula de carga com capacidade de 5 kgf, foram ensaiados 5 corpos de prova para avaliar a mudança da resistência a tração, antes e após o processo de extrusão, do polímero (Figura 22).

Os corpos de prova foram manufacturados em uma injetora de bancada da marca RAY RAM, modelo TSMP, a temperatura de 250 °C de acordo com a norma ASTM D 638.

Figura 22: Corpos de ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D 638



Fonte: SILVA (2024)

### 3.2.8 Manufatura da rede externa da ecobarreira

Para manufatura da ecobarreira, os fios poliméricos injetados, foram cortados e soldados à quente usando um ferro de solda da marca Vonder (30W / 127 V) (Figura 23).

Figura 23: Solda a quente dos filamentos de PEAD.



Fonte: AUTOR (2025).

Posteriormente eles foram trançado e soldados para formar uma rede que irá recobrir os recipientes que darão sustentabilidade de flutuação do sistema (Figura 24).

Figura 24: Formação da rede.



Fonte: AUTOR (2025).

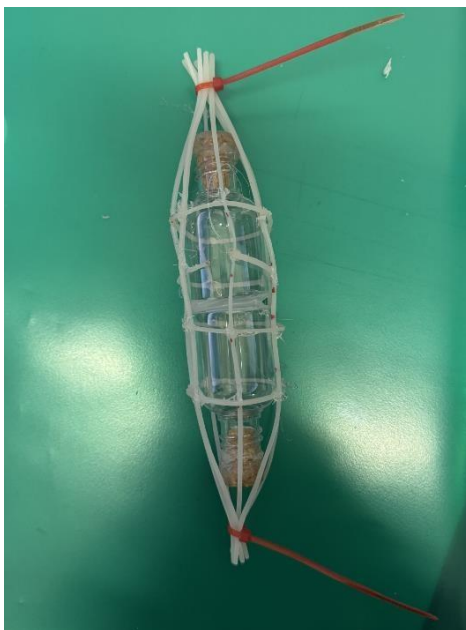
Os recipientes flutuantes foram unidos com cola quente usado-se uma pistola para este fim e embutido na rede que foi fechada nas extremidades, de forma a manter o sistema coeso (Figuras 25 e 26).

Figura 25: Junção dos recipientes flutuantes com cola quente.



Fonte: AUTOR (2025).

Figura 26: Embutimento dos recipientes flutuantes no sistema de rede.



Fonte: AUTOR (2025).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

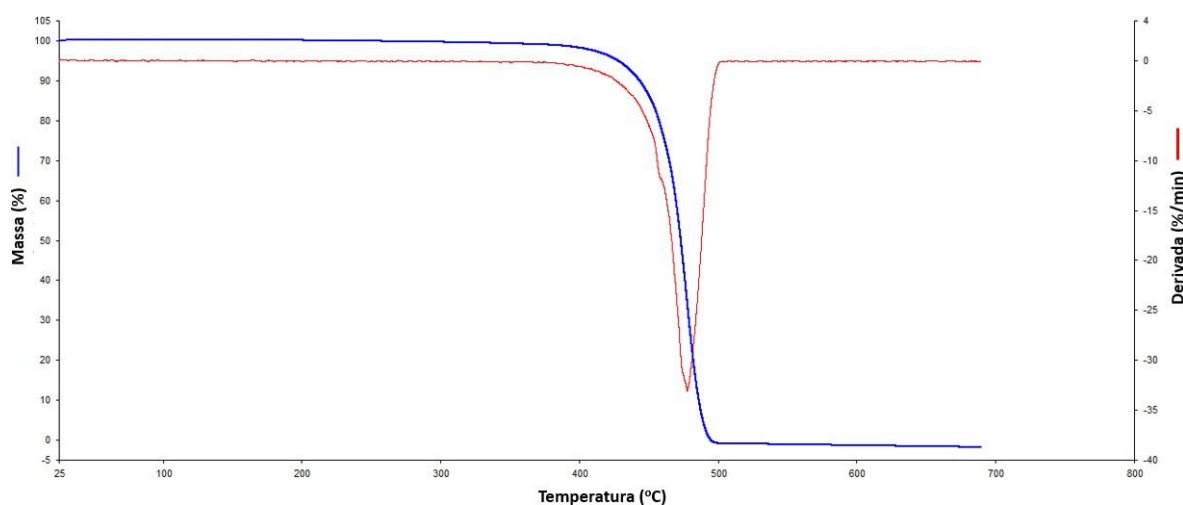
### 4.1 ENSAIO DE TGA DA AMOSTRA COLETADA

Visando determinar o polímero a ser usado na manufatura da ecobarreira, foram coletados dois diferentes tipos de plásticos, o polietileno de alta densidade e o politereftalato de etileno, nos quais, foram realizados ensaios de TGA.

No ensaio de TGA do PEAD (Figura 27), foi observado apenas um decaimento, indicando que o material é puro. Além disso, a temperatura inicial de degradação ( $T_i$ ) de 381,08 °C está abaixo do valor encontrado na literatura que está na faixa de 460 °C e 490 °C, tanto para o PEAD, quanto para o PEBD, dependendo da taxa de aquecimento utilizada (PERONDI et al., 2017). Entretanto, de acordo com Araújo et al. (2019) esse valor está de acordo com a temperatura inicial de degradação do PEAD após cinco ciclos de reciclagem, no entanto, esse material apresenta pico único na derivada. Sendo assim, faz-se necessário outros ensaios para determinar sua composição.

Não há resíduos ao final da queima, com perda de 100%, indicando que o material não possui carga acrescida em sua estrutura (COSTA, 2018).

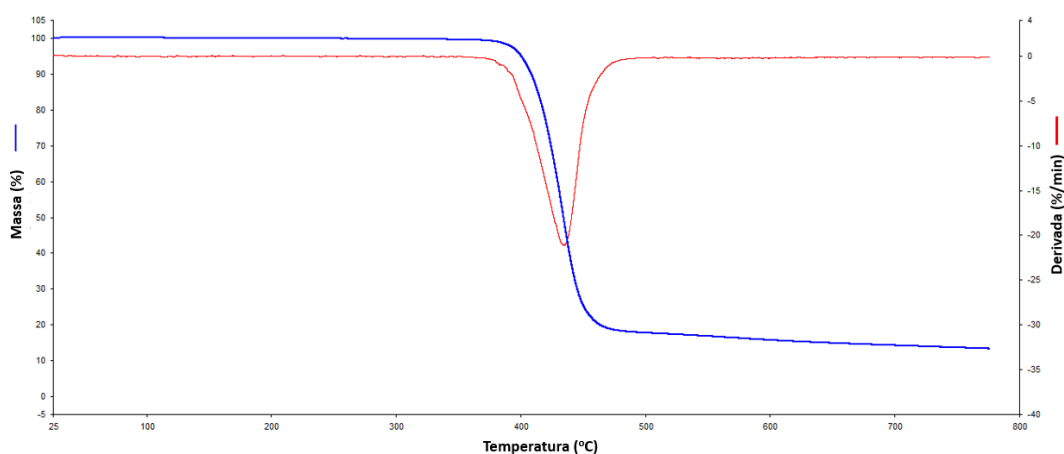
Figura 27: Curva de TGA do PEAD



Fonte: AUTOR (2024)

Para os ensaios do PET feitos no TGA (Figura 28), assim como os de PEAD, a curva de termogravimetria e a da derivada, apresentam um único evento, sendo indicativos de material puro e sua temperatura de degradação (381,1 °C), está de acordo com a amostra encontrada na literatura que é, segundo Alshammari et al. (2019), de  $382 \pm 1,4$  °C.

Figura 28: Curva de TGA do PET



Fonte: AUTOR (2024)

#### 4.2 ENSAIO DE DSC DA AMOSTRA COLETADA

Visando determinar a temperatura de fusão dos materiais coletados, foram realizados ensaios de DSC.

Para o PET foi obtida temperatura de onset e endset, respectivamente de 237,5 °C e 255,9 °C, com entalpia de  $24,5 \text{ J.g}^{-1}$ . Já para o PEAD, encontrou-se a temperatura extrapolada de início de fusão de 121,6 °C e a final de 142,1 °C e entalpia de  $125,1 \text{ J.g}^{-1}$  (Tabela 2).

De acordo com a literatura, o PET apresentou temperatura de amolecimento (237,5 °C), abaixo do esperado que deve ser entre 245 °C e 260 °C (BANNACH et al., 2011; NETZSCH, 2024). Entretanto, essa diferença pode ser decorrente da taxa de

aquecimento utilizada. Além disso, apenas um pico foi evidenciado na curva, decorrente do grau de cristalinidade do material (BANNACH et al., 2011).

No caso do PEAD, sua temperatura de início de fusão extrapolada, que é de 121,6 °C, está de acordo com a encontrada no trabalho de dos Reis (2007) que é de aproximadamente 120 °C, indicando que o material pode se PEAD.

Mediante essas informações, optou-se por utilizar o PEAD neste trabalho, por apresentar menor temperatura de fusão, o que requer menor energia e facilita o trabalho de injeção posterior.

**Tabela 2-** Resultados da análise em DSC

Polímero	Tonset (°C)	Tendset (°C)	$\Delta H$ (J.g <sup>-1</sup> )
PET	237,5	255,9	24,5
PEAD)	124,6	142,1	125,1

Fonte: AUTOR (2024).

#### 4.3 ENSAIO DE FT-IR DA AMOSTRA COLETADA

As curvas do material, virgem e do material descartado (resíduo), de FT-IR (Figura 29 A e B) apresentaram bandas em 2915 cm<sup>-1</sup> e 2848 cm<sup>-1</sup>, aproximadamente, que correspondem, respectivamente a CH<sub>2</sub> assimétrico e estiramento do grupamento C-H e CH<sub>2</sub> simétrico e estiramento do grupamento C-H (ARAÚJO et al., 2019; SMITH, 2021).

Ocorrem, também, bandas em 1472 cm<sup>-1</sup> e 1463 cm<sup>-1</sup> que são atribuídas a vibrações de deformação de ligação C-H em grupos metileno (-CH<sub>2</sub>-) ou metilo (-CH<sub>3</sub>) (ANDRADE, 2016; SMITH, 2021).

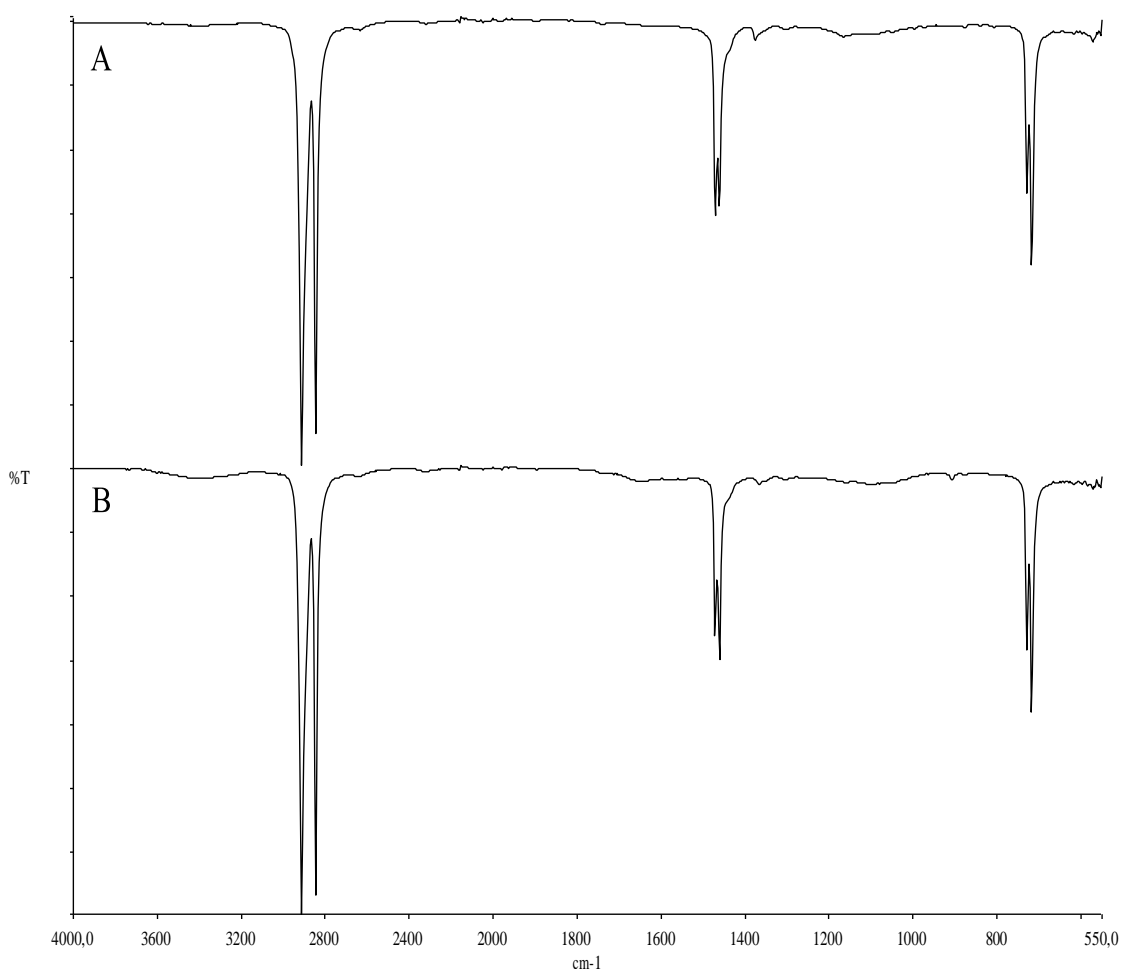
Além disso, é possível observar bandas em 730 cm<sup>-1</sup> e 719 cm<sup>-1</sup> que correspondem, ao modo torção ou “*rocking*” do grupamento C-H (ARAÚJO et al., 2019 (ANDRADE, 2016; ARAÚJO et al., 2019; SMITH, 2021).

Estes picos divididos, recebem o nome de divisão cristalina, e são típicos do PEAD, que não possuem cadeias laterais, o que permite a aproximação e cristalização

das cadeias de metileno e sua caracterização e diferenciação dos demais polietilenos (SMITH, 2021).

Sendo assim, ambos apresentam os mesmos picos, sendo, portanto, PEAD puro.

Figura 29: Espectros FT-IR de reflexão - UATR de: A) PEAD Virgem e B) PEAD reciclado



Fonte: Autor, 2025

#### 4.4 OBTENÇÃO DOS FILAMENTOS DE PEAD REUTILIZADOS

Os filamentos foram obtidos mediante aquecimento do sistema, obtendo-se fios de, aproximadamente, 2 mm de espessura e 20 cm de comprimento que foi esfriado ao ar (Figura 30).

Figura 30: Formação dos fios de PEAD pelo processo de injeção

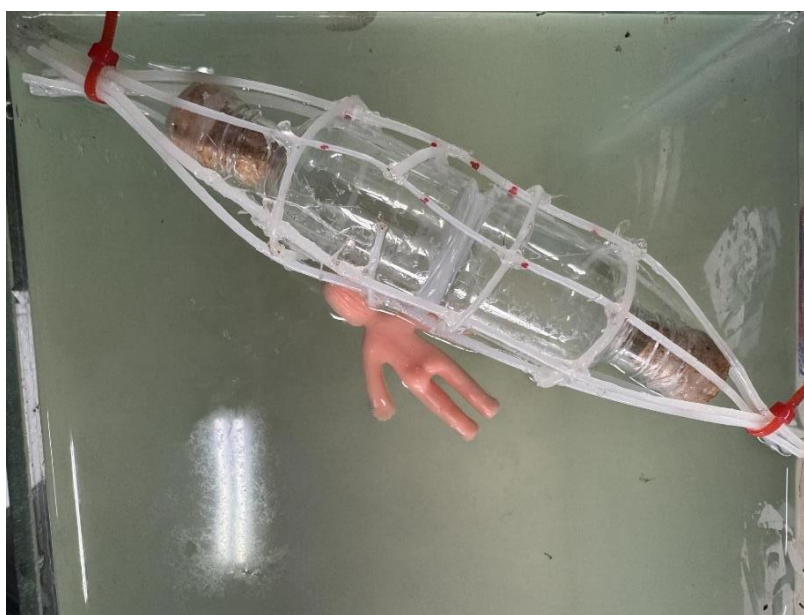


Fonte: Autor, 2025

#### 4.5 MONTAGEM DA ECOBARREIRA

A ecobarreira foi manufaturada e sua flutuabilidade e capacidade de retenção testada em escala, em um aquário, demonstrando grande potencial de utilização (Figura 31).

Figura 31: Barreira instalada em aquário



Fonte: Autor, 2025

#### 4.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Estas propriedades mecânicas do PEAD virgem e reciclado, especialmente a resistência à tração, influenciam diretamente a viabilidade e a aplicação do material reciclado (COSTA et al., 2016).

Ao se comparar as propriedades da resistência à tração do PEAD virgem e do PEAD reciclado, observa-se algumas diferenças importantes, acompanhadas pelos respectivos desvios padrão, que indicam a variabilidade dos dados (COSTA, 2016; TRI et al., 2013).

O PEAD virgem apresentou uma tensão de escoamento média de 9,72 MPa com um desvio padrão de 0,14 MPa ligeiramente superior ao PEAD reciclado que tem tensão de escoamento média de 9,26 MPa e desvio padrão de 0,32 MPa.

Isso demonstra que O PEAD virgem suporta uma carga maior antes de começar a se deformar plasticamente de forma irreversível (COSTA, 2016; TRI et al., 2013).

O desvio padrão do PEAD reciclado, entretanto, é mais que o dobro do virgem, sugerindo uma maior variabilidade na sua tensão de escoamento, que pode ser atribuído à heterogeneidade do material reciclado e aos diferentes processos de reciclagem (COSTA et al. , 2016).

Surpreendentemente, a força máxima de tração do PEAD reciclado (18,23 MPa) foi ligeiramente superior à do virgem (17,66 MPa). No entanto, novamente, o desvio padrão do reciclado (0,65) é substancialmente maior que o do virgem (0,15). Em comparação com a literatura, os dados de força máxima de tração (25-35 MPa) estão ligeiramente menores.

Isso pode ter ocorrido devido a vários fatores tais como um pequeno aumento na cristalinidade durante o processo de reciclagem do polímeros que influencia a força máxima de tração e, em alguns casos, aumenta a resistência (COSTA, 2016; TRI et al., 2013).

Além disso, outros fatores podem ser relevantes, tais como a composição do PEAD reciclado que pode incluir misturas de diferentes tipos de PEAD ou aditivos (intencionais ou não) que podem influenciar essa propriedade, as variações das

condições de processamento (temperatura, tempo, taxas de cisalhamento) durante a reciclagem que podem ter um impacto significativo, a presença de cargas ou impurezas, que apesar de, geralmente indesejáveis, podem, atuar como agentes de reforço, embora isso seja menos comum para um aumento significativo na força máxima de tração sem outras perdas de propriedade (BLAGOJEVIC; BUHIN; IGREC, 2012; COSTA et al., 2016). Entretanto, estes últimos fatores foram descartados por conta dos ensaios de TGA, DSC e FT-IR realizados nos materiais que demonstram composições próximas, sem adição de materiais.

No entanto, a maior variabilidade no PEAD reciclado (DP de 0,65 vs. 0,15) é um ponto crucial e está totalmente alinhada com a literatura. A heterogeneidade do material de origem e a degradação inconstante levam a uma maior dispersão dos resultados.

Outro ponto relevante é o módulo elástico, que nesta análise, foi realizado sem levar em conta o fator de deformação, do PEAD virgem (156,3 MPa) em comparação ao PEAD reciclado (130,3 MPa). Neste caso, o primeiro apresenta um módulo elástico significativamente maior que o segundo, indicando maior rigidez do material virgem. O desvio padrão do reciclado (8,06) é *muito* maior que o do virgem (1,77).

Isso é explicado, principalmente, pela degradação da cadeia polimérica (quebra de cadeias) durante o reprocessamento. Cadeias mais curtas resultam em menor capacidade de transferir tensão de forma eficiente, levando a um material menos rígido. A maior variabilidade (desvio padrão muito elevado no material reciclado) é um achado consistente na literatura, refletindo a imprevisibilidade do material reciclado devido à sua origem diversa e múltiplos ciclos de vida (COSTA, 2016; TRI et al., 2013).

## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se que, o polietileno de alta densidade apresenta temperatura de fusão menor que o PET, sendo, conseqüentemente, mais fácil de fundir e de processar na injetora, e temperatura de degradação acima da do polietileno tereftalato, o que garante maior range de trabalhabilidade antes de apresentar degradação. Sendo assim, optou-se por trabalhar com o PEAD na manufatura da ecobarreira.

De acordo com os ensaios de FT-IR, DSC e TGA é possível afirmar que o material utilizado é PEAD puro sem adições.

Utilizando-se a injetora manual, foi possível a obtenção de filamentos com espessura adequada a montagem de um protótipo de ecobarreira.

Foi possível unir os filamentos com solda a quente para obtenção da rede que encapsulou os recipientes responsáveis pela flutuabilidade do sistema.

A resistência à tração do PEAD reciclado, apresentou valores próximos ao do PEAD puro que caracterizam um material com boa resistência mecânica, leveza e flutuabilidade, sendo uma alternativa viável para a construção de ecobarreiras.

Além disso, foi possível reintroduzir o material reciclado novamente no ciclo produtivo.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

- Criar uma barreira em tamanho real para um pequeno correço, canais fluviais ou represas;
- Criar filamentos reforçados com outras fibras para aumentar a resistência mecânica e diminuir os custos;
- Fazer ensaios de intemperes para avaliar a resistência do material a exposição dos raios UVA e UVB.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. *In: Perfil 2022 da abiplast apresenta dados atualizados sobre a indústria do plástico no Brasil.* [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/noticias/perfil-2022-da-abiplast-apresenta-dados-atualiza-dos-sobre-a-industria-do-plastico-no-brasil/> Acesso em: 23 out. 2024.

ABRELPE, 2021, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: < <https://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em 22 de agosto de 2024.

AFINKO. **Processamento de Polímeros: Extrusão e Injeção.** 2018. Disponível em: [https://afinkopolimeros.com.br/processamento-de-polimeros/#:~:text=Os%20dois%20processos%20produtivos%20mais,moldagem%20por%20inje%C3%A7%C3%A3o%20\(30%25\).](https://afinkopolimeros.com.br/processamento-de-polimeros/#:~:text=Os%20dois%20processos%20produtivos%20mais,moldagem%20por%20inje%C3%A7%C3%A3o%20(30%25).) Acesso em: 23 out. 2024.

ANDRADE, K. S. **Produção e caracterização de materiais poliméricos para recobrimento de cabos condutores.** 2016. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ARAÚJO, A. C.; MOREIRA, B. G.; DE LIMA, T. M. P. **Impactos da degradação do plástico no meio ambiente e na saúde humana: uma revisão.** 2022. 107 f. Monografia (Tecnólogo em Processos Químicos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Campinas, Campinas, 2022.

ARAÚJO, A. V. C.; HUBERT, H. M. K.; MARTINS, V.; CÂNDIDO, L. H. A.; ZATTERA, A. J.; SCIENZA, L. C. Reprocessamento do polietileno de alta densidade: Aspectos estruturais. In: 15º. Congresso Brasileiro de Polímeros, **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 27 a 31 de outubro de 2019. Disponível em: [https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/266236/001110168.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=As%20curvas%20de%20DRX%20obtidas,encontrados%20na%20literatura%20%5B10%5D.](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/266236/001110168.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=As%20curvas%20de%20DRX%20obtidas,encontrados%20na%20literatura%20%5B10%5D) Acesso em: 10 jun. 2025.

ARRUDA, A. M. **Elaboração de um material paradidático para discutir o conteúdo de polímeros no ensino médio: em foco a interdisciplinaridade e a contextualização no ensino de química.** 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 638: standard test method for tensile properties of plastics.** U.S., 2014.

AZEVEDO, H. M. S. A. R.; BARROS, G. S.; SILVA, G. O.; FARIA, A. D. Compósitos de pead reciclado e fibras lignocelulósicas: Efeito do tipo de fibra, do teor e do agente compatibilizante. *Contemporary Journal*, 2024, v. 4, n.4, p. 1-23, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N4-064 Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/3546> Acesso em: 01 nov. 2024.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono.** 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de

Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BANDEIRA, C. F.; COSTA, A. C. A.; MONTORO, S. R.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. Efeitos da história térmica nas propriedades do polímero pet: um experimento para ensino de análise térmica. **Journal of Applied Polymer Science**, 2022, 139:e52160. DOI: 10.1002/app.52160 Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/app.52160> Acesso em: 23 out. 2024.

BANNACH, G.; PERPÉTUO, G. L.; CAVALHEIRO, E. T. G.; CAVALHEIRO, C. C. S.; ROCHA, R. R. Thermal behavior evaluation of benzoxazine reinforced with macadamiabiomass composites. **Nova Química**, 2011, v. 34 n. 10. DOI: 10.1590/S0100-40422011001000016 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/rpzmbPNB9WFnpBNbxF4zVqg/#> Acesso em: 07 nov. 2024.

BATISTA, R. A. Obtenção do polietileno a partir de fontes renováveis. 2013. 84 f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Industrial Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2013.

Blagojević, S. L., Buhin, Z., & Igrec, I. (2012). Influence of silica nanofiller on the isothermal crystallization and melting of polyurethane elastomer. **Journal of Applied Polymer Science**, 129(3), 1466-1475. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/app.38846>. Acesso em: 10/06/2025

BRASIL DE FATO. Pobreza e extrema pobreza atingem menores patamares no Brasil, desde 2012, diz estudo. **Brasil de Fato – Uma visão popular do Brasil e do Mundo**, 2024. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/04/24/pobreza-e-extrema-pobreza-atingem-menores-patamares-no-brasil-desde-2012-diz-estudo> Acesso em: 31 out. 2024.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Presidência da República - Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos Brasília**, DF, 2 de dezembro de 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm) Acesso em: 23 out. 2024.

CAIXETA, D.; MORAIS, E. PANORAMA MUNDIAL DE PRODUÇÃO DE PLÁSTICO E ESTRATÉGIAS DE DEGRADAÇÃO. **Enciclopédia Biosfera**. v. 19, n. 39, 2022. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5442>. Acesso em: 24 out. 2024.

CANEVAROLO JR., S. V. Ciência dos Polímeros. Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros. 3ª. ed. São Paulo: ArtLiber, 2010. 280p.

CARVALHO, J. A. L. **Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí**: Obtenção e caracterização. 2019. 103 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

CARVALHO, T. C. M. B. Apenas 9% do plástico global é reciclado; no Brasil, a porcentagem é ainda menor, 2024. **Jornal da USP**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/apenas-9-do-plastico-global-e-reciclado-no-brasil-porcentagem-ainda-e-menor/> Acesso em: 31 out. 2024.

CHEN, A.; QU, C.; SHI, Y.; SHI, F. Manufacturing strategies for solid electrolyte in batteries. **Energy Research**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.571440>

COMPOSTOS – **BLOG**. Injeção de termoplásticos: Descubra a importância desse processo. Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/injecao-de-termoplasticos> Acesso em: 06 nov. 2024.

CONCIANI, R. **Estudos de barreiras de solo compactado para retenção de contaminantes**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestre em Geotecnia) – Universidade de Brasília, DF, 2011.

COSTA, A. C. A. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Universidade de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda, 2018.

COSTA, H. M.; RAMOS, V. D.; ANDRADE, M. C.; NUNES, P.S. R. Q. Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). **Polímeros**, v. 26, n. spe, p. 75-81, 2016. DOI: 10.1590/0104-1428.2104. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/M59DTMGYMQSpqpCQPFBvxXJ/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2025

COSTA, T. H. S.; COSTA, A. S.; MARIA, L. C. S.; COUTINHO, F. B. Síntese de Catalisadores Ziegler-Natta: Algumas rotas e suas dificuldades. **Revista Química Nova**, São Paulo, v.20, n.1, p.93-98, 1997.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

DA CRUZ, C. Z. C. **Nanocompósitos de polietileno de alta densidade/grafite obtidos via polimerização in situ**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DOS REIS, A. P.; ALMEIDA, D. P.; SANTOS, E. L. C.; DOS SANTOS, E. A. P. SANTO, A. M. E. Estudo das propriedades química e mecânica do polietileno em cabos coaxiais. *In: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de PósGraduação, Anais...* São José dos Campos, RJ, 2007. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2008/anais/arquivosINIC/INIC0423\\_02\\_A.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosINIC/INIC0423_02_A.pdf) Acesso em: 07 nov. 2024.

FRANZ, B. **O Lixo Flutuante em Regiões Metropolitanas Costeiras no Âmbito de Políticas Públicas: O Caso da Cidade do Rio de Janeiro**. COPPE-UFRJ. Instituto Alberto Luiza Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro. Setembro de 2011.

FERREIRA, R. **Entendendo a extrusão de polímeros**. Manual - Processo de transformação – extrusão. Módulo III – Técnico em plástico. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Sapucaia do Sul. 2019. Disponível em: <http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/rferreira/Extrus%C3%A3o%20Teoria%20-%203P%203T/5.%20Entendendo%20a%20Extrus%C3%A3o%20de%20Pol%C3%ADmeros.pdf> Acesso em: 22/10/2024.

FERREIRA, R. **Introdução a Processos Especiais de Injeção**. Manual - processos especiais de transformação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Sapucaia do Sul. 2017. Disponível em: <http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/rferreira/4P%20-%20Processos%20de%20Transforma%C3%A7%C3%A3o%20-%202020/1.%20Processos%20Especiais%20de%20Inje%C3%A7%C3%A3o%20Multi-Materiais.pdf> Acesso em: 06/11/2024.

FORGIARINI, G. M. **Classificação dos resíduos sólidos urbanos coletados com o uso de ecobarreira em cursos de água no município de Caçapava do Sul, RS**. 2018. 46 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.

FREITAS, R. **Caracterização Física e Mecânica de Tubulações de Polietileno de Alta Densidade - PEAD**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2018.

GALDINO, R. N.; GONZAGA, G. B. M.; MARQUES, R. F, G. A. Utilização do EPS como aterro ultraleve – Técnica aplicada à obras de aterros sobre solos moles. **Caderno de Graduação Ciências exatas e tecnológicas**. v. 6, n.2, p. 119-125, Setembro 2020. ISSN ELETRÔNICO 2316-3135. Disponível em: <https://periodicosgrupotiradentes.emnuvens.com.br/cadernoexatas/article/view/6041/4188>. Acesso em: 10 JUN. 2025.

GOLVEIA, T. A. **Eletrólitos sólidos poliméricos: estado da arte e perspectivas de aplicação**. 2021. 107 f. Monografia (Bacharel em Química Industrial) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

GRANDA, A. Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe. **Agência Brasil**, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/indice-de-reciclagem-no-brasil-e-de-4-diz-abrelpe> Acesso em: 31 out. 2024.

HAGE, E. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, v. 8. n. 2. P. 6-9, abr./jun., 1998.

HENTOUX, M. A. **Análise da cadeia de valor da reciclagem de PET com ênfase no PET-PCR grau alimentício**. 2018. 39 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

HIAMAGUTI, E. C. C.; COZZOLINO, S. J. O. **Reintrodução no ciclo produtivo do resíduo da moagem do açaí para fabricação de compósito com resina termorrígida**. 2020. 39 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2020.

HOLGUIN, I. C. C. **Estudo do comportamento do PP e PET reciclados submetidos a intempéries e suas possíveis aplicações**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia) Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

KURSCHEIDT, C. S. **Avaliação da fitorremediação como alternativa de pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando macrófitas**. 2013. 156 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LEMOS, L. S. **Estudo da influência da alteração do Arranjo Físico em uma fábrica de Polietileno Expandido**. 2021. 39 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Minas Gerais, Arcos, 2021.

LOCASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 200-210, jan.-abr. 2016. ISSN : 22361170. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/231164400>. Acesso em: 10 JUN. 2025.

MACIEL, C. C.; MURAKAMI, N.; PAIVA, J. M. F. Moldagem de compósitos de pead reciclado com tecido de fibras de juta e avaliação de propriedades de flexão. **Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales**, v.19, n.5, p. 199-206, 2018. Disponível em: <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/02/2018-19-5-199-206-maciel-y-col..pdf> Acesso em: 01 nov. 2024.

MACHADO, P. P.; CONTARINI, L. C.; ROCHA, L. S.; FERREIRA JR., J. L. L.; MILANEZE, L. A.; DA SILVA, M. A. P.; RABELLO, H. Responsabilidade socioambiental: a ecobarreira mitigando atitudes e hábitos negligentes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.3, p.21706-21711, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n3-392. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45766/pdf>. Acesso em: 23 out. 2024.

MALINOSKI, P. Ecobarreiras levou à retirada de 76,6 toneladas de materiais do Arroio Dilúvi em 2024. **Gazeta Zero Hora**, 2024, 139:e52160. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2024/11/ecobarreira-levou-a-retirada-de-766-toneladas-de-materiais-do-arroio-diluvio-em-2024-cm2xj5g7r00yx013pcdgbh9ed.html> Acesso em: 04 nov. 2024.

MARTINS, L. A. **Influência da adição de bentonita em misturas alternativas para a utilização em barreiras impermeabilizantes de aterros sanitários**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

MEDEIROS, R.; SCABIN, D. Dicionário Ambiental – Plásticos *In: Portal de educação ambiental – Governo do Estado de São Paulo*. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/plastico/> Acesso em: 31 out. 2024.

MELO, P. M. A. **Compósitos particulados de polietileno de alta densidade e concha de molusco: Efeito do teor e da granulometria**. 2013. 79 f. Dissertação

(Mestre em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

MOREIRA, G. O. **Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano (Ribeirão dos Carrapatos, Itaí, SP)**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

MOTTIN, E. A. **Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré**. 2023.45 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro de Estudo do Mar, Campus Pontal do Paraná, da Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2023.

MUMBACH, G. D. **Avaliação do processo de recuperação de resíduos poliméricos provenientes da reciclagem pós-consumo de celulose e papel**. 2017. 92 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

NASCIMENTO L. A.; SILVA T. A.; SANTOS M. J. P.; LAFAYETTE K. P. V. Análise dos riscos ambientais decorrentes de ocupações irregulares em uma encosta do município de Olinda–PE. In: SANTANA R. F.; ARAGAO JUNIOR W. R.; EL-DEIR S. G. (Orgs.). **Resíduos sólidos: desenvolvimento e sustentabilidade**. 1a ed. Recife: EDUFRPE, 2020. p. 91-101.

NATIONAL GEOGRAPHIC. In: BRASIL. Meio Ambiente – **Os 3 fatos sobre a poluição plástica no planeta que você precisa saber**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/04/os-3-fatos-sobre-a-poluicao-plastica-no-planeta-que-voce-precisa-saber-0> Acesso em: 23 out. 2024.

NETZSCH. PET: Poliethylene terephthalate. Disponível em: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en/polymers-netzsch-com/engineering-thermoplastics/pet-polyethylene-terephthalate> Acesso em: 07 nov. 2024.

OLIVEIRA, T. C. A.; MOTA, I. O.; MONTORO, S. R.; BANDEIRA, C. F. Plásticos no meio ambiente: Impacto do descarte inadequado. In: 1º. Congresso Brasileiro de Ciência e Saberes Multidisciplinares, **Anais...** Volta Redonda, RJ, out. 2022.

ONU. In: **Relatório da ONU aponta soluções para reduzir a poluição plástica**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/231688-relat%C3%B3rio-da-onu-aponta-solu%C3%A7%C3%B5es-para-reduzir-polui%C3%A7%C3%A3o-pl%C3%A1stica> Acesso em: 31 out. 2024.

ONU. In: **Tudo o que você precisa saber sobre poluição plástica**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-poluicao-plastica#:~:text=A%20humanidade%20produz%20mais%20de,entrando%20na%20cadeia%20alimentar%20humana.> Acesso em: 23 out. 2024.

ONU. In: Nações Unidas ressaltam importância de boa gestão no Dia do Resíduo Zero. [S. l.], 2024. **ONU NEWS**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/03/1829806> Acesso em: 01 nov. 2024.

PCC GROUP. – **BLOG**. Propriedades e usos do polietileno na indústria e nas residências. 2022. Disponível em: <https://www.products.pcc.eu/pt/blog/propriedades-e-usos-do-polietileno-na-industria-e-nas-residencias/#:~:text=Propriedades%20f%C3%ADsico%2Dqu%C3%ADmicas%20do%20polietileno&text=%C3%A9%20flex%C3%ADvel%2C,cada%20tipo%20de%20pol%C3%ADmero%20PE>). Acesso em: 24 out. 2024.

PEREIRA, E. R. **Viabilidade técnica do reaproveitamento e valorização das borras de PEAD provenientes do processo de injeção de termoplásticos**. 2015. 172 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PLÁSTICO INDUSTRIAL. **EUBP divulga dados de mercado para os bioplásticos**. 2024. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/7982-EUBP-divulga-dados-de-mercado-para-os-bioplasticos.html> Acesso em: 24 out. 2024.

PLÁSTICO NEWS.ORG. **Mercado global de embalagens de polietileno deve atingir 8.3 bilhões em 2028**. Disponível em: <https://plasticnews.org/mercado-global-de-embalagens-de-polietileno-deve-atingir-8-3-bilhoes-em-2028/> Acesso em: 30 out. 2024.

PLASTICSEUROPE. *An analysis of European plastics production, demand and waste data*. 2019. Disponível em: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf> Acesso em: 24 out. 2024.

PNUMA - ONU. In: **Panorama global do manejo de resíduos em 2024**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/panorama-global-do-manejo-de-residuos-em-2024> Acesso em: 31 out. 2024.

REGUEIRO, E. C. G. **Avaliação da Influência de Diferentes Configurações das Camadas dos Aterros na Formação de Lixiviados**. 2006. 83 f. Monografia (Licenciatura em Engenharia do Ambiente) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2006.

RODRIGUES, L. D. C. Análise sobre injeção plástica, seus parâmetros e os possíveis defeitos relacionados ao processo. 2018. 46 f. Monografia (Graduação do curso de Engenharia Mecânica) –Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018.

SANTANA, M. F.; DA CUNHA, S. B. Intervenções em canais urbanos e suas repercussões: bacia hidrográfica do Córrego Sangradouro, Cáceres–MT. **Revista Geografar**, v. 14, n. 2, p. 210-225, 2019.

SANTOS, B. de M. **Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré**. 2018.45 f. Monografia (Bacharel em Oceanografia) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SANTOS, R. **Os plásticos na construção civil**. 2010, 45 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) – Universidade Fernando Pessoa Fernando Pessoa, 2010.

SILVA, J. de O. **Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da bertholletia excelsa**. 2024. Dissertação (mestrado) - centro universitário de volta redonda, [s. L.], 2024.

SIMAN FILHO, A. J.; SANFELICE, R. C. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba - MG, v. 3, n. 2, p. 131–148, 2019. DOI: 10.18554/rbcti.v3i2.3347. Disponível em: <https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/3347>. Acesso em: 23 out. 2024.

SMITH, B. C. The Infrared Spectra of Polymers II: Polyethylene. **Journal of Spectroscopy**, Cranbury - NJ, v.36, n.9, p.24-29, 2021. DOI: <https://doi.org/10.56530/spectroscopy.xp7081p7>. Disponível em: <https://www.spectroscopyonline.com/view/the-infrared-spectra-of-polymers-ii-polyethylene>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SOARES, F. **Processo de coleta e reciclagem de EPS na cidade de Joinville**. 2014. 49 f. Monografia (MBA em Marketing) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TRI, P. N.; DOMENEK, S.; GUINAULT, A.; SOLLOGOUB, C. (2013). Crystallization behavior of poly(lactide)/poly( $\beta$ -hydroxybutyrate)/talc composites. **Journal of Applied Polymer Science**, 129(6), 3355-3365. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/app.39056>. Acesso em: 10/06/2025

TRASHIN – **BLOG**. Ecobarreira Arroio Dilúvio: como a Trashin atua junto ao Instituto Safeweb. Disponível em: <https://trashin.com.br/ecobarreira-arroio-diluvio-como-a-trashin-atua-junto-ao-instituto-safeweb/> Acesso em: 04 nov. 2024.

UFSC - MATERIOTECA SUSTENTÁVEL. **Polietileno**. 2024. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/polietileno/> Acesso em: 24 out. 2024.

United Nations Environment Programme, & International Solid Waste Association - ISWA (2024). **Global Waste Management Outlook 2024** - Beyond an age of waste: Turning Rubbish into a Resource. DOI. 10.59117/20.500.11822/44939 Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>. Acesso em: 31 out. 2024.

WOLF, C. R. **Preparação, caracterização a aplicação de catalizadores Ziegler-Natta na produção de polietileno de alta densidade**. 2004. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ZAFANELLI, E.; GEHLEN BOHRER, R. E.; MUELLER LARA, D.; GONÇALVEZ ROTH, J. C.; GUERRA, D.; DA SILVA, D. M.; LORENSI DE SOUZA, E.; LANZANOAVA, M. E. Implantação e monitoramento de ecobarreira em recurso hídrico no município de Espumoso-RS. **Revista Monografias Ambientais**, [S. l.], v. 1, 2021. DOI: 10.5902/2236130865672. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/65672>. Acesso em: 23 out. 2024.

ZIULKOSKI, P. Confederação Nacional de Municípios. Estimativa divulgada pelo IBGE reforça erros no Censo e necessidade de contagem populacional em 2025. 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/estimativa-divulgada-pelo-ibge-reforca-erros-no-censo-e-necessidade-de-contagem-populacional-em-2025>  
Acesso em: 31 out. 2024.

ZUIM, B. B. **Reaproveitamento energético dos refugos industriais do processo de rotomoldagem a partir da gaseificação**. 2013. 140 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

## ANEXO 1- Carta de Parceria da iTech.



A

UNIFOA – Centro Universitário de Volta Redonda  
 Mestrado Profissional em Materiais – MEMAT  
 Campus Olézio Galotti – Avenida Dauro Peixoto Aragão, 1325  
 Três Poços, Volta Redonda – CEP 27240-580

Ref.:

PROJETO: DESENVOLVIMENTO DE ECOBARREIRA MANUFATURADA VIA  
 INJEÇÃO DE POLIETILENO RECICLADO

Prezados

Vimos através desta, formalizar a realização de uma parceria entre o UniFoa – Centro Universitário de Volta Redonda e a iTech Analytics para fomentar o desenvolvimento do projeto supracitado a ser apresentado como dissertação pelo aluno JOÃO VITOR ALVES SANTIAGO para obtenção do título de Mestre em Materiais.

A iTech Analytics, por meio da presente parceria firmada, autoriza a utilização de seus equipamentos e laboratórios para desenvolvimento de ensaios de caracterização da matéria-prima e compósito final. Esta parceria terá fim com a defesa do mestrado do aluno na instituição acima mencionada ou no caso do trancamento / desistência ou caso o mesmo seja jubilado.

Adicionalmente a iTech Analytics autoriza a utilização de seu nome e dados relacionados às suas atividades na dissertação e eventuais artigos científicos produzidos no presente projeto, cabendo uma avaliação preliminar do conteúdo do texto por parte da empresa.

Atenciosamente

Gerente Geral|

iTech Analytics

--

