

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ANA CLARA ARAUJO

BRUNA GALDINO MOREIRA

THAÍS MOURA PEREIRA DE LIMA

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO PLÁSTICO NO MEIO
AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO**

CAMPINAS/SP
2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ANA CLARA ARAUJO

BRUNA GALDINO MOREIRA

THAÍS MOURA PEREIRA DE LIMA

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO PLÁSTICO NO MEIO
AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO**

Trabalho de Graduação apresentado por Ana Clara Araujo, Bruna Galdino Moreira e Thaís Moura Pereira de Lima, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Prof^ª. Dr^ª. Nilva Aparecida Rassinetti Pedro

CAMPINAS/SP
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

M838i

MOREIRA, Bruna Galdino

Impactos da degradação do plástico no meio ambiente e na saúde humana: uma revisão. Ana Clara Araújo, Bruna Galdino e Thaís Moreira Pereira de Lima.

Campinas, 2022.

44 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Prof. Dra. Nilva Aparecida Rassinetti Pedro.

1. Meio ambiente. 2. Gestão. 3. Reciclagem. 4. Saúde. I. Autor.

II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 661

CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 22.2

**Thaís Moura Pereira de Lima, Ana Clara de Araújo e Bruna
Galdino Moreira**

**Impactos da degradação do plástico no meio ambiente e na
saúde humana: uma revisão**

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 07 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Nilva Aparecida Ressinetti Pedro
Fatec Campinas



Fábio Domingues Nasário



Robson Canuto da Silva
FATEC Campinas

RESUMO

O advento da indústria do plástico se deu principalmente pelo crescimento das demandas de consumo, impulsionadas pela versatilidade e confiabilidade desse material. Mesmo considerado como um problema recente, estima-se que pelo menos 75% de todo o resíduo plástico já virou lixo. Graças a suas características inertes e a sua baixa degradabilidade, estima-se que determinados tipos de polímeros permaneçam na natureza ao menos por 100 anos, fator que, somado ao grande volume de descarte, promove a residência desse material no ambiente, gerando uma grande quantidade de lixo que não é totalmente administrada. Diversos efeitos negativos estão relacionados ao plástico, principalmente quando se trata da qualidade do solo e da poluição dos mares, que acaba por prejudicar a saúde dos animais marinhos. O presente trabalho teve como objetivo identificar os principais problemas ambientais relacionados ao descarte incorreto de plástico e a baixa degradação desse material, bem como as limitações do processo de reciclagem, poluição por microplásticos e os impactos dessas partículas na saúde humana. Através das plataformas Google Scholar, SciELO e Science Direct, 47 artigos foram selecionados para a realização da revisão bibliográfica. Os artigos demonstraram que a reciclagem é uma solução em potencial para os problemas citados, muito embora seja ainda insuficientemente desenvolvida para lidar de fato com a situação. Sabe-se que esse processo também é responsável pela liberação de partículas plásticas de baixa granulometria para meio ambiente, acarretando riscos de doenças graves a saúde humana, como câncer, problemas imunes e nos rins. Para a resolução da situação, ou pelo menos a mitigação dos efeitos dos polímeros, novas tecnologias de reciclagem devem ser desenvolvidas, bem como tecnologias de separação e metodologias de tratamento de microplásticos antes que haja maiores problemas de contaminação a nível global.

Palavras-chave: plástico; meio ambiente; gestão; reciclagem; saúde.

ABSTRACT

The advent of the plastic industry was mainly due to the growth of consumer demands, driven by the versatility and reliability of this material. Even considered as a recent problem, it is estimated that at least 75% of all plastic waste has already become garbage. Thanks to its inert characteristics and low degradability, it is estimated that certain types of polymers remain in nature for at least 100 years, a factor that, added to the large volume of disposal, promotes the residence of this material in the environment, generating a large amount waste that is not fully managed. Several negative effects are related to plastic, especially when it comes to the quality of the soil and the pollution of the seas, which ends up harming the health of marine animals. The present work aimed to identify the main environmental problems related to the incorrect disposal of plastic and the low degradation of this material, as well as the limitations of the recycling process, pollution by microplastics and the impacts of these particles on human health. Through Google Scholar, SciElo and Science Direct platforms, 46 articles were selected for the literature review. The articles showed that recycling is a potential solution to the aforementioned problems, although it is still insufficiently developed to actually deal with the situation. It is known that this process is also responsible for the release of fine-grained plastic particles into the environment, causing risks of serious diseases to human health, such as cancer, immune and kidney problems. To resolve the situation, or at least mitigate the effects of polymers, new recycling technologies must be developed, as well as separation technologies and microplastic treatment methodologies before there are major contamination problems globally.

Keywords: plastic; environment; management; recycling; health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemática da formação e classificação dos polímeros.....	16
Figura 2 - Influência da funcionalidade e da estrutura das cadeias poliméricas nas propriedades de solubilidade e fusão.....	17
Figura 3 - Projeção da produção global de plástico até 2030.....	24
Figura 4 - Ranking dos países que mais produzem resíduos plásticos.....	25
Figura 5 - Setores consumidores de transformados plásticos em valor de consumo (2017).....	26
Figura 6 - Os tipos de plásticos mais consumidos no Brasil.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de características do polietileno de alta densidade e o polietileno de baixa densidade.....	22
Tabela 2 - Características do PET	23
Tabela 3 - Receita líquida de vendas em mil reais, 2014 - 2019	25
Tabela 4 - Quantidade produzida em toneladas, de 2017 a 2019.....	26
Tabela 5 - Resumo das características dos documentos utilizados	31

LISTA DE ABREVIACOES

SBR	Borracha de Estireno de Butadieno
PP	Polipropileno
PET	Tereftalato de polietileno
PE	Polietileno
PVC	Policloreto de vinila
ASTM	American Standard for Testing and Methods
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PHA	Polihidroxicanoatos
PHB	Polihidroxiacetato
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEAD	Polietileno de alta densidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
WWF	World Wildlife Fund
PS	Poliestireno
UV	Ultravioleta
MP	Microplástico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
CEMPRE	Compromisso Internacional de Reciclagem
NP	Nanoplásticos
MCA	Materiais em contato com alimentos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus celsius
atm	Atmosferas
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
nm	Nanômetro
mm	Milímetros
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.3	JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA	13
1.4	OBJETIVOS	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	POLÍMEROS PLÁSTICOS	15
2.2	CARACTERÍSTICAS DO PLÁSTICO	18
2.3	TIPOS DE POLÍMEROS	20
2.3.1	POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS	20
2.3.2	POLÍMEROS SINTÉTICOS	20
2.4	SEGMENTO DE MERCADO	23
2.5	DEGRADAÇÃO DO PLÁSTICO.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	MATERIAIS.....	31
3.2	MÉTODOS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

A síntese polimérica passou a ser amplamente empregada graças a evolução da tecnologia, processo que teve sua intensificação em meados do século XIX, embora os polímeros considerados naturais já fossem utilizados desde a antiguidade. Os processos de polimerização ganharam viabilidade no começo do século XX, onde foi permitida a síntese polimérica iniciada através de seus meros – pequenas unidades que se repetem e se ligam para originar a formação de uma molécula de polímero. Desde então, esses processos de síntese foram aperfeiçoados e surgiu assim a obtenção de materiais plásticos com alta sofisticação que as indústrias atualmente produzem em larga escala, como embalagens, borrachas, resinas, entre outros (GORNÍ, 2003).

Para suprir as demandas que surgem conforme a necessidade evolutiva, novos tipos de plásticos são sintetizados de forma cada vez mais eficiente e econômica no mercado, buscando modernização, segurança e qualidade para cada segmento ao qual são destinados (SILVA; SANTOS; SILVA, 2013).

A classificação como termoplásticos e/ou termorrígidos caracterizam suas ações sob temperatura, assim como a sua maleabilidade (CANGEMI *et al.*, 2005). Segundo Michaeli *et al* (1995), a definição do termo “plástico” refere-se a toda uma cadeia de polímeros semelhantes. Os plásticos são compostos por monômeros que se entrelaçam e ligam-se de forma que se tornam firmes, gerando macromoléculas, que, ao enovelarem-se encadearem-se, constituem tal material.

Contudo, com a evolução industrial e a inicialização do capitalismo na economia mundial, o mercado consumidor aumentou e a produção desses materiais assumiu grandes proporções, o que trouxe como consequência impactos ambientais negativos. Nesse cenário, o Brasil é atualmente o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo e de cada 11,3 milhões de toneladas menos de 2% são recicladas (SANTOS, 2021).

Em virtude deste trabalho, objetiva-se analisar os impactos causados pelo excesso da produção desse material, assim como seu descarte incorreto e o tempo de degradação para eliminação destes polímeros no ambiente, avaliando através de pesquisas científicas, os impactos dos plásticos em ambientes marítimos e terrestres, bem como o real cenário da reciclagem e os impactos de microplásticos na saúde humana.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A cada necessidade emergente surge um novo tipo de plástico mais eficiente, mais econômico e racional para suprir as últimas demandas. É por isso que pode-se chamar a era atual de "Era dos Plásticos", muito embora as características de estabilidade e baixa degradabilidade que tornam úteis tais materiais, também sejam causadoras de grandes problemas como a poluição visual e a potencial poluição química do meio ambiente (SILVA; SANTOS; SILVA, 2013).

Chamadas de polímeros, as macromoléculas formadoras dos mais diversos tipos de plástico são consideradas de alta resistência à degradação natural no meio ambiente. Estima-se que determinadas variações deste material levem ao menos 100 anos para sua total degradação, uma vez que suas propriedades de elevada massa molar e de média hidrofobicidade prejudicam o cultivo de microrganismos e a atuação das enzimas em sua superfície (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

O apelo dos materiais plásticos baseia-se em suas características inertes e resistentes a biodegradação, na contramão do que acontece com os polímeros orgânicos. Sabe-se que devido a sua resistência aos impactos dos microrganismos esses polímeros são resistentes a ponto de permanecerem por muito tempo na natureza e gerarem uma grande quantidade de lixo que não é totalmente administrada (ROSA *et al.*, 2022).

O Brasil é considerado o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo, com cerca de 11 milhões de toneladas de resíduos. Estes resíduos acabam chegando as praias e aos mares, contaminando o ambiente aquático com a presença de micro plásticos, que acabam sendo ingeridos pelos animais marinhos e posteriormente pelo ser humano. São responsáveis pelo aumento do aquecimento global e do maior nível de poluição quando destinados aos aterros sanitários ou a incineração (ZAMORA *et al.*, 2020).

1.3 JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA

Desde os anos 2000, o volume de produção do plástico ultrapassou a soma da produção mundial de todos os anos anteriores a este período. O crescimento das demandas de consumo dadas pela versatilidade e confiabilidade do plástico, influíram diretamente em sua utilização como descartável, realizada principalmente por países de renda média-alta. Mesmo sendo

considerado um problema recente, pelo menos 75% de todo o material plástico produzido já virou lixo (DALBERG ADVISORS, 2019).

Os produtos plásticos muitas vezes apresentam misturas de materiais em suas composições com a intenção de baratear custos, impedindo que os resíduos sejam destinados a uma reciclagem efetiva e economicamente viável, acabando por serem destinados aos aterros sanitários e a incineração. Quando indevidamente geridos, podem ocasionar problemas com relação a qualidade do ar, do solo e dos recursos hídricos, além de correlacionar-se com a ingestão humana de micro e nano plásticos. Nesse sentido, urge a tomada de atitude pautada em uma metodologia eficiente de tratamento de resíduos, uma vez que, se a produção continuar a aumentar nesse mesmo nível, haverá um crescimento no volume de plástico de 40% até 2030 (DALBERG ADVISORS, 2019).

1.4 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo identificar os principais problemas ambientais relacionados ao acúmulo de lixo plástico devido a sua dificuldade de biodegradação, as limitações da reciclagem, a poluição por partículas microplásticas e os impactos destes na saúde humana.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLÍMEROS PLÁSTICOS

O termo “plástico” não se refere a apenas um tipo de material, mas a toda uma gama de polímeros semelhantes. Plásticos são compostos por monômeros que se entrelaçam e ligam-se firmemente de maneira a formarem macromoléculas que, ao enovelarem-se encadearem-se, constituem tal material. Cada macromolécula é composta normalmente de mais de 10000 elementos individuais, representados por “n” (MICHAELI *et al.*, 1995). O número “n” de um polímero corresponde ao grau de polimerização daquele determinado material (GORNI, 2003).

As unidades que se repetem para formarem o plástico são conhecidas como meros ou unidades monoméricas, entrelaçadas por ligações sp^3 . É esse tipo de ligação que confere a estabilidade físico-química do polímero, promovendo também a elevada massa molecular. Polímeros com elevada massa molecular são comumente chamados como alto polímero, quando há a baixa massa molecular, estes são classificados como oligômeros (SILVA, SILVA; 2003).

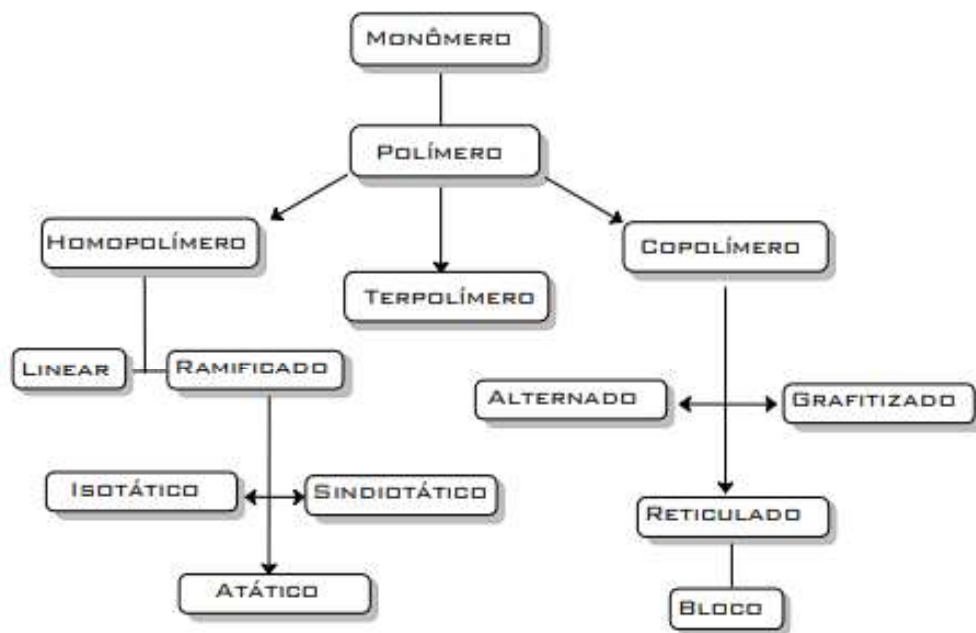
Para GORNI (2003): “A definição formal de um polímero corresponde a materiais, cujo elemento essencial é constituído por ligações moleculares orgânicas, que resultam de síntese artificial ou transformação de produtos naturais.”

Quando um determinado tipo de polímero é formado pela repetição de dois meros, - como acontece no caso da borracha sintética SBR formada por moléculas de estireno e butadieno - esta categoria recebe o nome de copolímeros (GORNI, 2003). Quando a quantidade de meros corresponde a três em um determinado material, este recebe a classificação de terpolímero, e quando a quantidade corresponde a um é chamado de homopolímero (SILVA, SILVA; 2003).

Para a formação de cada tipo de polímeros a matéria-prima convencional baseia-se em monômeros que, aliados a diversas metodologias de produção, determinam as diferentes características de um plástico. Atualmente os monômeros são extraídos de fontes não renováveis como petróleo e gás natural, principalmente por conta do viés econômico. Outras fontes como a madeira, carvão e até mesmo o dióxido de carbono também são possíveis, apesar da baixa rentabilidade (MICHAELI *et al.*, 1995).

Os monômeros são moléculas com uma unidade de repetição e dependendo das características que apresentam a respeito de sua estrutura química, número médio de meros por cadeia e tipo de ligação covalente, podem influir na formação de polímeros de três categorias (pautados em suas propriedades mecânicas): plásticos, borrachas e fibras (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002). A Figura 01 esquematiza as classificações gerais dos polímeros.

Figura 1 - Esquemática da formação e classificação dos polímeros



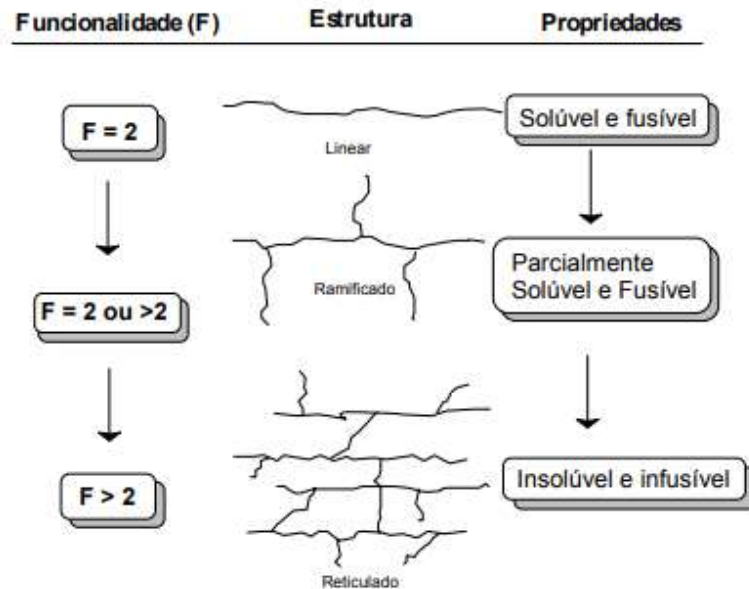
Fonte: SILVA, SILVA; 2003.

Quando trata-se de homopolímeros, subdivisões podem ser definidas a partir do tipo de cadeia que o material apresenta, sendo considerados como lineares ou ramificadas – onde, com relação a estaticidade, existem três principais divisões: polímeros isotáticos, (caracterizados pelas ramificações coincidirem em um mesmo lado do plano) polímero sindiotáticos, (alternância da orientação com relação ao plano da cadeia) e polímeros atáticos (sem qualquer regularidade na orientação) (SILVA, SILVA; 2003).

Grande parte dos plásticos apresentam variações em suas características conforme as moléculas demonstram diferenças de massa molar. As propriedades físicas ficam piores conforme o tamanho do polímero diminui. Ressalta-se que nem todo material com baixa massa molar é capaz de gerar polímero já que para que a ligação ocorra, o monômero deve ligar-se com pelo menos outros dois monômeros e ter no mínimo funcionalidade 2 (2 pontos reativos

por molécula) (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002). A linearidade das cadeias do plástico também determina as características do material, conforme demonstrado na figura 02.

Figura 2 - Influência da funcionalidade e da estrutura das cadeias poliméricas nas propriedades de solubilidade e fusão



Fonte: SILVA, SILVA; 2003.

Tais variáveis influem na caracterização dos plásticos como termoplásticos, termofixos ou elastômeros (SILVA, SILVA; 2003).

Caracterizados pela solubilidade e fusibilidade, os termoplásticos compreendem os materiais que podem ser fundidos diversas vezes e que são solúveis em uma ampla gama de solventes. Apresentam variação de estado físico de acordo com a temperatura ambiente e se dividem em termoplásticos amorfos (transparentes e com aspecto semelhante ao vidro) e termoplásticos semicristalinos, que são opacos. Representam a maior parcela dos plásticos produzidos (MICHAELI *et al.*, 1995).

Os plásticos considerados termofixos – ou termorrígidos/termoendurecidos – são considerados infusíveis e insolúveis. Somente sofrem transformação física durante sua formação, onde ocorre um processo de cura responsável por reações químicas irreversíveis aptas a tornar o material rígido ao produzir ligações cruzadas. Aquecimentos posteriores são incapazes de modificarem o estado físico do material (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002). Submeter este tipo de plástico ao aquecimento subsequente pode decompô-lo antes de sua

fusão. As ligações que unem as moléculas formam uma rede ou reticulado, conferindo a rigidez ao polímero (GORNI, 2003).

A categoria dos elastômeros compreende materiais que podem sofrer deformações retornando rapidamente ao tamanho original quando o esforço é removido (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002). Não são considerados como fusíveis, mas são insolúveis e podem ser amolecidos. São encontrados a temperatura ambiente em um estado considerado elástico graças a sua estrutura baseada no encadeamento espaçado (MICHAELI *et al.*, 1995). Podem ser considerados como intermediários à classificação de termoplásticos e termorrígidos pois não apresentam fusibilidade, embora sejam altamente elásticos, sem ser rígidos como os termofixos (GORNI, 2003).

Uma das formas de classificação de polímeros é pautada na sua origem, isso é, se é oriundo de fontes naturais ou sintéticas. Exemplos de polímeros naturais são a seda, a celulose e a fibra de algodão, enquanto exemplos de polímeros sintéticos são o polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), polietileno (PE) e policloreto de vinila (PVC) (SPINACÉ, PAOLI, 2004). Os polímeros sintéticos podem ser definidos como aqueles que são sintetizados pelo homem. Quando se fala em polímeros artificiais, pode-se considerar aqueles que foram modificados através de reações químicas intencionais, tendo como principais exemplos o acetato de celulose e o nitrato de celulose (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002).

Com relação ao comportamento mecânico, três categorias de polímeros podem ser consideradas: plásticos (material polimérico de elevada massa molecular, geralmente em condição sólida quando é produzido); borrachas (que é um tipo de elastômero, oriundo de fontes naturais ou sintéticas) e fibras (um tipo de termoplástico, geralmente seu comprimento é pelo menos cem vezes maior que seu diâmetro e tem suas cadeias poliméricas paralelamente posicionadas ao sentido longitudinal) (CARNEVAROLO JÚNIOR, 2002).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO PLÁSTICO

Uma das principais características tecnológicas do plástico envolve seu peso, uma vez que pode ser considerado um material leve. Essa propriedade permite que seja aplicado para funções que os demais materiais como os metais ou a cerâmica não seriam capazes de exercer uma boa performance. Pode-se citar também a alta flexibilidade e a resistência ao impacto como

características interessantes no que tange ao processamento e a tecnologia deste material (MICHAELI *et al.*, 1995).

As baixas temperaturas de conformação destes polímeros em relação a outros materiais se apresentam mais vantajosas, permitindo que haja uma economia do consumo de energia durante o procedimento e consequente diminuição dos preços. Além disso, as propriedades físicas do polímero permitem que a adição de componentes favoreça algumas características desejáveis, como acontece no caso da adição de corantes, cargas compostas por pó de material inorgânico (responsáveis por elevar o módulo de resistência e elasticidade) ou pela adição de uma carga de reforço (normalmente realizada através da adição de fibras) (GORNI, 2003).

A má condutibilidade elétrica e térmica destes materiais também representa características marcantes: frequentemente esses polímeros são utilizados para recobrir fios de alta tensão uma vez que, não só isolam eletricamente, como também os protegem das mudanças de temperatura. Além disso, o plástico também é caracterizado pela resistência a corrosão por não serem suscetíveis aos ácidos, bases ou soluções de água salgada, muito embora em muitos casos sejam solúveis em solventes orgânicos como gasolina ou álcool (MICHAELI *et al.*, 1995).

Outra característica interessante desses polímeros baseia-se em sua alta permeabilidade a gases, que ocorre por conta de o espaçamento entre as macromoléculas permitir a formação de poros. Isso confere ao material uma baixa densidade e alta porosidade que pode, muitas vezes, ser desejável – como no caso de membranas poliméricas responsáveis pela remoção do sal da água do mar (GORNI, 2003).

A reciclagem do plástico é limitada, uma vez que a categoria dos termorrígidos e elastômeros não são suscetíveis ao processo. No que tange aos termoplásticos, muitas vezes o processo acaba não sendo viável do ponto de vista econômico devido a sua baixa densidade (GORNI, 2003).

2.3 TIPOS DE POLÍMEROS

2.3.1 Polímeros biodegradáveis

Esse tipo de polímero resulta primeiramente da ação de microrganismos, como fungos, bactérias e algas naturais, que geram dióxido de carbono, metano, componentes celulares e outros produtos, segundo foi estabelecido pela “American Standard for Testing and Methods” (ASTM). São materiais que se degradam em dióxido de carbono, água e biomassa, como resultado da ação de organismo vivos ou enzimas (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

De acordo com Franchetti e Marconato (2006) plásticos biodegradáveis, são também denominados plásticos biológicos ou bioplásticos, e possuem participação mínima no mercado internacional. Apesar da vantagem de sua aplicação quanto à preservação do meio ambiente, os plásticos biológicos são mais caros, e têm aplicações mais limitadas que os sintéticos, por serem menos flexíveis.

Na década de 90, o Brasil iniciou o desenvolvimento de uma tecnologia para produção de plásticos biodegradáveis utilizando como matéria-prima derivados da cana-de-açúcar, a partir de um projeto cooperativo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Copersucar e Universidade de São Paulo. Com essa parceria iniciou-se um estudo, com os polímeros da família dos polihidroxialcanoatos (PHAs), que podem ser produzidos por bactérias em biorreatores a partir de açúcares. Estes polímeros possuem propriedades semelhantes às dos plásticos petroquímicos, com a vantagem de serem biodegradados por microrganismos que estão presentes no meio ambiente, em um curto espaço de tempo, após o descarte. O principal representante dos PHAs é o polihidroxibutirato (PHB), semelhante ao polímero sintético, polipropileno (PP), em propriedades físicas e mecânicas (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

2.3.2 Polímeros sintéticos

Entre os polímeros sintéticos tem-se o PE, que é um material usado pela indústria para a produção de embalagens plásticas. É constituído por milhares de unidades da molécula de etileno (ou eteno) que se repetem (SILVA; SILVA, 2003).

Tal polímero possui cristalinidade parcial e é flexível. Suas propriedades se influenciam por uma quantidade relativa em suas fases amorfas e cristalinas, além de não reagirem com a maioria dos produtos químicos, portanto, são considerados inertes e em temperaturas abaixo de 60°C podem tornar-se parcialmente solúveis, mediante a solventes (SILVA; SILVA, 2003).

A produção do polietileno de baixa densidade (PEBD) faz uso de pressões que variam de 1000 e 3000 atm e de 100 a 300°C, em casos de temperaturas que ultrapassam 300°C o polímero inicia o processo de degradação. Esta reação é demasiadamente exotérmica e devido a este fato pode dificultar a remoção do calor em excesso que se encontra no meio reacional. Com isso, em pressões elevadas conduz grandes quantidades de ramificações de cadeia, que se relacionam com as propriedades dos polímeros (COUTINHO *et al.*, 2003).

De acordo com Coutinho *et al.* (2003), não havia outro meio comercial que possibilitasse a sintetização do PE altamente ramificado, mas, atualmente surgiram evidências de que em ramificações longas, pode-se utilizar catalisadores metalocênicos para produzi-los. Este polímero parcialmente cristalino (50-60%), possui temperatura de fusão de 110 a 115°C.

As condições de reação do processo geram ramificações no polímero, que podem alterar sua simetria, modificando a cadeia principal. As ramificações podem se agrupar de forma ordenada e compacta onde as fracas, mas numerosas forças intermoleculares podem atuar de forma mais efetiva. As ramificações nas cadeias podem reduzir em certo grau as forças do polímero que conduzem a estrutura menos compacta, com isso diminui-se sua densidade e resistência mecânica do polietileno (BARBOSA *et al.*, 2017).

As ramificações são longas, assim como a cadeia principal do polímero. Em geral, possuem dezenas ou centenas de átomos de carbono, pode ter efeito acentuado sobre a resistência ao fluxo do polímero em solução. De acordo com Coutinho *et al.* (2003) a comparação pode ser realizada entre a viscosidade de um polietileno ramificado e a de um polímero linear de mesmo peso molecular. O PEBD possui combinações únicas como a tenacidade, grande resistência ao impacto, boa flexibilidade, boa processabilidade, grande estabilidade e propriedades elétricas notáveis.

Este polímero é resistente à água e algumas soluções aquosas, em temperaturas elevadas. No entanto, pode sofrer com a ação de agentes oxidantes, que agriem lentamente este material. O PEBD em solventes polares (como por exemplo, álcoois e cetonas), é pouco solúvel (COUTINHO *et al.*, 2003).

Os processos utilizados para a produção desse material podem ser por meio de extrusão, e moldagem por sopro ou injeção. Suas aplicações industriais em maioria são em filmes para a produção de embalagens, que geralmente destinam-se a alimentos sejam estes líquidos ou sólidos. Estes plásticos também são utilizados pela indústria farmacêutica, hospitalar, revestimentos de fios e cabos, brinquedos e usos domésticos (COUTINHO *et al.*, 2003).

Já o polietileno de alta densidade (PEAD), é normalmente utilizado nas indústrias para a confeccionar engradados para bebidas, garrafas de álcool e de produtos químicos, baldes, tambores, tubulações para líquidos e gás, tanques de combustível, embalagens de leites, de sucos, de óleos lubrificantes e de agrotóxicos. Este polímero é a segunda resina mais reciclada no mundo, sendo cerca de aproximadamente 30% do consumo mundial de PEAD são destinados a moldagens por sopro, sendo a maioria frascos para higiene e embalagens de produtos alimentícios (CANDIAN, 2007).

A fusão do polietileno ocorre em temperaturas mais elevadas e possui maior cristalinidade. Assim como, o enfileiramento e o empacotamento dessas cadeias são mais eficientes e as forças intermoleculares (Van der Waals) tendem a agir com mais intensidade, e como consequência a sua cristalinidade será maior que o no caso do polietileno de baixa densidade (COUTINHO *et al.*, 2003).

Segundo Coutinho *et al* (2003), se compararmos os dois polímeros, pode-se avaliar que ambos possuem aplicações em comum. Sendo, o polietileno de alta densidade, mais duro e com maior resistência, já o polietileno de baixa densidade possui mais flexibilidade e transparência. A tabela 1 apresenta uma comparação entre as características do PEAD e o PEBD.

Tabela 1 - Comparação de características do polietileno de alta densidade e o polietileno de baixa densidade

Diferenças entre o PEAD e PEBD				
Tipo de polimerização	Radicais livres		Coordenação	
Pressão de polimerização, atm	Alta	1,000-3,000	Baixa	1 a 30
Temperatura reacional °C	Alta	100 - 300	Baixa	50-100
Tipo de cadeia	Ramificada		Linear	
Densidade, g/cm ³	Baixa	0,91-0,94	Alta	0,94-0,97
Cristalinidade	Baixa	50-70	Alta	até 95

Fonte: COUTINHO *et al*, 2003.

O PET, por sua vez, é um poliéster reciclado a partir de garrafas para a fabricação de cordas e tem como importante aspecto o desenvolvimento de novas aplicações nas indústrias, sendo como alternativa para a substituição de fibras de polietileno, polipropileno e de amianto.

Este material é utilizado em indústrias de tecidos, cordas, embalagens, caixas para ovos e calotas para veículos automotivos, além da indústria de alimentos (PELISSER, 2002).

A produção de PET iniciou-se no Brasil a partir de 1993, e sua produção tem se tornado crescente a cada ano, e conseqüentemente o aumento da prática de reciclagem deste material que dentre todos os tipos de plásticos, nos anos de 1999 a 2000 chegou a 34% (PELISSER, 2002).

O PET apresenta as melhores características para a fabricação de garrafas, por possuir maior resistência mecânica e química. Também, contribui como barreira de odores e tem amplo uso em embalagens de armazenamento de produtos de higiene. Portanto, esse tipo de plástico é encontrado facilmente no cotidiano por ser o poliéster mais utilizado na produção de garrafas para embalar grande parte das bebidas que consumimos diariamente. A tabela 2 apresenta as principais características do PET (FERREIRA, 2017).

Tabela 2 - Características do PET

Propriedade	Valor
Densidade	1,38 a 1,41 g/cm ³
Ponto de fusão	245-265°C
Temperatura de transição	69°C
Resistência a tração	80 Mpa
Modulo de Elasticidade	2 Gpa

Fonte: Ferreira (2017), adaptado.

A organização molecular, ou seja, como as moléculas estão arrançadas tem efeito de grande importância nos polímeros, pois está relacionada diretamente a sua cristalinidade. De acordo com Ferreira (2017), os plásticos apresentam dois tipos de arranjos, o amorfo, em que as cadeias moleculares estão todas desordenadas e o tipo cristalino, que apresentam uma estrutura altamente ordenada.

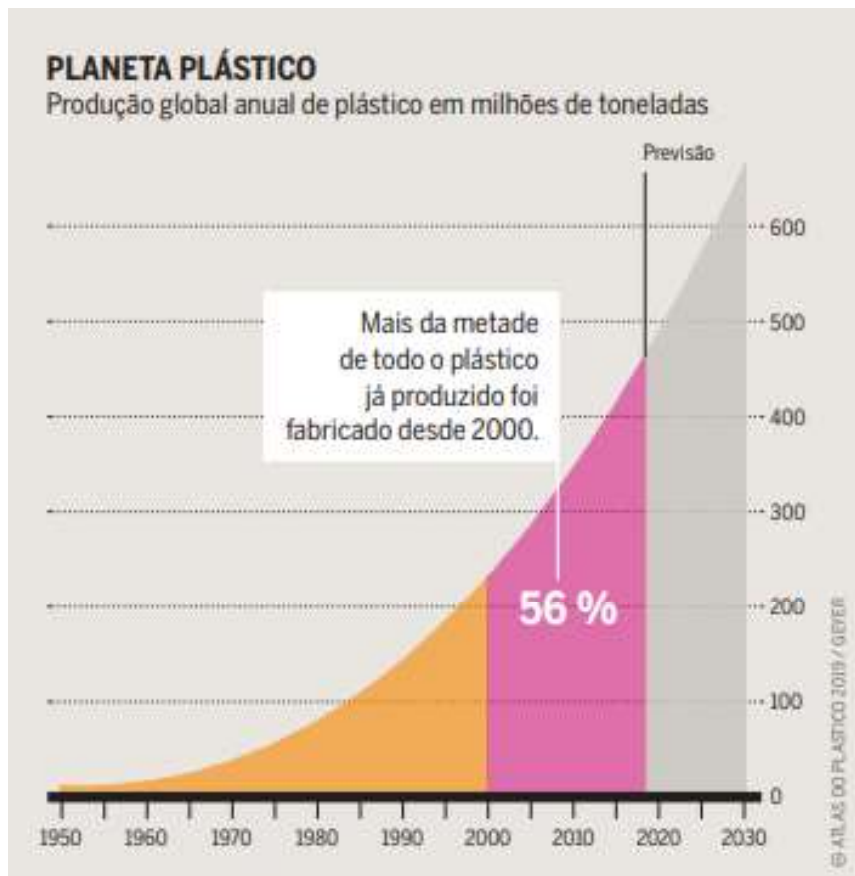
2.4 SEGMENTO DE MERCADO

A cada ação tomada no cotidiano o plástico marca presença. Desde a garrafa PET ao PVC, ou de um simples vestido até uma embalagem, observa-se tal polímero em sua composição. A maior parte do material produzido e consumido atualmente é caracterizado

como descartável, – muitas vezes de uso único - o que acaba por gerar resíduos após pouco tempo de utilização (SILVEIRA, 2022).

Desde os anos 2000, o volume de produção do plástico ultrapassou a soma da produção mundial de todos os anos anteriores a este período (Figura 3). O crescimento das demandas de consumo, dadas pela versatilidade e confiabilidade do plástico, influíram diretamente em sua utilização como descartável, realizada principalmente por países de renda média-alta. Mesmo sendo considerado um problema recente, pelo menos 75% de todo o material plástico produzido já virou lixo (DALBERG ADVISORS, 2019). A Figura 3 destaca a projeção de um crescimento de 40% na produção deste tipo de material caso as demandas atuais sejam mantidas.

Figura 3 - Projeção da produção global de plástico até 2030



Fonte: ZAMORA *et al.*, 2020.

A ausência de esforços relacionados à diminuição do consumo de plásticos associado às crescentes demandas de consumo será responsável pela triplicação do volume de resíduo destinado ao mar anualmente. Ou seja, em 2040, estima-se que ano a ano, de 23 a 37 milhões de toneladas do material chegarão aos oceanos (UNEP, 2021).

No ranking de produção mundial de material plástico, o Brasil ocupa o quarto lugar com 11,3 milhões de toneladas por ano (Figura 4) (ZAMORA *et al.*, 2020).

Figura 4 - Ranking dos países que mais produzem resíduos plásticos



Fonte: ZAMORA *et al.*, 2020.

De acordo com a figura 4, o ranking de países produtores de plástico é liderado pelos Estados Unidos (70,7 milhões de toneladas por ano), seguido por China (54,7 milhões de toneladas por ano), Índia, (19,3 milhões de toneladas por ano), Brasil (11,3 milhões de toneladas por ano), Indonésia (9,8 milhões de toneladas por ano), Rússia (8,9 milhões de toneladas por ano), Alemanha (8,2 milhões de toneladas por ano), Reino Unido (7,9 milhões de toneladas por ano), Japão (7,1 milhões de toneladas por ano) e Canadá (6,6 milhões de toneladas por ano).

No Brasil, estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) demonstram os valores em Reais da produção deste tipo de material, conforme a tabela 03.

Tabela 3 - Receita líquida de vendas em mil reais, 2014 - 2019

	Fabricação de embalagens de material plástico	Fabricação de artigos de plástico não especificados	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico
2014	20.463.627	6.012.867	19.513.262	15.124.946
2015	21.838.011	5.351.131	18.581.871	15.603.068
2016	22.451.922	5.260.474	16.989.512	16.731.655
2017	23.544.975	4.903.055	17.017.025	16.760.855
2018	24.939.250	5.191.298	17.916.709	19.465.848
2019	26.439.318	6.010.372	18.758.584	19.992.984

Fonte: IBGE, 2021.

De maneira geral, a tabela 3 demonstra o crescimento nas receitas dos setores relacionados à produção de plástico, o que indica o crescimento das demandas de consumo desse tipo de material. Observa-se que os valores encontrados para o setor de fabricação de embalagens são maiores que os demais setores quando comparados ano a ano, o que pode indicar um segmento de mercado em evidência e com volume de procura maior. A tabela 4 demonstra a quantidade produzida de algumas categorias deste material.

Tabela 4 - Quantidade produzida em toneladas, de 2017 a 2019

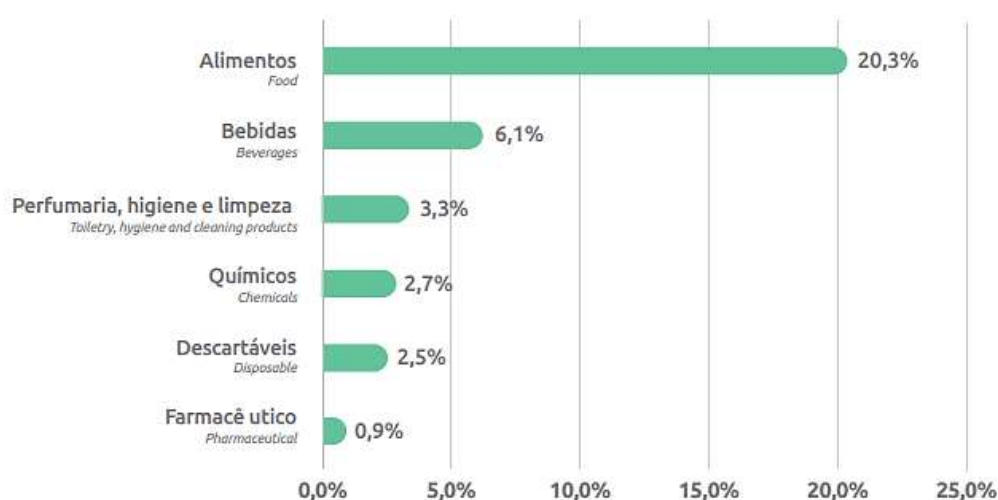
Quantidade produzida em toneladas, 2017-2019.	2017	2018	2019
Artigos de plástico não especificados	853725	769913	992511
Artigos descartáveis de plástico (copos, pratos, talheres e semelhantes)	236196	247998	261015
Sacos de plástico para lixo	101608	69672	121021

Fonte: IBGE, 2021.

As categorias selecionadas na tabela 4 demonstram que descartáveis e demais materiais de uso único correspondem a aproximadamente 40% de todos os polímeros produzidos. Observa-se, portanto, o apontamento da World Wildlife Fund (WWF): quase metade de todo o plástico é utilizado para a produção de materiais com vida útil menor que três anos (DALBERG ADVISORS, 2019).

A figura 5 considera os ciclos de vida desse material como sendo de um ano ou menos, discriminando os setores responsáveis pelo consumo deste item.

Figura 5 - Setores consumidores de transformados plásticos em valor de consumo (2017)

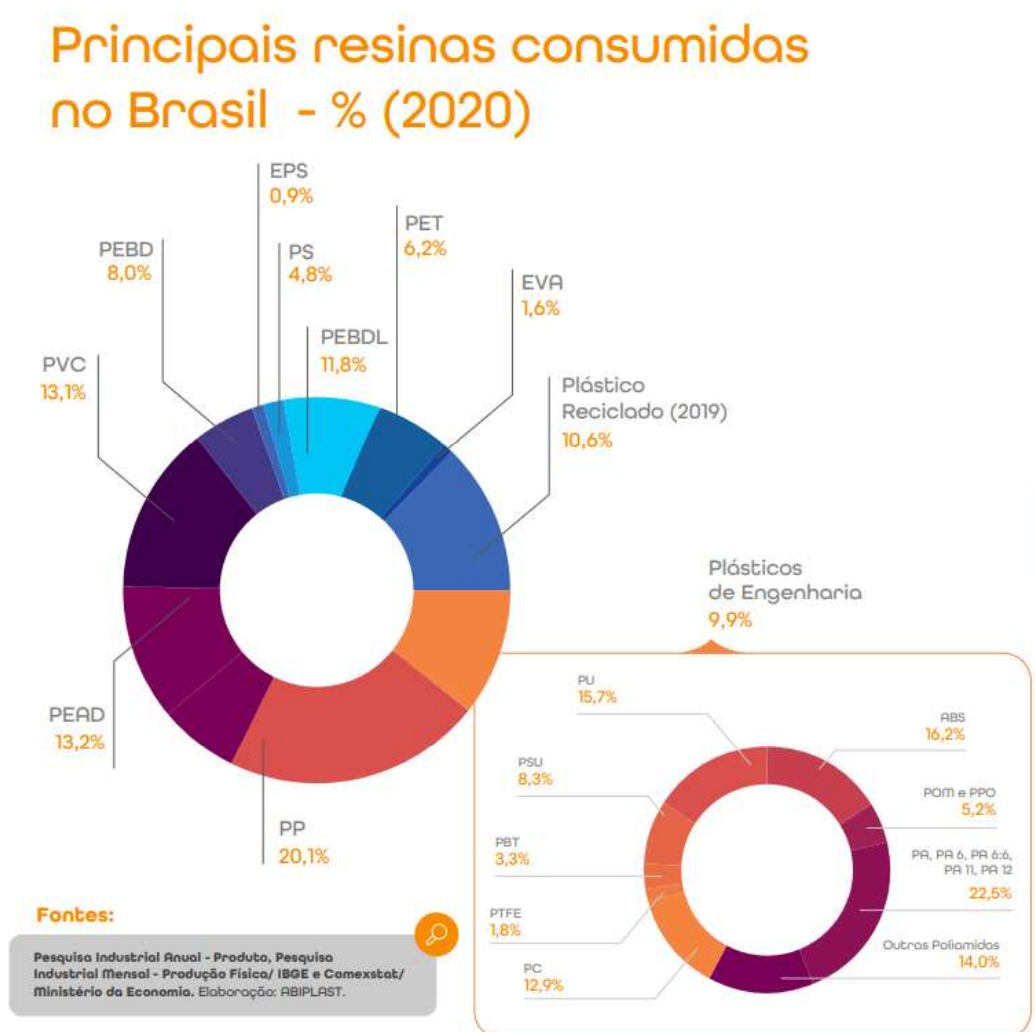


Fonte: ABIPLAST, 2020.

O destaque da produção de plásticos de ciclo de vida curto é dado aos setores de alimentos e bebidas. A indústria de alimentos está fortemente relacionada ao descarte de embalagens, uma vez que estas são amplamente utilizadas para proteger os alimentos de danos, mantê-los frescos e garantir a conservação durante o transporte. Pesquisas apontam a preferência da população por alimentos práticos de serem preparados, o que impacta na oferta de itens pré-cortados e pré-cozidos que são entregues em embalagens de plástico (ZAMORA *et al.*, 2020).

Os tipos de plásticos mais produzidos e consumidos endossam os fatores supracitados: a indústria de alimentos e de bebidas está intimamente ligada a utilização de material de vida útil inferior ou igual a um ano, como demonstra a figura 6.

Figura 6 - Os tipos de plásticos mais consumidos no Brasil



Fonte: ABIPLAST, 2020.

Dos 11 plásticos demonstrados na figura 6 pelo menos cinco estão relacionados com a indústria de alimentos e bebidas. O polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) são comumente utilizados em embalagens de alimentos, polietileno de alta densidade (PEAD) em garrafas de plástico, polietileno de baixa densidade (PEBD) em sacos de plástico e revestimentos de caixas de leite e o tereftalato de polietileno (PET) em embalagens de alimentos e garrafas de bebidas.

2.5 DEGRADAÇÃO DO PLÁSTICO

O conceito de degradação polimérica se resume às mudanças químicas que alteram as propriedades de um material de maneira indesejável. No caso da maioria dos polímeros vinílicos ou das poliamidas, a degradação se baseia na diminuição da massa molar do componente. Por outro lado, em polímeros com anéis aromáticos na cadeia principal a degradação é representada pelas mudanças na estrutura química das moléculas, fenômeno que pode ser acompanhado pela reticulação (HORIE *et al.*, 2004).

A degradação de um material polimérico dificilmente acontece de maneira isolada, isto é, na maioria dos casos é necessário que haja a soma de diversos fatores favoráveis para que esta aconteça. Assim, observam-se diversas categorias de processo degradativo: a fotodegradação, degradação termo oxidativa, degradação termomecânica, degradação térmica, degradação biológica, degradação enzimática, dentre outros (MENA *et al.*, 2020).

A fotodegradação ou degradação foto oxidativa depende diretamente da presença de luz e oxigênio, além da aplicabilidade desses fatores sobre toda a extensão das peças ser prejudicado pela profundidade do bulk, uma vez que este é um fenômeno de superfície. As carbonilas e as insaturações entre carbonos compõem alguns dos grupos responsáveis pela absorção da radiação e início das reações de degradação do material. Com relação ao oxigênio, tal elemento está relacionado a presença de domínios amorfos: quanto maior a presença destes domínios, maior a absorção do elemento (MENA *et al.*, 2020).

A quebra das cadeias moleculares que compõem o polímero ocasionadas pela degradação deste material resultam em alterações de cunho químico e físico que influem diretamente em suas características, como a perda de brilho, redução da resistência mecânica e descoloração. Esse processo depende da presença de oxigênio e luz, entretanto pode variar de acordo com a natureza química do polímero (ROSSINI; CATTO; SANTANA, 2013).

As trincas superficiais e as cisões de emaranhados moleculares e de cadeias são agentes que influenciam diretamente do decréscimo da performance de determinados tipos de plásticos, que uma vez expostos a radiação UV são submetidos a diversas reações oxidativas que prejudicam o desempenho desse material (RABELLO; WHITE, 1997).

Além das degradações que independem de microrganismos, existe também um direcionamento acerca da deterioração biológica. De modo geral, a biodegradação ou biodeterioração do plástico é propiciada pela ação de microrganismos que agem na superfície do material formando um biofilme responsável por gerar mudanças estruturais e /ou morfológicas no polímero. A biodeterioração do resíduo plástico está associada às condições de hidrólise e de oxidação que este apresenta (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

A biodegradação do plástico no ambiente natural é influenciada pela associação de fatores bióticos e abióticos - tais quais as chuvas, exposição ao sol, ventos e outros. Tais aspectos são favoráveis à quebra do material, o que aumenta a superfície de contato e possibilita melhor interação entre as enzimas secretadas pelos microrganismos e o material, propiciando a despolimerização do composto e a liberação de dióxido de carbono, água, íons, sais e outros, além da absorção do polímero pelo microrganismo assim que este é reduzido a pelo menos 50 átomos (SILVA, 2021).

Quando os resíduos plásticos são destinados ao descarte correto como acontece no caso de aterros sanitários, se demonstram suscetíveis à ação de microrganismos que liberam estruturas proteicas capazes de metabolizar e fragmentar o material polimérico sujeitando-o a ação do chorume. No caso do poluente enterrado, o biofilme formado pelos microrganismos altera suas características, promovendo o intumescimento do material através da entrada de água, enfraquecimento mecânico e outros (GRISA *et al.*, 2011).

A catálise enzimática tem demonstrado potencial no que tange à degradação e catalisação de polímeros. As enzimas geralmente relacionadas a estes processos classificam-se como hidrolases (como no caso de lipases, proteases e esterases) e oxidorreduções (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014).

Determinados tipos de microrganismos são capazes de realizar o processo de degradação de acordo com o peso molecular, estrutura química e grau de cristalinidade do polímero. De modo geral, o organismo secreta sua enzima no meio em que está instalado, a superfície absorve o composto e sofre modificação de modo a se tornar um polímero biodegradável que posteriormente é utilizado como fonte de carbono para o próprio organismo

produtor. Por fim, existe a liberação de gás carbônico, água e demais metabólicos para o meio, que podem ser assimilados por demais seres microscópicos (SILVA, 2021).

Apesar dos esforços crescentes da área biotecnológica, ainda não existe um uma enzima capaz de penetrar uma espessa camada da maioria dos plásticos, incluindo o PET cristalino, de forma eficiente e rentável. Alguns estudos apontam a utilização de fungos filamentosos como o *Fusarium oxysporum* e *Fusarium solani*, - que não têm se mostrado com uma alta produtividade - e a bactéria *Ideonella sakaiensis*, isolada de uma comunidade exposta ao PET no meio ambiente e posteriormente caracterizada como nutricionalmente dependente deste polímero (BISSOLI, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo, foi empregada a metodologia de revisão bibliográfica, através de pesquisas de artigos e estudos realizados por departamentos de pesquisa, além da coleta e descrição de dados encontrados em artigos de maneira comparativa.

3.1 MATERIAIS

O estudo foi realizado através da utilização da plataforma Google Acadêmico, que consiste em um acervo online capaz de buscar artigos científicos, teses de mestrado, doutorado, livros; e as plataformas SciELO e Science Direct que funcionam de forma semelhante. Os 48 documentos selecionados podem ser caracterizados como artigos científicos ou teses de mestrado e doutorado. A relação dos artigos visitados e as plataformas utilizadas para consulta encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 - Resumo das características dos documentos utilizados

Autor	Artigo	Tipo de documento	Plataforma
ANDRADE, 2008	Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica	Artigo científico	Google Acadêmico
ARAÚJO, CAVALCANTI, 2016	Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos	Artigo Científico	Google Acadêmico
ARIMATÉIA, JÚNIOR, 2017	Pirólise de misturas plásticas	Tese de Doutorado	Google Acadêmico
BAIA <i>et al</i> , 2020	Plásticos e seus impactos ambientais	Artigo Científico	Google Acadêmico
BELO <i>et al</i> , 2021	Microplásticos, seus impactos no ambiente e maneiras biodegradáveis de substituição	Artigo Científico	Google Acadêmico
BEVILACQUA; TIBÉRIO; GONZALEZ, 2011	Análises da influência do lixo marinho em uma comunidade tradicional caiçara, Ilha do Cardoso - SP	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico
BISPO <i>et al</i> , 2020	A reciclagem do plástico e sua importância para o meio ambiente	Artigo Científico	Google Acadêmico
BOM <i>et al</i> , 2020	Percepção de usuários de praias em relação ao lixo marinho como uma ferramenta para ações efetivas contra essa problemática	Artigo Científico	Google Acadêmico
BOUCHER, FRIOT, 2017	Primary Microplastics in the Oceans: a global evaluation of sources	Artigo Científico	Google Acadêmico
CAIXETA <i>et al</i> , 2018	Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos	Artigo Científico	Google Acadêmico
CESA, 2017	Microplásticos têxteis: emissão de fibras sintéticas na lavagem doméstica	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
CONCEIÇÃO <i>et al</i> , 2019	O plástico como vilão do meio ambiente	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico

COSTA, 2006	Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos	Tese de Doutorado	Google Acadêmico
COSTA, 2011	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
CUCCATO, 2014	A importância da reciclagem dos plásticos e a conscientização dos alunos do ensino médio	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
DICKEL <i>et al</i> , 2018	Uso da logística reversa para descarte de lâmpadas fluorescentes à luz da PNRS: o caso do instituto federal de educação do Rio Grande do Sul	Artigo científico	Google Acadêmico
DOMINGUES, GUARNIERI, STREIT, 2016	Princípios e instrumentos da política nacional de resíduos sólidos: educação ambiental para a implementação da logística reversa	Artigo Científico	Google Acadêmico
FALASCO, 2019	Avaliação da presença de partículas insolúveis e microplásticos em sais de origem marinha do Brasil	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
FIGUEIREDO <i>et al</i> , 2015	Tertiary Recycling of Poly (ethylene terephthalate) Aimed at Obtaining Chemicals and Fuels: a review	Artigo Científico	Google Acadêmico
GUO <i>et al</i> , 2022	Ignored microplastic sources from plastic bottle recycling	Artigo Científico	Science Direct
JOPPERT JUNIOR, 2008	A reciclagem das embalagens plásticas de óleo lubrificante e a gestão ambiental: um modelo a ser construído	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
LEITÃO, 2021	Mitigando os efeitos da poluição marinha por plásticos: uma governança global para superar o problema?	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
LIMA <i>et al</i> , 2019	Variação sazonal das partículas de microplásticos no sedimento de quatro praias urbanas no estado da Paraíba, Brasil	Artigo Científico	Google Acadêmico
MARTINS, 2020	Poluição por plástico: a crise ambiental e as políticas Europeias e nacionais	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
MASUD <i>et al</i> , 2022	A review on enhanced microplastics derived from biomedical waste during the COVID-19 pandemic with its toxicity, health risks, and biomarkers	Artigo Científico	Science Direct
MIZOGUCHI, 2019	Os desafios do plástico e cenários para o futuro	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico
PARENTE, 2006	Elementos estruturais do plástico reciclado	Dissertação de mestrado	Google Acadêmico
PEREIRA, 2014	Microplásticos no ambiente marinho: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
RAHMAN <i>et al</i> , 2021	Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: a scoping review	Artigo Científico	Science Direct
ROCHA, MENDES, 2019	Materiais em contacto com os alimentos – plástico na alimentação: uma ameaça?	Artigo Científico	Google Acadêmico
SANTOS <i>et al</i> , 2021	Estudo cinético da degradação térmica e catalítica de polipropileno sob catalisadores mesoporosos tipo AIMCM-48	Artigo Científico	Google Acadêmico
SANTOS, 2021	Lixo nos mares: percepção e engajamento de alunos de escola da rede de ensino público de Florianópolis (SC)	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico
SANTOS, AGNELLI, MANRICH, 2004	Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas	Artigo Científico	SciElo

SILVESTREIM, 2022	Diagnóstico econômico das entidades de catadores de Manaus (AM) que reciclam resíduos plásticos	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
SOUZA, 2019	Análise da rentabilidade da reciclagem do plástico: um estudo de caso para associações de catadores de Florianópolis.	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico
SUL, 2014	Contaminação ambiental por microplásticos em Fernando de Noronha, Abrolhos e Trindade	Tese de Doutorado	Google Acadêmico
TEIXEIRA, TEIXEIRA, 2019	Aspectos negativos dos microplásticos na saúde humana	Artigo Científico	Google Acadêmico
VALLE, GUIMARÃES, SAMPAIO, 2004	Degradação de Poliolefinas Utilizando Catalisadores Zeolíticos	Artigo Científico	SciElo
VAZ, 2020	Avaliação da Interação Toxicológica de Misturas: Nanoplástico de Poliestireno e Hormônio 17 α -Ethinilestradiol	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
VIEIRA <i>et al</i> , 2014	Biomassa: uma visão dos processos de pirólise	Artigo Científico	Google Acadêmico
VIEIRA, 2019	REBAG: reaproveitamento de material têxtil na confecção de acessórios de vestuário	Trabalho de Conclusão de Curso	Google Acadêmico
XAVIER NETO, MACHADO, MACHADO, 2018	Alternativas sustentáveis com os resíduos	Dissertação de mestrado	Google Acadêmico
YANG <i>et al</i> , 2022	Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body	Artigo Científico	Science Direct
YUAN <i>et al</i> , 2022	Occurrence and human exposure risks of atmospheric microplastics: a review	Artigo Científico	Science Direct
YUGUE, 2020	Desafios e potenciais soluções para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil	Dissertação de Mestrado	Google Acadêmico
ZHAN <i>et al</i> , 2022	Characteristics of microplastics and the role for complex pollution in e-waste recycling base of Shanghai, China	Artigo Científico	Science Direct
ZHU <i>et al</i> , 2022	Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy	Artigo Científico	Science Direct

Fonte: Autoria própria

3.2 MÉTODOS

A metodologia foi empregada em duas fases que aconteceram entre 02 de março de 2022 até 27 de outubro de 2022: a primeira está relacionada a pesquisa e segregação dos artigos de acordo com o tema do trabalho e o tipo de arquivo – todos os documentos selecionados correspondem a artigos científicos e ou teses de mestrado e doutorado; enquanto a segunda consiste na coleta e descrição de forma comparativa dos dados encontrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a revolução industrial, a economia assumiu um caráter capitalista e com o aumento do mercado consumidor surgiram diversos impactos negativos na natureza. O aumento da industrialização e o consumo intensificaram o uso de recursos naturais, resultando em um aumento contínuo e significativo na produção de resíduos, sendo o plástico o principal material a ser descartado (SANTOS, 2021).

Graças a suas características versáteis que determinam aplicação em diversos setores, o consumo e produção deste material aumentou de forma exponencial desde os anos 1950. Tais aspectos, associados a utilização principalmente através de itens com curta vida útil e geralmente de uso único, ocasionam a destinação de um grande volume de resíduos aos oceanos, uma vez que o sistema responsável pelo manejo é considerado insatisfatório e as taxas de reciclagem ainda são baixas em frente as demandas de produção e consumo (MIZOGUCHI, 2019).

O lixo marinho pode ser definido como qualquer tipo de material processado ou manufaturado que foi abandonado, seja na costa ou no próprio mar, sendo considerado como sólido persistente (BOM *et al*, 2020). Várias são as consequências ao ambiente aquático e embora pouco se tenha estudado acerca do tema, especialistas demonstram que em poucas décadas haverá mais plásticos que peixes nos oceanos (CONCEIÇÃO *et al*, 2019).

Os resíduos poliméricos podem se tornar transfronteiriços e causarem desastres ambientais que não se restringem apenas as barreiras nacionais. A poluição por plástico tornou-se um marco desafiador, pois as milhões de toneladas que são encontradas no oceano, sejam macro, micro ou nano partículas são levadas pelas correntes do mar o que faz esses lixos marítimos se espalharem por todos os continentes (LEITÃO, 2021).

Quando em contato com a fauna marinha o lixo plástico é ingerido pelos animais, levando a um quadro de obstrução do trato digestivo que dificulta a posterior alimentação e digestão, ocasionando a desnutrição e até a morte. Além da ingestão, o emaranhamento pelos resíduos frequentemente leva a asfixia e ao estrangulamento, além de afetar a mobilidade do ser vivo que se torna suscetível ao ataque de predadores (ARAÚJO; CAVALCANTI, 2016).

Do total de resíduos plásticos que são encontrados nos oceanos, pelo menos 80% tem origem em terra, enquanto 20% são provenientes do próprio mar – isto é, resíduos que são

gerados através das atividades de pesca e mediante embarcações que depositam seus resíduos nas águas. Tais detritos podem chegar aos oceanos através do arraste pelo vento, lavagem ou lançamento, sendo oriundos principalmente de aterros sanitários de estrutura deficiente, que não impedem que os resíduos escapem; das galerias de águas pluviais, que são responsáveis por receberem uma grande quantidade de resíduo plástico durante o período de chuvas e encaminhá-lo para os oceanos através dos rios; e a lavagem de roupas de tecidos sintéticos, que liberam uma enorme quantidade de microplástico (MP) para as redes de esgoto (MARTINS, 2020).

Dados revelam que cerca de 4,5 milhões de toneladas métricas do resíduo são destinadas aos aterros sanitários. Já que o tempo de degradação destes polímeros gira em torno dos 400 anos, há o potencial risco de desencadeamento de problemas relacionados com a fertilidade dos solos nessas regiões. No período compreendido entre os anos de 1950 e 2018, pelo menos 6,3 toneladas métricas foram classificadas como resíduos, caracterizando este como um dos principais problemas ambientais do século (SANTOS *et al*, 2021).

Sabe-se que os plásticos no geral são originados a partir do petróleo, que não é uma fonte renovável. Além disso, considerando seu tempo estimado de degradação sabe-se que os primeiros plásticos produzidos ainda podem ser encontrados na natureza (BAIA *et al*, 2020).

É de conhecimento que o primeiro plástico foi sintetizado em 1862 por Alexander Parkes, a partir de um material chamado Parkesine. Este novo material foi apresentado na Grande Exibição Nacional de Londres como substituto de materiais naturais como o marfim e o casco de tartaruga (PARENTE, 2006).

O grande volume deste material nos aterros sanitários complica a degradação dos materiais biodegradáveis e impede a troca de líquidos e gases entre os que já estão depositados no local (CUCCATO, 2014).

Graças a persistência no ambiente, derivada de sua resistência a degradação e às características associadas à sua leveza e densidade, os plásticos boiam nos oceanos facilitando sua dispersão. Quando tem seu tamanho reduzido através da fragmentação, são mais facilmente confundidos com os alimentos naturais dos organismos e quando o material se encontra na forma de *pellets* permeiam toda a cadeia alimentar ao se acumularem de forma tóxica ao decorrer das interações (BEVILACQUA; TIBÉRIO; GONZALEZ, 2011).

As principais fontes de poluição são de origem industrial, sendo as matérias primas utilizadas na fabricação de produtos plásticos e de derramamento de pós e *pellets* de resinas usados para a remoção de ar. O corte térmico de espuma de poliestireno, por exemplo, apresentou capacidade de emitir partículas de polímero nanométrico, com aproximadamente 20-220 nm. Essas partículas podem ser transferidas para todo o ambiente através da desintegração de folhas de polietileno agrícola, lavagem de roupas sintéticas, iodo de esgoto contaminado. Esses resíduos também podem acarretar diversos impactos incluindo a poluição do solo e sistemas de fornecimento de água, além da qualidade do ar (CAIXETA *et al*, 2018).

Na atualidade, a grande geração de lixo agrava o quadro ambiental e a reciclagem do resíduo plástico pode ser um meio de contribuir com a viabilidade econômica, de modo a economizar matéria prima e diversos outros processos. A gestão desses resíduos sólidos urbanos pode apresentar problemas relacionados a instalação inadequadas dos mesmos, como o espaço físico ocupados pelos rejeitos e a proliferação de doenças da população que mora nas proximidades e que vivem a partir da comercialização desses resíduos (SANTOS; AGNELLI; MANRICH, 2004).

É necessário que haja o desenvolvimento de um sistema circular de manejo de resíduos sólidos produzidos, de forma que seja garantido que apenas rejeitos sejam destinados aos aterros sanitários, ou que novas tecnologias de tratamento sejam aprimoradas. A administração desses resíduos deve contemplar todas as fases do processo, de forma que haja a redução da geração e o adequado tratamento de modo que possam ser reutilizados pelo sistema econômico (COSTA, 2011).

O funcionamento do sistema econômico é baseado no sistema natural que o sustenta: utilizando recursos naturais e devolvendo resíduos. O meio ambiente interage com a economia sendo fornecedor de insumos e receptor de dejetos/resíduos resultantes dos processos de produção e consumo (ANDRADE, 2008).

É nesse sentido que atua a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) quando implementa as atividades correspondentes a logística reversa, envolvendo todas as operações relacionadas à utilização de produtos e materiais, tendo em vista a recuperação sustentável. Esta é estabelecida de maneira abrangente nas mais diversas etapas do processo, permeando desde a revenda até a coleta, inspeção e separação que se destina a uma remanufatura ou reciclagem (DOMINGUES; GUARNIERI; STREIT, 2016).

Estabelece-se como reciclagem o processo de submeter um material a mudanças de cunho físico, físico-químico ou biológico, de forma que o material antes caracterizado como resíduo possua características de matéria-prima ou produto, conforme o estabelecido pela PNRS (XAVIER NETO; MACHADO; MACHADO, 2018).

Dessa forma, reciclar envolve a transformação dos materiais para a produção de matéria-prima para outros produtos por meio de processos industriais ou artesanais. É fabricar um produto a partir de um material usado, como a ressignificação de algo que aparentemente não tem mais valor, através da reutilização de um material que se tornaria lixo, aproveitando suas propriedades originais e transformando em produto de maior valor (VIEIRA, 2019).

De acordo com o estabelecido na PNRS, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes estão responsabilizados a agir para garantir que todas as medidas de implementação e operacionalização do sistema de logística reversa estejam em funcionamento. Estes, podem agir de acordo com determinados mecanismos que envolvem a compra de produtos ou embalagens usadas, manter parceria com cooperativas de materiais reutilizáveis e recicláveis, além de disponibilizar postos de entrega desses materiais (DICKEL *et al*, 2018).

No Brasil, no ano de 1998 existia uma classe de trabalhadores com cerca de 200 mil catadores clandestinos, normalmente de baixa renda que usufruíam das atividades de coleta de resíduos recicláveis, inserindo o país entre os maiores recicladores mundiais segundo a CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem). Um método potencialmente eficiente de aplicação da rentabilidade dessa reciclagem seria a legalização e o incentivo a profissionalização desses trabalhadores, integrando esses indivíduos para a formação de cooperativas responsáveis pela separação e reciclagem de resíduo plástico, o que além de contribuir com a reciclagem em esfera nacional, também contribui para melhores condições de trabalho e a inserção dessa parcela de trabalhadores na população economicamente ativa (JOPPERT JUNIOR, 2008).

Em 2010, conforme as necessidades observadas, foi instituído pelo decreto número 7.405 o denominado Programa Pró-Catador que visa instituir as ações do governo para fomentar a formação de cooperativas de reciclagem que empreguem esses trabalhadores. Esse programa busca principalmente a integração entre os benefícios ambientais da reciclagem e o oferecimento de melhores oportunidades de trabalho e inclusão social para tais trabalhadores, de forma a propiciar a geração de empregos e estimular o aumento das taxas de reciclagem no território nacional (SILVESTRIM, 2022).

No âmbito da reciclagem, existem três processos aceitos, sendo eles a reciclagem primária, secundária e terciária. A reciclagem primária se baseia na reintrodução de um único tipo de material defeituoso, geralmente composto por sobras de processos anteriores, porém limpos – por ser caracterizada como a metodologia mais fácil de reaproveitamento, se tornou mais popular. A reciclagem secundária – também chamada de mecânica - consiste no processamento de resíduos sólidos através de fragmentos de um único tipo de polímero visando a produção de materiais voltados para fins mais simplórios, com características menos exigentes que o original (como sacolas de lixo, fibras, calhas). Por fim, a reciclagem terciária consiste em materiais plásticos sólidos são convertidos em moléculas menores, como produtos químicos intermediários, através da utilização de calor e/ou tratamento químico (FIGUEIREDO *et al.*, 2015).

Métodos como a reciclagem química e energética também ganham destaque. Com maior índice de sustentabilidade, a reciclagem química caracteriza-se pelo reaproveitamento dos polímeros, desempenhada pela despolimerização que interage de maneira inversa à origem das cadeias e isola os monômeros que podem ser posteriormente utilizados em outras aplicações. Se sobressai, principalmente, devido a probabilidade de os materiais retornarem às cadeias químicas dos seus compostos de origem. Os processos de despolimerização incluem a gaseificação, craqueamento catalítico/a vapor e a pirólise, que se evidencia por ser uma tecnologia de transformação de um resíduo em um produto com potencial energético, podendo esse ser um gás, um líquido ou um sólido, a depender do tipo de pirólise. Embora seja uma alternativa sustentável, há um grande consumo de energia para realização da metodologia já que envolve temperatura, que influi diretamente na degradação dos polímeros. Nesse contexto, os catalisadores mais comumente usados na degradação termo catalítica de plásticos são zeólitas e sílica alumina (ARIMATÉIA JÚNIOR, 2017).

Uma das aplicações da pirólise consiste na produção de combustíveis líquidos de alto rendimento ou combustíveis secundários que são ainda mais valiosos dentro do segmento da indústria química (COSTA, 2006). A pirólise pode ser conceituada como uma tecnologia de degradação térmica do polímero em questão geralmente através da ausência de oxigênio, onde este é capaz de impedir a gaseificação. As temperaturas para este tipo de processamento podem chegar até 400°C (VIEIRA *et al*, 2014).

Já o craqueamento de polímeros está intimamente relacionado a utilização de um eficiente sistema catalítico, onde destacam-se catalisadores com sítios ácidos de Lewis e de Brönsted como melhores instrumentos para obtenção de controle da distribuição do

craqueamento. De modo geral, a degradação de polímeros é um método progressivo e importante, principalmente pela capacidade de transformar os resíduos sólidos em frações líquidas destinadas ao setor petroquímico (VALLE; GUIMARÃES; SAMPAIO, 2004).

Apesar de apresentar inúmeras vantagens, a reciclagem do plástico não é um processo simples, já que esses materiais em sua maioria são compostos por 93% de resinas poliméricas e 7% de aditivos. Dessa forma, cerca de 40% dos detritos plásticos coletados para a reciclagem acabam destinados a aterros sanitários ou a incineração, uma vez que o processo de reciclagem deixa de ser lucrativo. Outro fator responsável por influenciar na rentabilidade da reciclagem é a mistura de tipos de plástico em um determinado material, o que aumenta o custo do processo ao agregar valor nas etapas de separação e limpeza (SOUZA, 2019).

Estima-se que no ano de 2018, do volume total de resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil, pelo menos 13,5% do total correspondia a resíduos plásticos. Com relação aos dados de coleta seletiva, no mesmo ano, 17% da composição gravimétrica obtida era de origem polimérica. Apesar do potencial de geração de empregos e benefícios ao meio ambiente e cerca de 30% do lixo produzido no país ter alto potencial de reciclagem, apenas 1,7% desse montante é de fato submetido ao processo (YUGUE, 2020).

A reciclagem oferece incontáveis benefícios tanto em âmbito econômico quanto ambiental. Previne riscos à saúde humana, evitam a contaminação do solo e dos aquíferos, redução do volume de resíduos destinados aos aterros sanitários, além da geração de empregos, promoção do consumo consciente e descarte responsável (BISPO *et al*, 2020).

Apesar de apresentar inúmeras vantagens quanto a destinação do material a nível macro, a reciclagem pode desencadear outros problemas no que tange a poluição por plástico de menor granulometria. Segundo Guo *et al.* (2022), o PET é o polímero mais reciclado do mundo e durante o processo de reciclagem ocorre a lavagem do material para descontaminação, que origina um efluente posteriormente tratado e destinado às redes de distribuição. Os estudos conduzidos pelo autor apontaram a presença de partículas microplástico separadas das águas residuais, efluentes e lamas, sendo confirmadas como PET. Essas partículas são majoritariamente constituídas por pastilhas irregulares, flocos finos e esferas com superfície lisa, sugerindo sua geração a partir do processo de reciclagem, diferindo-se dos grânulos de polietileno isolados oriundos de produtos de limpeza facial.

Zhan *et al.* (2022) apontou em seu estudo 103 tipos de MPs encontrados no sistema formal de lixo eletrônico destinados a reciclagem, incluindo 4 tipos de embalagens plásticas,

32 tipos de plásticos de engenharia, 18 tipos de borracha e 49 tipos de outros polímeros. De acordo com o cálculo, a carga anual de MP dentro da fábrica de reciclagem de lixo eletrônico foi estimada em 4,01 toneladas.

Nesse sentido, microplásticos são detritos de fragmentações plásticas, geralmente encontrados em tamanhos inferiores a 5mm. No entanto, se possuir tamanho inferior a 1 nanômetro, são considerados nanoplásticos (NP). O microplástico torna-se de origem primária quando feito por ação antrópica propositalmente para que seja utilizado na indústria, mas também pode ser de origem secundária, devido a deterioração de plásticos maiores no ambiente (BELO *et al.*, 2021).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2019), esses resíduos já estão presentes no ambiente e já foram detectados em água marinha, esgoto, água doce, comida, como também no ar e na água potável, tanto em águas engarrafadas quanto em distribuídas por redes de abastecimento.

Segundo Vaz (2020), no processo de produção dos plásticos são acrescentados em suas composições diferentes aditivos que tem como intuito trazer melhorias para suas propriedades como, retardantes de chamas, pigmentos, plastificantes e outros, nesta variedade de aditivos encontram-se alguns com características de desreguladores endócrinos como por exemplo o nonilfenol. Com isso, devido a degradação pelos efeitos climáticos, desgastes pelo uso, agentes químicos e descartes inadequados, é iniciado o processo de erosão superficial do plástico que gera a formação e liberação dos detritos menores.

Os MP e NP são classificados como primários e secundários. Sendo os primários aqueles que já são produzidos em escalas nanométricas ou micro, bastante utilizados em indústrias de cosmético e higiene pessoal. Já os secundários são os oriundos da degradação de plásticos maiores, em sua maioria estão associados a poluição plástica, e esses fragmentos em sua maioria não são intencionais. Contudo, as dimensões e densidade dessas partículas influenciam diretamente para eficácia do tratamento de efluentes e dependendo de sua permeação podem facilmente chegar a corpos receptores (VAZ, 2020).

Quando os nano e microplásticos se espalham pelo ambiente, podem agir em outros organismos através da ingestão, permear as barreiras biológicas, e se acumular nos tecidos e órgãos. E como consequência da ingestão incluem-se os efeitos toxicológicos, que ocorrem devido a esses poluentes orgânicos serem persistentes como, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, éteres difenílicos polibromados e bifenilos policlorados. Além disso, podem trazer

efeitos adversos, como desordens comportamentais, inibição de crescimento, desordens alimentares, disfunções reprodutivas e até mesmo causar mortes (CAIXETA *et al*, 2018).

Segundo Caixeta *et al.* (2018), as partículas lançadas no ambiente em dimensões nano e micro, causam danos irreversíveis ao meio ambiente, à ecologia, à economia e também à saúde pública. A falta de informação sobre a toxicologia de partículas nanoplásticas, restringem-se as suas aplicações nas indústrias, em produtos que estão diretamente ligados a contato com seres humanos, como cosméticos, detergentes e alimentos.

Quando se explora os efeitos na saúde observa-se que a exposição crônica aos monômeros ou aditivos de baixo peso molecular é um dos principais riscos potenciais oferecidos à saúde humana, uma vez que, por não estarem firmemente ligados as matrizes poliméricas, podem migrar e contaminar os alimentos. Os MCA (Materiais em Contato com os Alimentos), são materiais, utensílios e embalagens que entram em contato com o alimento em alguma das fases do processo. Esses recipientes devem seguir requisitos específicos para materiais destinados a contato direto com alimentos, sem que o contaminem em quantidades passíveis de intoxicação humana ou de alteração das características do alimento (ROCHA; MENDES, 2019).

É cada vez mais evidente a preocupação acerca dos impactos desses polímeros no meio ambiente e na saúde humana, uma vez que é considerado um material relativamente novo na natureza. Os riscos dos microplásticos na fauna marinha são conhecidos devido suas ações nas mucosas dos estômagos dos animais marinhos, que, compostos por vilosidades podem gerar inflamações e obstruções, de modo a impedir a absorção de alimentos, aliados a degradação das enzimas digestivas através da liberação de enzimas tóxicas. As partículas do material podem se acumular no organismo, como no intestino delgado e se transformarem em um bloqueio para o esvaziamento estomacal, como já se é observado em alguns peixes. Algumas experiências recentes já registraram essa transferência das partículas do sistema digestivo para o sistema circulatório (BOUCHER; FRIOT, 2017)

De acordo com CESA (2017), evidências sobre o impacto dessas partículas em seres humanos ainda estão em andamento, mas já é de conhecimento que os plânctons, produtores de grande parte do oxigênio presente na atmosfera, foram diagnosticados com a presença de microplásticos, podendo ser afetada sua reprodução. Já para PEREIRA (2014), as bactérias presentes nesses materiais podem causar algumas doenças, pois estas, penetram em órgãos em função do seu pequeno tamanho; seres humanos estão expostos a absorção desses fragmentos, seja ela

através de uma dieta comum (alimento do dia a dia, como o sal) ou através do contato direto com a degradação do material (desgastes de roupas ou pneus). Vale ressaltar que a maioria das pesquisas são voltadas aos efeitos das partículas aos animais marinhos e ao meio ambiente, e pouco se sabe sobre o impacto e complicações na vida humana.

O descarte incorreto e a baixa degradação deste material são os vilões do advento da poluição devido a sua presença em vários produtos do dia a dia, como sacolinhas, embalagens, recipientes, brinquedos, peças de diferentes espécies ou até mesmo em cosmético. O descarte acaba sendo destinado, em sua maioria, ao esgoto, rios, lagos e flutuam no ar respirável, quando essas partículas são originárias do desgaste de pneus, por exemplo. Pode-se até citar as próteses que são colocadas em seres humanos, que podem causar reações celulares (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 2019).

No Brasil, um estudo realizado em quatro praias urbanas da Paraíba (Cabo Branco, Intermares, Formosa e Bessa) mostrou que a quantidade de resíduos plásticos nesses locais triplicou nos últimos anos, com partículas microscópicas detectadas tanto nas praias quanto nos estômagos dos peixes. Isso demonstra as consequências imprevisíveis do descarte inadequado desses materiais em ambientes costeiros (SUL, 2014 apud LIMA *et al.* 2019).

Segundo PEREIRA (2014), os aspectos negativos dos microplásticos na saúde humana são desconhecidos, porém os químicos existentes no plástico entram em contato com o homem durante a produção, uso e descarte, tanto dos trabalhadores quanto aos moradores próximos, causando efeitos nessas pessoas.

A translocação de microplásticos em animais através de vísceras ou sistema fático pode acelerar o ritmo de a disseminação desses materiais em mais tecidos ou órgãos, sendo sua acumulação detectada no fígado, rim e intestinos, como apontam estudos. Se os MPs quebrarem em nanoescala, eles podem até penetrar nas células e tecidos epiteliais humanos através de inalação. Partículas foram encontrados em amostras clínicas de pulmão e detectados em placentas de mulheres grávidas, tanto no lado fetal quanto no materno (YUAN *et al.*, 2022).

Dentre as 17 placentas analisadas, todas demonstraram a presença de MPs, somando 149 ao todo. O estudo enfatiza que os bebês ainda no útero da mãe podem sofrer com a contaminação de origem materna. Dos tipos de plástico encontrados o PVC foi o predominante seguido do PP. O PVC está fortemente relacionado a riscos à saúde, como demonstrado por estudos: os riscos de doenças hepáticas, angiossarcoma e câncer cerebral atribuíveis à exposição humana ao PVC foram 11 a 16 vezes e 4 vezes maior do que na população não exposta,

respectivamente. Já as partículas de PP podem causar riscos à saúde ao induzir a produção de citocinas das células imunes, devendo assim mais atenção ser dada aos efeitos potencialmente tóxicos de microplásticos em fetos, particularmente partículas de PVC e PP (ZHU *et al.*, 2022).

Em 2018, a avaliação do Brasil sobre a presença de MPs no sal de origem marinha mostrou que todas as marcas de sal analisadas continham polietileno (PE), polipropileno (PP) e polietileno tereftalato menores que 5 mm de éster (PET). O MP pode conter dois contaminantes químicos nocivos, muitas vezes com efeitos de desregulação/perturbação endócrina. Estes incluem aditivos plásticos, como ftalatos e bisfenol A, cuja ingestão frequente aumenta o potencial de toxicidade gastrointestinal, hepática, reprodutiva e neurotoxicidade nos organismos (FALASCO, 2019).

De acordo com Masud, *et al* (2022), a exposição aos MPs ocorre principalmente via ingestão que afeta a atividade digestiva, reduzindo a ingestão de alimentos e modulando o metabolismo. A adsorção no intestino promove alterações no sistema gastrointestinal e na microbiota, que afeta adversamente o crescimento de microrganismos não saudáveis, e organismos com maior permeabilidade intestinal. Em casos crônicos, os MPs podem causar câncer colorretal.

Masud, *et al* (2022) também aponta que a inalação de MPs está relacionada a casos câncer, uma vez que analisadas as biópsias de material positivo para a doença, revelou-se a presença de fibras plásticas de 250 µm. O material plástico particulado pode causar distúrbios autoimunes ao causar translocação, estresse oxidativo, liberação de modulador imunológico e ativação celular, o que leva à sensibilidade aos autoantígenos e à formação de auto anticorpos. Além disso, os MPs são citotóxicos podendo causar impactos inflamatórios e desconforto respiratório além de desencadear uma ampla gama de doenças: desde imediatas como a asma, até fibrose intersticial difusa, alveolite alérgica extrínseca, pneumonia, alterações inflamatórias e fibróticas nos brônquios, bronquite crônica e pneumotórax.

Rahman *et al.* (2021) aponta que após a exposição, os MPs podem se deslocar para tecidos distantes através do sistema circulatório, causando uma resposta inflamatória sistêmica, citotoxicidade das células sanguíneas por internalização, inflamação vascular, oclusões e hipertensão pulmonar. Testes *in vitro* demonstraram que nanopartículas podem aderir à parede dos glóbulos vermelhos. O acúmulo contínuo de partículas afeta significativamente a função renal e quando transportado para tecidos distantes, os MPs podem causar inflamação crônica,

diminuição da função dos órgãos e um risco aumentado de neoplasia. Evidências mostraram que após atingir o osso, MPs podem causar perda óssea ativando os oclastos.

Ainda segundo Rahman *et al.* (2021), a translocação desse material via sistema circulatório ocasiona efeitos relacionados a neurotoxicidade, uma vez que resultam em danos permanentes aos neurônios. Também há impactos na saúde reprodutiva: testes preliminares demonstraram diminuição da função reprodutiva de *Daphnia magna* (uma espécie de pequeno crustáceo planctônico) após tratamento com MP, da mesma forma como com as ostras, que tiveram a velocidade de seus espermatozoides diminuída.

Nesse sentido, para Yang *et al.* (2022) o plástico biodegradável é apenas uma distração de soluções reais para os poluentes plásticos. Para mitigar a crise, deve ser dada prioridade à prevenção da produção de plásticos em primeiro lugar, seguida pela reutilização e reciclagem efetiva e viável. Enquanto isso, há a necessidade de desenvolver tecnologias inovadoras para estudos de proteção e identificação de microplásticos, como melhorar a abordagem de amostragem, pré-tratamento da amostra, classificação e análise.

Os desafios do equilíbrio da conveniência dos plásticos com a possibilidade de causar poluição por partículas de baixa granulometria são de importância social. Sem fortes ações preventivas imediatas, os impactos na saúde ambiental levariam a graves problemas de escala local e global. Desta forma, há uma necessidade urgente de sensibilizar o público para as escolhas de consumo, engajando a uma minimização do consumo e descarte de plástico. Deve-se enfatizar uma estratégia que aborde o princípio de “evitar o evitável” (YANG *et al.*, 2022).

5 CONCLUSÃO

As abordagens atuais frente ao problema da poluição ocasionada pelo plástico baseiam-se na destinação desse tipo de resíduo para processos de reciclagem. Entretanto é inviável do ponto de vista técnico submeter uma mistura de diferentes tipos de plástico ao processo de reciclagem sem que haja a etapa adicional de separação dos polímeros conforme suas características, o que pode encarecer o procedimento à medida que essa etapa se torna mais eficiente. As novas tecnologias de reciclagem ainda não abrangem toda a demanda de resíduo, além de serem mais caras e de implementação dificultosa.

É de conhecimento que mesmo durante as etapas do processo de reciclagem existe a liberação de plástico no meio ambiente através de partículas de dimensões micro e nanométricas, que contaminam os alimentos e a água de consumo humano. Assim, microplásticos são frequentemente encontrados em amostras de água e de alimentos e uma vez no corpo humano, são responsáveis pelo desenvolvimento de diversos tipos de câncer, doenças imunes e renais.

Portanto, observa-se a necessidade crescente de diminuir a quantidade de plástico consumido e descartado, bem como as estratégias de enfrentamento no que tange a reutilização e a reciclagem. Para esse último, os processos existentes devem se aprimorar de forma a serem viáveis economicamente, para que possam abranger a maior parte dos resíduos plásticos descartados e mitigar seus impactos no meio ambiente e consequentemente na saúde humana.

Urge, portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias para separação e processamento de polímeros, principalmente no tocante aos micro e nanoplásticos. Fica claro que as estratégias atuais não se mostram suficientes para lidar com o problema, tendo em vista todos os relatos de contaminação por esse particulado em água potável e alimentos. As ações para atenuar a situação devem ser tomadas prontamente, antes da contaminação por plástico se tornar uma crise de escala global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2020**. 2021. Disponível em: https://www.simpesc.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf. Acesso em: 21 abr. 2022.

ALBUQUERQUE, Marcos de Campos Cavalcanti de *et al.* **Aplicações de enzimas na síntese e na modificação de polímeros**. Química Nova, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 699-708, 2014. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140113>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/8FqxVNCwjLpWGxxGygkP4yN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ANDRADE, Daniel Caixeta. **Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica**. Leituras de Economia Política, Campinas, v. 14, n. 1, p. 1-31, 2008. Disponível em: https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/LEP/L14/1%20LEP14_Economia%20e%20Meio%20Ambiente.pdf. Acesso em: 29 maio 2022.

ARAÚJO, Maria Christina Barbosa de; CAVALCANTI, Jacqueline Santos Silva. **Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 74-81, maio 2016. Disponível em: <file:///D:/Downloads/511-Texto%20do%20artigo-1730-1-10-20160610.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022

ARIMATÉIA JÚNIOR, Humberto. **Pirólise de misturas plásticas**. 2017. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2017. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/2017/488--64/file>. Acesso em: 30 maio 2022.

BAIA, Beatriz Gallegos Farias. **Plásticos e seus impactos ambientais**. International Studies on Law & Education, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 167-176, 2020. Disponível em: http://www.hottopos.com/isle34_35/167-176JVernePlasticosF.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

BARBOSA, Luiz Antonio *et al.* **Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações**. Espacios: Vol 38, N°17, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Barbosa-3/publication/316253852_Low_density_polyethylene-LDPE_Market_production_properties_and_applications/links/5ce67a62458515712ebbd7f8/Low-density-polyethylene-LDPE-Market-production-properties-and-applications.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.

BELO, Isabela Cristina Bitencourt *et al.* **MICROPLÁSTICOS, SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE E MANEIRAS BIODEGRADÁVEIS DE SUBSTITUIÇÃO**. Revista Internacional de Ciências, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 214-228, 31 ago. 2021. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2021.54481>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/54481>. Acesso em: 16 out. 2022.

BEVILACQUA, Ana Helena Varella; TIBÉRIO, Carolina Kors; GONZALEZ, Marco Antonio Dalama. **Análises da influência do lixo marinho em uma comunidade tradicional caiçara, Ilha do Cardoso - SP.** 2011. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Centro Universitário Senac, São Paulo, 2011. Disponível em:

http://www.globalgarbage.org/praias/downloads/TCC_Bevilacqua_Tiberio_Dalama.pdf.

Acesso em: 18 maio 2022.

BISPO, Anderson Vaz *et al.* **A reciclagem do plástico e sua importância para o meio ambiente.** Interfaces do Conhecimento, Barra do Garças - MT, v. 2, n. 3, p. 163-173, ago. 2020. Disponível em:

<https://periodicos.unicathedral.edu.br/index.php?journal=revistainterfaces&page=article&op=view&path%5B%5D=539&path%5B%5D=385>. Acesso em: 29 maio 2022.

BISSOLI, Otávio Duarte. **Biotecnologias para a degradação de plásticos.** [S.L], 2021.

Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/138041/2/517461.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

BOM, F. C. *et al.* **Percepção de usuários de praias em relação ao lixo marinho como uma ferramenta para ações efetivas contra essa problemática.** Brazilian Journal of Aquatic Science And Technology, [S.L], v. 24, n. 2, p. 18-27, abr. 2020. Disponível em:

<https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/16312/9663#:~:text=Mesmo%20sendo%20poucos%20ao%20redor,de%20manejo%20governamentais%20destes%20ecossistemas>. Acesso em: 19 maio 2022.

BOUCHER, Julien; FRIOT, Damien. **Primary Microplastics in the Oceans: a global evaluation of sources.** Gland, Switzerland: Iucn, 2017. 46 p. Disponível em:

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.

CAIXETA, Danila *et al.* **Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos.** Enciclopédia Biosfera, [S.L.], v. 15, n. 27, p. 19-34, 20 jun. 2018. Centro Científico Conhecer. http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2018a92. Disponível em:

<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/biol/nano.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022.

CANDIAN, Livia Matheus. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais.** 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em:

http://web.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2007ME_LiviaMatheusCandian.pdf. Acesso em: 19 maio 2022.

CARNEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. Introdução geral. *In*: CARNEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** 2. ed. São Paulo: Artliber, 2002. Cap. 1. p. 18-31.

CESA, Flavia Salvador. **Microplásticos têxteis: emissão de fibras sintéticas na lavagem doméstica.** 2017. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.100.2017.tde-19102017-105403. Acesso em: 16 out. 2022.

CONCEIÇÃO, Márcio Magera *et al.* **O plástico como vilão do meio ambiente.** Revista UNG Geociências, Guarulhos, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 50-53, 2019. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/4024/2842>. Acesso em: 20 maio 2022.

COSTA, Paula Alexandra da Conceição. **Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos.** 2006. 424 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/415/1/Tese%20Doutoramento%20Paula%20Costa.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.

COSTA, Sandro Luiz da. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2011. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju - Se, 2011.

COUTINHO, Fernanda M. B. *et al.* **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações.** 2003. Disponível em: Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Acesso em: 14 mar. 2022.

CUCCATO, Guaciara Regina Soares Pinho. **A importância da reciclagem dos plásticos e a conscientização dos alunos do ensino médio.** 2014. 30 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - Paraná, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/21856/2/MD_ENSCIE_2014_2_38.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

DALBERG ADVISORS. **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização.** [S.L]: World Wildlife Fund, 2019. 50 p. Disponível em: https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic_report_02-2019.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

DICKEL, Paulo Roberto Garcia *et al.* Uso da logística reversa para descarte de lâmpadas fluorescentes à luz da pnrs: o caso do instituto federal de educação do rio grande do sul. **Produção Online**, Florianópolis - SC, v. 18, n. 1, p. 265-284, 2018. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2766/1640>. Acesso em: 30 maio 2022.

DOMINGUES, Gabriela Santos; GUARNIERI, Patrícia; STREIT, Jorge Alfredo Cerqueira. **Princípios e instrumentos da política nacional de resíduos sólidos: educação ambiental para a implementação da logística reversa.** Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade, Brasília - DF, v. 2, n. 1, p. 191-216, jun. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/regis/article/download/19696/18186/33823>. Acesso em: 19 maio 2022.

FALASCO, Carina Francisco. **Avaliação da presença de partículas insolúveis e microplásticos em sais de origem marinha do Brasil.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-24032022-150650/>. Acesso em: 16 out. 2022.

FERREIRA, Guilherme Ariel. **Avaliação das propriedades mecânicas de peças densas a partir do processo de prensagem a quente de pó de poli etileno tereftalato (PET) reciclado**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenheiro Mecânico, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/profab/files/2020/01/2017-TCC-AVALIA%C3%87%C3%83O-DAS-PROPRIEDADES-MEC%C3%82NICAS-DE-PE%C3%87AS-DENSAS-A-PARTIR-DO-PROCESSO-DE-PRENSAGEM-A-QUENTE-DE-P%C3%93-DE-POLI-ETILENO-TEREFTALATO-PET-RECICLADO.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022.

FIGUEIREDO, Aneliése L. *et al.* **Tertiary Recycling of Poly(ethylene terephthalate) Aimed at Obtaining Chemicals and Fuels: a review**. Revista Virtual de Química, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 1145-1162, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150064>. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/823/565>. Acesso em: 19 maio 2022.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVsp8b3Pc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08 mar. 2022.

GORNI, Antonio Augusto. **Introdução aos plásticos**. Revista plástico industrial, v. 10, n. 09, 2003. Disponível em: [http://ingaprojetos.com.br/download/INTRODUCAO_AOS_PLASTICOS\[1\].pdf](http://ingaprojetos.com.br/download/INTRODUCAO_AOS_PLASTICOS[1].pdf). Acesso em: 15 maio 2022;

GRISA, Ana M. C. *et al.* **Degradação Biológica do PVC em Aterro Sanitário e Avaliação Microbiológica**. Polímeros: Ciência e Tecnologia [S.L.], v. 21, n. 3, p. 210-216, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/qfJgX5JxV9P9Xq8TFvy65RC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 mar. 2022.

GUO, Yuwen *et al.* **Ignored microplastic sources from plastic bottle recycling**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 838, p. 156038, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722031357>. Acesso em: 16 out. 2022.

HORIE, K. *et al.* **Definition of terms relating to reation of polymers and to functional polymeric materials: IUPAC recommendations 2003**. © 2004 IUPAC: Pure and Applied Chemistry, [S.L.], v. 73, n. 4, p. 889-906, 2004. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200476040889/html>. Acesso em: 07 mar. 2022.

IBGE. Sidra: Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Tabela 7752 - Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos - Prodlists Indústria 2016 e 2019**. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7752>. Acesso em: 21 abr. 2022.

JOPPERT JUNIOR, Ney. **A reciclagem das embalagens plásticas de óleo lubrificante e a gestão ambiental: um modelo a ser construído.** 2008. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:

http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2008/NeyJoppertJunior_Dissertacaofinal_29052008.pdf. Acesso em: 29 maio 2022.

LEITÃO, Adriana Isabelle Barbosa Lima Sá. **Mitigando os efeitos da poluição marinha por plásticos: uma governança global para superar o problema?** 2021. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/63476/1/2021_dis_aiblsleit%c3%a3o.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.

LIMA, Lucas Vinícius Sousa *et al.* **Variação sazonal das partículas de microplásticos no sedimento de quatro praias urbanas no estado da Paraíba, Brasil.** Anais IV CONAPESC. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57334>>. Acesso em: 16 out. 2022.

MARTINS, Marta Filipa Santos. **Poluição por plástico: a crise ambiental e as políticas europeias e nacionais.** 2020. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão do Território, Universidade Nova de Lisboa, [S.L.], 2020. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/111265/1/marta_martins_44670_MGT.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

MASUD, Rony Ibne *et al.* **A review on enhanced microplastics derived from biomedical waste during the COVID-19 pandemic with its toxicity, health risks, and biomarkers.** Environmental Research, [S.L.], v. 216, p. 114434, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2022.114434>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935122017613>. Acesso em: 16 out. 2022.

MENA, Rodrigo L. *et al.* **Fotodegradação de Polímeros Acompanhada por Infravermelho: Um Tutorial.** Revista Virtual de Química, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 959-968, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Walter-Waldman/publication/342751335_Fotodegradacao_de_Polimeros_Acompanhada_por_Infravermelho_Um_Tutorial/links/610a60601e95fe241aac9054/Fotodegradacao-de-Polimeros-Acompanhada-por-Infravermelho-Um-Tutorial.pdf. Acesso em: 07 mar. 2022.

MICHAELI, Walter *et al.* **Tecnologia dos plásticos: livro texto e de exercícios.** In: MICHAELI, Walter. Tecnologia dos plásticos: livro texto e de exercícios. 1. ed. São Paulo: Edgar Bluncher, 1995. p. 1-21.

MIZOGUCHI, Ian Haas. **Os desafios do plástico e cenários para o futuro.** 2019. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/198027>. Acesso em: 19 maio 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (Suíça). **Microplastics in drinking-water.** Microplastics in drinking-water, [s. l.], 21 ago. 2019. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>.
Acessado em: 14 out. 2019.

PARENTE, Ricardo Alves. **Elementos estruturais de plástico reciclado**. São Carlos, mar. 2006. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/d.18.2006.tde-19072006-095941>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19072006-095941/pt-br.php>. Acesso em: 14 nov. 2022.

PELISSER, Fernando. **Avaliação do desempenho do concreto reforçado com fibras de polietileno tereftalato (PET)**. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84218>. Acesso em: 19 maio 2022.

PEREIRA, Flávia Cabral. **Microplásticos no ambiente marinho: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.21.2014.tde-30032015-150240. Acesso em: 16 out. 2022.

RABELLO, Marcelo S.; WHITE, James R. **Fotodegradação do Polipropileno**. Um Processo Essencialmente Heterogêneo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, [S.L], v. 2, n. 7, p. 47-57, 1997. Disponível em: <https://www.revistapolimeros.org.br/article/10.1590/S0104-14281997000200007/pdf/polimeros-7-2-47.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2022.

RAHMAN, Arifur *et al.* **Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: a scoping review**. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 757, p. 143872, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720374039>. Acesso em: 16 out. 2022.

ROCHA, Janete; MENDES, António Pedro. **Materiais em contacto com os alimentos – plástico na alimentação: uma ameaça?** *Acta Portuguesa de Nutrição*, [S.L], v. 17, n. 1, p. 28-33, 20 abr. 2019. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/140296/2/538800.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022.

ROSA, Derval S. *et al.* **Avaliação da Biodegradação de Poli-β-(Hidroxibutirato), Poli-β-(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli-ε-(caprolactona) em Solo Compostado**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, [S.L], v. 12, n. 4, p. 311-317, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/yFLZDcMwBvdDPRTz5p38k8h/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ROSSINI, Katiandry; CATTO, André Luis; SANTANA, Ruth M. C.. **Estudo da degradação por intemperismo natural do pebdl**. Porto Alegre: 12º Congresso Brasileiro de Polímeros (12ºCbpol), 2013. Disponível em: <http://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2013/pdf/6FYD.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

SANTOS, Amélia S. F.; AGNELLI, José Augusto M.; MANRICH, Sati. **Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, [S.L],

v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/po/a/pygZmYqm3yhzqVTzhwXvrNb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 maio 2022.

SANTOS, Ísis Shandra Scalabrin. **Lixo nos mares: percepção e engajamento de alunos de escola da rede de ensino público de Florianópolis (SC)**. 2021. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228596/TCC.pdf?sequence=2&isAllo wed=y>. Acesso em: 19 maio 2022.

SANTOS, T. G. dos *et al.* **Estudo cinético da degradação térmica e catalítica de polipropileno sob catalisadores mesoporosos tipo AIMCM-48**. Scientia Plena, [S.L], v. 17, n. 9, p. 1-15, 20 set. 2021. Disponível em:
<https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/6242/2441>. Acesso em: 19 maio 2022.

SILVA, André Luis Bonfim Bathista; SILVA, Emerson Oliveira da. **Conhecendo materiais poliméricos**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Licenciatura Plena em Física, Departamento de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, [S.L], 2003. Disponível em:
<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ea000223.pdf>. Acesso em: 15 maio 2022.

SILVA, Claudionor Oliveira; SANTOS, Gilbertânia Mendonça; SILVA, Lucicleide Neves. **A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET, [S.L], v. 13, p. 2683-2689, 13 ago. 2013. Disponível em:
<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/8248/pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

SILVA, Higor Donizete Ferreira da. **Plástico residual: poluente expandido pela COVID-19 e a atuação da biotecnologia em mitiga o dano ambiental**. 2021. 40 f. Monografia (Especialização) - Curso de Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2021. Disponível em:
<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32091/1/Pl%C3%a1sticoResidualPoluente.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.

SILVEIRA, Daniela da Cunha. **Microplásticos: uma abordagem prática para produção de plástico biodegradável como estratégia de educação ambiental no ensino básico**. Brazilian Journal Of Science, [S.L], v. 2, n. 1, p. 82-89, fev. 2022. Disponível em:
<https://www.brazilianjournalofscience.com.br/revista/article/view/15/17>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SILVESTRIM, Eneida Guerra. **Diagnóstico econômico das entidades de catadores de manaus (am) que reciclam resíduos plásticos**. 2022. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em:
https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8832/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o_EneidaSilvestrim_PPGCASA.pdf. Acesso em: 29 maio 2022.

SOUZA, Julio Felipe Pecapedra. **Análise da rentabilidade da reciclagem do plástico: um estudo de caso para associações de catadores de Florianópolis**. 2019. 96 f. TCC (Graduação) -

Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Santa Catarina, 2019. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202773/TCC-%20JULIO%20FELIPE%20PECAPEDRA%20SOUZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
 Acesso em: 29 maio 2022.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurelio de. **A TECNOLOGIA DA RECICLAGEM DE POLÍMEROS**. Química Nova, [S.L], v. 28, n. 1, p. 65-72, 12 nov. 2004. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 maio

SUL, Juliana Assunção Ivar do. **Contaminação ambiental por microplásticos em Fernando de Noronha, Abrolhos e Trindade**. 2014. 75 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - Pe, 2014. Disponível em:
https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18853/1/TESE_Juliana%20Ivar%20do%20Su1_SEM%20assinaturas.pdf. Acesso em: 16 out. 2022.

TEIXEIRA, Watson Rodrigo; TEIXEIRA, Leandro Dioni. **Aspectos negativos dos microplásticos na saúde humana**. Encontro Nacional de Pós Graduação: ENPG, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 149-153, jan. 2019. Disponível em:
<https://periodicos.unisanta.br/index.php/ENPG/article/view/2114/1609>. Acesso em: 16 out. 2022.

UNEP. **Da poluição à solução: uma análise global sobre lixo marinho e poluição plástica**. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/interactive/pollution-to-solution/?lang=PT>. Acesso em: 20 abr. 2022.

VALLE, Maria Leticia M.; GUIMARÃES, Maria José O. C.; SAMPAIO, Cristiane M. S. **Degradação de Poliolefinas Utilizando Catalisadores Zeolíticos**. Polímeros: Ciência e tecnologia, [S.L], v. 14, n. 1, p. 17-21, 2004. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/po/a/4n3GhH5fKhvrvvWC6c95ybR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 maio 2022.

VAZ, Vitor Pereira. **Avaliação da Interação Toxicológica de Misturas: Nanoplástico de Poliestireno e Hormônio 17 α -Ethinilestradiol**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico (Ctc), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/216584/PGEA0664-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 out. 2022.

VIEIRA, Gláucia Eliza Gama *et al.* **Biomassa: uma visão dos processos de pirólise**. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 167-177, jul. 2014. Disponível em:
<http://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/319/221>. Acesso em: 30 maio 2022.

VIEIRA, Henrique Tatiama Alves. **REBAG: reaproveitamento de material têxtil na confecção de acessórios de vestuário**. 2019. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Design, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2019. Disponível em:

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22988/1/2019_HenriqueTatiamaAlvesVieira_tcc.pdf. Acesso em: 29 maio 2022.

XAVIER NETO, Luiz Carlos; MACHADO, Vinicius Elias Mendes; MACHADO, Vitor Elias Mendes. **Alternativas sustentáveis com os resíduos**. Boletim de Inovação e Sustentabilidade, São Paulo - SP, v. 2, n. 1, p. 1-44, 2018. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/bisus2018-vol2-alternativas-sustentaveis-com-os-residuos.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

YANG, XI *et al.* **Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 825, p. 154025, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722011172>. Acesso em: 16 out. 2022.

YUAN, Zhen *et al.* **Occurrence and human exposure risks of atmospheric microplastics: a review**. Gondwana Research, [S.L.], v. 108, p. 200-212, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2022.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X22000429>. Acesso em: 16 out. 2022.

YUGUE, Eduardo Tadashi. **Desafios e potenciais soluções para reciclagem de embalagens plásticas flexíveis pós-consumo no Brasil**. 2020. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba - São Paulo, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192646/yugue_et_me_soro.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 29 maio 2022

ZAMORA, Andrea Mattchick *et al.* **Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Heinrich Böll Stiftung, 2020. 64 p. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/2020-11/Atlas%20do%20PI%C3%A1stico%20-%20vers%C3%A3o%20digital%20-%2030%20de%20novembro%20de%202020.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

ZHAN, Lu *et al.* **Characteristics of microplastics and the role for complex pollution in e-waste recycling base of Shanghai, China**. Environment International, [S.L.], v. 169, p. 107515, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2022.107515>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022004421>. Acesso em: 16 out. 2022.

ZHU, Long *et al.* **Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 856, p. 159060, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722061599>. Acesso em: 16 out. 2022.