



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Estudo da valorização material e/ou energética dos resíduos de plásticos e microplásticos

IVONEIA TECLA SAPALO

(Licenciada em Engenharia dos Recursos Naturais e Ambiente)

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da
Qualidade e Ambiente

Orientadores

Professora Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Professor Doutor Jaime Filipe Borges Puna

Júri:

Presidente: Professora Doutora Isabel Maria Da Silva João

Vogais: Professora Doutora Célia Maria Dias Ferreira

Setembro de 2023

DEDICATÓRIA

*Ao meu irmão Mateus, pela sua
bondade, pelo seu exemplo de
superação e pela sua humildade. Toda
a minha gratidão será pouca diante da
sua benevolência.*

*Às minhas preciosidades Árgula Ester e
Pemba Araceli, são sem dúvida o tempo
e o espaço de alegria na minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai todo-poderoso, pelo dom da vida, pela saúde, por sempre estar comigo e ser meu fiel amigo e companheiro, pois sem Deus nada sou e nada posso fazer.

Agradeço à Professora Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos e ao Professor Doutor Jaime Filipe Borges Puna enquanto meus orientadores, a disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, a ajuda, a exigência de método, o rigor, os comentários, os esclarecimentos, as opiniões e as sugestões.

À minha família pelo apoio enorme, aos meus pais, Cesário Sapalo e Ester Domingas Mateus, que foram incansáveis, impulsionando o término do trabalho. Estendo este agradecimento às minhas irmãs Sónia Ricardo e Raquel Chicuata, assim como ao meu irmão Mateus Sapalo que durante muitos anos tem sido um Pai para mim, proporcionando sempre o meu desenvolvimento pessoal, não medindo esforços financeiros.

Ao meu marido Mateus Miranda e às minhas filhas Árgula Ester e Pemba Araceli, que são a minha maior força no caminho da resiliência e da superação.

Aos tios Andreia Barcelos, Samuel Helder e à amiga Cecilia Nelembe que muito me ajudaram no acompanhamento da minha filha, enquanto eu cumpria as minhas atividades letivas.

Aos professores e colegas do ISEL que responderam ao inquérito, contribuindo para os resultados da presente dissertação. De forma geral a todos quantos, ao longo da minha formação, me apoiaram nesta caminhada.

A todos vós, a minha maior gratidão

RESUMO

Os resíduos de plásticos têm tido um grande protagonismo a nível nacional e internacional por causa das propriedades que este material apresenta, permitindo, por um lado, a sua aplicação em diversos setores, tornando-se, por outro lado, num problema de gestão após a sua utilização devido ao uso exacerbado do mesmo que prolonga a sua permanência na natureza e facilita o seu alastramento em microplásticos, aquando da sua degradação, provocando impactos negativos nos diversos meios, na economia e também na saúde pública.

Definido o objeto de análise/estudo desta dissertação, e de forma a que fossem alcançados os objetivos preconizados, estabeleceu-se como metodologia de trabalho o uso de um questionário de autopreenchimento para inquirir utentes da comunidade do ISEL, independentemente das suas funções.

Todos os inquiridos tinham mais de 16 anos e demonstraram ter literacia no que diz respeito ao tema em estudo - plásticos e microplásticos.

Os resultados revelaram que a maioria das pessoas se preocupa com o uso acentuado do plástico no dia-a-dia, demonstrando, assim, interesse pela mudança de hábitos de consumo, caso estejam disponíveis opções mais sustentáveis. Ficou também evidente a disponibilidade dos inquiridos para participarem em atividade que promovam a sustentabilidade ambiental em prol do bem comum, bem como para aderirem a campanhas que estimulem comportamentos voltados para a sensibilização e educação ambiental.

Palavras-chaves: Plásticos, Microplásticos, Ambiente, Resíduos, Valorização

ABSTRAT

Plastic waste has taken on a major role at national and international level because of the properties that the material presents which, on the one hand, allow its application in various sectors, on the other hand, it becomes a management problem after its use, thanks to its exacerbated use, making it remain for a long time in nature and spreading into microplastics when it degrades, thus causing negative impacts on the various environments, for the economy and also for public health. In order to achieve the objectives set out in this dissertation, a self-completion questionnaire was used in order to ask users belonging to the ISEL community, regardless of the functions developed in it. All respondents were over 16 years old and showed literacy for plastics and microplastics.

The results revealed that most people are concerned with the accentuated use of plastic in everyday life, thus, they show interest in changing consumption habits, if more sustainable options are available, as well as the willingness of respondents to participate in activities that promote environmental sustainability for the common good, as well as to adhere to campaigns that encourage behaviours aimed at environmental awareness and education.

Keywords: Plastics, Microplastics, Environment, Waste, Recovery

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRAT	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xii
LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. PLÁSTICOS E MICROPLÁSTICOS	6
2.1. Conceito e Classificação.....	6
2.2. Enquadramento Legal.....	9
2.3. Caracterização Química e Física	11
2.3.1. Termoplásticos	12
2.3.2. Termoendurecíveis	14
2.3.3. Aditivos	17
2.3.4. Propriedades	25

2.4.	Produção de Plásticos e Microplásticos.....	28
2.5.	Impactos da poluição por plásticos e microplásticos	30
2.5.1.	Plásticos de uso único.....	31
2.6.	Gestão de Resíduos de Plásticos e microplásticos	32
2.6.1.	Prevenção.....	33
2.6.2.	Reutilização	34
2.6.3.	Reciclagem	34
	Eliminação	35
3.	TÉCNICAS DISPONÍVEIS PARA VALORIZAÇÃO MATERIAL.....	36
3.1.	Reciclagem Primária.....	36
3.2.	Reciclagem Secundária.....	37
3.2.1.	Triagem e separação dos plásticos.....	38
3.2.2.	Moagem	39
3.2.3.	Lavagem	39
3.2.4.	Aglutinação.....	41
3.2.5.	Secagem.....	41
3.2.6.	Processamento por Extrusão.....	42
3.2.7.	Produto Final	42
3.2.8.	Qualidade dos Plásticos Reciclados	43
3.3.	Reciclagem Terciária ou Química	45
3.3.1.	Despolimerização Química	46

3.3.2.	Gaseificação.....	55
3.3.3.	Liquefação Indireta.....	55
3.3.4.	Fundição de Ferro	56
3.3.5.	Fabrico de Coque.....	57
3.3.6.	Pirólise.....	58
3.3.7.	Hidrocracking	61
3.3.8.	Craqueamento catalítico de fluido (FCC).....	62
3.4.	Valorização Energética ou Reciclagem Quaternária.....	63
3.4.1.	Incineração.....	65
3.4.2.	Coincineração	66
4.	METODOLOGIA.....	67
4.1.	Delineamento.....	67
4.2.	Contexto Metodológico	68
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	71
5.1.	Dados Sociodemográficos	71
5.2.	Dados Referentes Às Respostas Para Os Resíduos De Plásticos	75
5.3.	Dados Referentes às Respostas para os Resíduos de Microplásticos.....	86
6.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
	ANEXOS.....	122
	Anexo A. Poster Fórum Química 2021	122

Anexo B. Inquérito sobre Resíduos de Plásticos e Microplásticos - ISEL	123
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de classificação dos Resíduos.....	6
Figura 2 - Aditivos Protetores	19
Figura 3 - Aditivos modificadores de propriedades mecânicas.....	20
Figura 4 - Aditivos Compatibilizadores	21
Figura 5 - Aditivos para dar cor e pigmentar	23
Figura 6 - Aditivos de base Biológica	24
Figura 7 - Propriedades térmicas vs temperaturas.....	26
Figura 8 - Produção de plásticos a nível mundial e na Europa	28
Figura 9 - Demanda de plásticos por setor	29
Figura 10 - Produção de plástico por tipo.	29
Figura 11 - Hierarquia da gestão de resíduos	33
Figura 12 - Metas de reciclagem para os resíduos de Plástico	35
Figura 13 - Esquema tipo das diferentes fases de reciclagem mecânica de plásticos ...	38
Figura 14 - Símbolos usados na identificação dos resíduos de plásticos	39
Figura 15 - Processos de reciclagem química	46
Figura 16 - Tipos de hidrólise	52
Figura 17 - Produtos do fabrico de coque, por meio de resíduos sólidos de plásticos..	58
Figura 18 - Taxa de Respostas do Inquérito	70
Figura 19 - Distribuição percentual referente ao género dos inquiridos	72
Figura 20 - Distribuição percentual da faixa etária dos inquiridos	73

Figura 21 - Distribuição percentual da função dos inquiridos	74
Figura 22 - Distribuição Percentual do grau acadêmico dos inquiridos.....	75
Figura 23 – Respostas dos inquiridos em relação à importância que dão à tipologia de embalagens	76
Figura 24 – Respostas dos inquiridos referente à falta de opção em relação a embalagens que necessariamente têm que ser de plásticos	77
Figura 25 – Frequência absoluta das respostas obtidas em relação à utilização de plásticos de uso único	77
Figura 26 – Frequência relativa referente ao comportamento dos inquiridos em relação à ida às compras	79
Figura 27 - Frequência absoluta de respostas do uso de utensílios de plásticos	80
Figura 28 – Frequência absoluta das embalagens de plásticos que são reutilizadas	82
Figura 29 – Distribuição Percentual do local onde os resíduos de plásticos são depositados	82
Figura 30 – Frequência relativa de respostas em relação à eliminação dos resíduos de plásticos	84
Figura 31 – Frequência relativa das respostas dos inquiridos em relação às suas opiniões quanto às ações que podem aumentar ou diminuir a produção de resíduos de plásticos	86
Figura 32 - Expressão do grau de consciência da presença dos microplásticos no dia a dia	87
Figura 33 - Probabilidade de trocar produtos de higiene pessoal e doméstica que eventualmente tenham microplásticos por outros que não tenham	88
Figura 34 - Respostas dos inquiridos em relação à observação de microplásticos na praia	89

Figura 35 - Frequência relativa de respostas em termos de literacia para os microplásticos	91
Figura 36 - Ações que os inquiridos se dispõem a fazer para reduzir o impacte negativo que os microplásticos causam.....	92
Figura 37 - Respostas referentes à pergunta: Os microplásticos têm impactos negativos sobre a saúde do homem e dos outros seres vivos?.....	93
Figura 38 - Produtos que contêm microplásticos vs respostas dos inquiridos	94
Figura 39 - Opinião dos inquiridos no que concerne à redução dos impactos ambientais da proliferação dos microplásticos, à escala global.....	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Resíduos de Plásticos	6
Tabela 2 – Legislação aplicável aos resíduos de plásticos	10
Tabela 3 - Termoplásticos e suas aplicações	12
Tabela 4 - Termoendurecíveis e as suas aplicações.....	15
Tabela 5 - Caracterização física das categorias de plásticos	16
Tabela 6 - Compatibilidade entre os diferentes plásticos	44
Tabela 7 - Influência dos catalisadores no processo de Glicólise do PET	49

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno - “Acrylonitrile butadiene styrene resin”
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
EG	Etilenoglicol
HDPE	Poliétileno de alta densidade - “High density polyethylene,”
HIPS	Poliestireno de alto impacto - “High Impact Polystyrene”
LDPE	Poliétileno de baixa densidade - “low density Polyethylene”
PA	Poliamida - “Polyamides”
PBT	Polibutileno tereftalato - “Polybutylene terephthalate”
PC	Policarbonato - “Polycarbonate”
PE	Poliétileno - “Polyethylene”
PET	Poliétileno tereftalato - “Polyethylene terephthalate”
PMMA	Polimetacrilato de metilo - “Polymethyl methacrylate”
POM	Polióxido de Metileno - “Polyoxymethylene”
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes - “Persistent Organic Pollutants”
PP	Polipropileno - “Polypropylene”
PS	Poliestireno - “Polystyrene”
PSE	Poliestireno Expandido - “Expandable polystyrene”
PUR	Poliuretano - “Polyurethane”
PVC	Policloreto de vinila - “Polyvinyl chloride”
SAN	Copolímero Estireno-Acrilonitrila - “Styrene-acrylonitrile copolymer”
UE	União Europeia
UP	Universidade do Porto
UNEP	Programa das nações Unidas para o Meio Ambiente – United Nations Environment Programme

WWF

World Wildlife Fund

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Segundo a PlasticsEurope (2020) o “Plástico é o termo usado para descrever uma ampla gama de materiais sintéticos ou semi-sintéticos usados em uma enorme e crescente variedade de aplicações”. O termo plástico é derivado das palavras gregas *plastikos* e *plastos*, que significam respetivamente adequado para moldagem e moldado, as quais se referem à maleabilidade do material durante a fabricação, o que permite que o plástico seja fundido ou prensado numa variedade de formas como: filmes, fibras, placas, tubos, garrafas, caixas, etc. (Monteiro, 2012).

Os plásticos são classificados de várias formas: segundo a sua composição podem ser copolímeros e homopolímeros (Leite, 2019); de acordo com o seu comportamento térmico, Eyerer (2015) classifica os plásticos como termoplásticos, elastómeros e termoendurecíveis. Outros estudos classificam-nos apenas como termoplásticos e termoendurecíveis, sendo esta a classificação adotada nesta dissertação, (Cabral, 2018; Kesti & Sharana, 2019).

Existe uma enorme variedade de plásticos, porém cerca de 90% são constituídos por um pequeno grupo que integra Polietileno de alta densidade (HDPE), Polietileno de baixa densidade (LDPE), Polipropileno (PP), Policloreto de vinilo (PVC), Poliestireno (PS) e Polietileno tereftalato (PET) (De, 2020; Kosuth, Mason, & Wattenberg, 2018; UNEP, 2018).

Estima-se que a produção de plásticos, em 2019, a nível mundial, tenha sido de 368 milhões de toneladas, 2% a mais do que no ano anterior, sendo que a maior parte desta percentagem pertence à China, com cerca de 114 milhões de toneladas, correspondente a 31%. A restante quantidade de plásticos distribui-se pelos outros países do mundo. A Europa (UE) com cerca de 57,9 milhões de toneladas, correspondente a 16%, menos 6% do que no ano anterior. Dos países da EU destacam-se a Alemanha como a maior produtora de plásticos, Portugal com um nível baixo e Malta com uma produção pouco expressiva (PlasticsEurope, 2020).

Os plásticos apresentam, várias propriedades que o tornam atrativo para ser usado nas novas tecnologias e na medicina (Rachid & Gungor, 2020), como é o caso peculiar da COVID-19 e em sectores industriais: embalagens 44%, edifícios e construção 18%, automóveis e camiões 8%, equipamentos elétricos e eletrónicos 7%, doméstico lazer e desportos 7%, agricultura 4% e outros 12% (PlasticsEurope, 2022).

Os plásticos têm desempenhado um papel primordial na limitação da propagação da pandemia e na redução das fatalidades da doença, porquanto os equipamentos médicos e de proteção individual são feitos total ou parcialmente com estes materiais (WWF, 2021).

Entre as propriedades dos plásticos destaca-se a sua versatilidade, leveza, baixo custo, durabilidade, entre outras (Herberz, Barlow, & Finkbeiner, 2020). A durabilidade faz dos plásticos um material nocivo com impacto socioeconómico e ambiental negativo após o fim de vida útil, que geralmente acontece logo após o uso, principalmente quando se trata dos plásticos de uso único como sacos de supermercado, embalagens de alimentos, garrafas, palhinhas, colheres e recipientes, que representam 50% do lixo marinho (Addamo, Laroche, & Hanke, 2017).

Em paralelo com os plásticos, existem os microplásticos. Os microplásticos são partículas pequenas, algumas invisíveis, com formato esférico ou amorfo, fabricados intencionalmente para incorporarem produtos cosméticos e de cuidados pessoais (Leslie, 2014), com a função de regular a viscosidade, emulsificar, dar opacidade, condicionar a pele, entre outras (UNEP, 2015), podendo ser adicionados a uma variada gama de aplicações, como sabonete, champô, desodorante, pasta de dentes, creme antirugas, hidratantes, creme de barbear, protetor solar, máscara facial, maquiagem e gel de banho infantil (Rettinger & Huber, 2016).

Os microplásticos atingem as águas doces superficiais através da descarga das águas residuais nos meios recetores, que contêm microplásticos resultantes das atividades domésticas, especificamente a utilização de cosméticos e produtos de higiene pessoal, que contribui diariamente com cerca de 15,2 mg *per capita* de microesferas (Kalcíková, Alic, Skalar, Bundschuh, & Gotvajn, 2017), bem como a lavagem de roupas, cortinas e tapetes feitos de materiais sintéticos que contribui com cerca de 1 milhão de t/ano. (Boyle & Örmeci, 2020; Wang *et al.*, 2018).

Os microplásticos podem ainda ser transportados naturalmente pela ação do vento, pelo que já se podem encontrar quantidades significantes de fibras de microplásticos na atmosfera. No ambiente marinho, as atividades antropogénicas propiciam a introdução de microplásticos no oceano, predominantemente no litoral que não resiste à contaminação.

Os microplásticos encontrados nos organismos marinhos são fibras e fragmentos que são ingeridos com muita facilidade pois confundem-se naturalmente com alimentos, por causa do tamanho e da aparência (García, Oliván, Flores, & Reyes, 2019). Contêm na sua composição substâncias químicas classificadas com elevado risco para a saúde humana e ambiental consideradas como persistentes, bioacumuláveis, tóxicas (Groh, et al., 2018), cuja ingestão resulta em problemas diversos para os organismos marinhos: sensação de saciedade, obstrução do trato gastrointestinal, problemas no sistema reprodutor e vulnerabilidade ao cancro, e em casos extremos, a morte (Boyle & Örmeci, 2020; Frias, 2010).

Face a esta problemática que engloba não apenas os plásticos, mas também os microplásticos, como consequência das atividades antropogénicas, é oportuno estudar a valorização destes resíduos a nível tecnológico, de maneira a contribuir para ações que visam a redução do impacto ambiental, bem como a execução da economia circular.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo geral estudar a valorização material e/ou energética dos resíduos de plásticos e microplásticos, sendo dividida nas seguintes etapas:

- ✓ Identificar em termos técnicos, económicos e ambientais, as várias opções tecnológicas de sustentabilidade;
- ✓ Efetuar uma análise às várias vertentes de valorização dos resíduos de plásticos e microplásticos, estabelecendo uma comparação com os resultados de estudos de outros autores; Obter informação e interpretação de comportamentos e atitudes no que concerne à geração e deposição dos resíduos de plásticos e microplásticos.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é dividida em 6 capítulos, organizados da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: espaço onde se apresenta o tema, se explica o seu enquadramento a nível nacional e internacional, bem como a sua relevância no que se refere aos proveitos e aos impactos negativos dos plásticos e micropásticos, e se procede à apresentação dos objetivos a alcançar.

Capítulo 2 - Plásticos e Microplásticos: Este capítulo tem como objetivo a abordagem introdutória teórica relativa aos plásticos e microplásticos, através de alguns estudos realizados com este material. Para esse propósito, efetua-se uma contextualização referente à sua caracterização e apresenta-se a legislação que vigora para regulamentar a indústria de plásticos e microplásticos. Ilustra-se também de forma reduzida a quantidade de plásticos a nível europeu bem como os seus impactos, abrangendo os plásticos de uso único. Por último, aborda-se a gestão de resíduos, visando sempre a prevenção como a preferencial na hierarquia de gestão de resíduos e a deposição em aterro sanitário como a menos favorável.

Capítulo 3 - Técnicas Disponíveis para Valorização Material e/ou Energética de resíduos de plásticos e microplásticos: Neste capítulo pretende-se relatar o atual estado de arte dos diferentes processos de valorização desses materiais, apresentando-se quatro métodos distintos, seus proveitos, bem como os possíveis danos sobre o ambiente.

Capítulo 4 - Metodologia: Este capítulo inclui a explicitação e fundamentação respeitante às opções metodológicas e ao processo investigativo ora desenvolvido.

Capítulo 5 - Apresentação dos Resultados e discussão: Fundamenta-se a problemática dos plásticos e microplásticos, através do estudo realizado, numa perspetiva quantitativa. São analisados os resultados em números, sendo feita também a análise estatística, descrevendo as características da amostra.

Capítulo 6 - Conclusões e Perspetivas Futuras: Apresentam-se as principais conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

No âmbito do presente trabalho foi apresentada uma comunicação em 2021.

2. PLÁSTICOS E MICROPLÁSTICOS

2.1. Conceito e Classificação

Os resíduos de plásticos e microplásticos são todos os materiais plásticos ou microplásticos abrangidos pela definição de resíduo do artigo 3º do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, que define resíduos como substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção de se desfazer, excluindo os resíduos de produção.

Devasahayam, Raju, & Hussain (2019) classificam os resíduos de plásticos em hidrocarbonetos que não contêm heteroátomos, como PE, PP, PS, e hidrocarbonetos que contêm heteroátomos, como PVC (Policloreto de vinila), resina acrilonitrilestireno-butadieno (ABS), PET, entre outros. A União Europeia classifica os resíduos em duas etapas diferentes conforme a figura 1 (APA, 2020a),

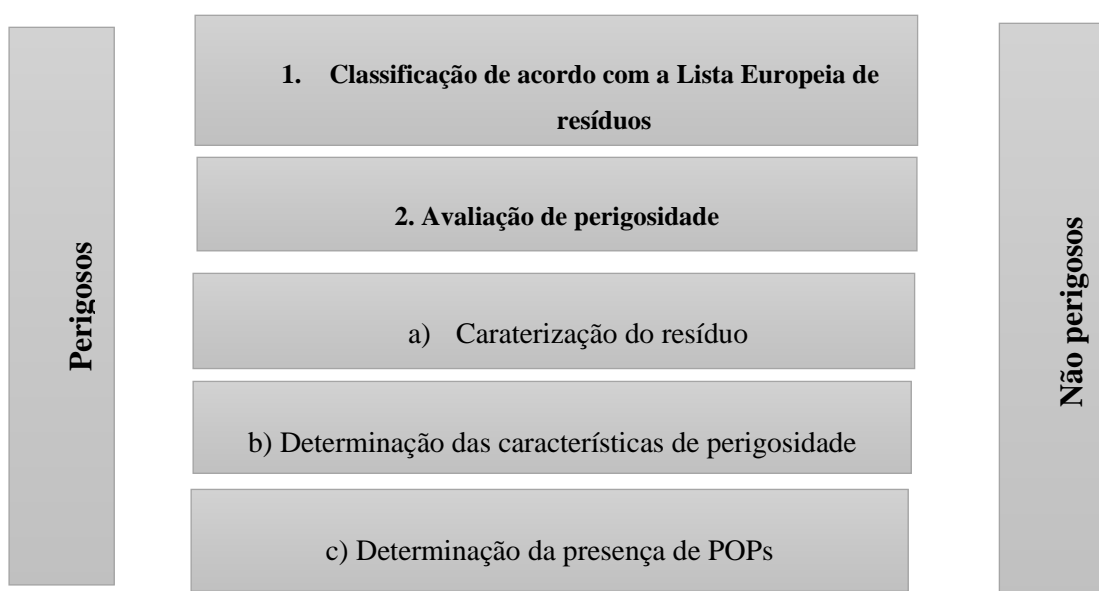


Figura 1 - Processo de classificação dos Resíduos
Adaptada de APA (2020a)

a Comissão Europeia, classifica os resíduos de plásticos como perigosos, não perigosos ou que requerem tratamento especial, como especificado na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Classificação dos Resíduos de Plásticos
(Regulamento Delegado (UE) 2020/2174 da Comissão)

Resíduos de plásticos	Descrição
-----------------------	-----------

Não Perigosos	Que estejam quase isentos de contaminação e de outros tipos de resíduos:
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Polímeros não halogenados ✓ Resinas curadas ou produtos de condensação ✓ Perfluoroalcoxiálcanos
Não perigosos, mas que requerem um tratamento especial	Inclui todos os resíduos de plásticos, e misturas desses resíduos que não são abrangidos pelos resíduos de plásticos não perigosos e pelos resíduos de plásticos perigosos.
Perigosos	Resíduos de plásticos, incluindo misturas desses resíduos, que contêm ou estão contaminados por constituintes do anexo I, num teor que lhes confira diferentes características abrangidas pelo anexo III do Regulamento Delegado (EU) 2020/2174

Concomitantemente, os microplásticos, que por um lado originam os plásticos, e por outro são originados por plásticos pós consumo, são designados, conforme as suas origens como microplásticos primários e microplásticos secundários (Parlamento Europeu, 2018).

Microplásticos de origem primária – microplásticos fabricados propositadamente para ter o tamanho de 1 a 5 mm (GESAMP, 2015). Esta origem inclui pós e *pellets* para indústrias (UNEP, 2018a) que representam cerca de 15-31% dos plásticos encontrados nos oceanos (Parlamento Europeu, 2018).

Os *pellets* alimentam a indústria de plásticos, correspondendo a 85% dos microplásticos primários com diâmetro compreendido entre 2 a 5 mm ou em forma de pó. Entram para o ambiente por meio de incidentes de escala pequena a grande, durante o ciclo produtivo (fabricação, processamento, transporte e reciclagem) (Boucher & Friot, 2017).

O processo de sedimentação húmida também é responsável pela introdução de microplásticos no ambiente, por meio do escoamento de águas pluviais, bem como através de lixiviados de aterros sanitários (Ngo, Pramanik, Shah, & Roychand, 2019);

As marcas rodoviárias horizontais, aplicadas durante o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária e sua manutenção, também originam microplásticos, decorrentes do processo de abrasão ou intempéries (Boucher & Friot, 2017), provocado pelos materiais que são normalmente utilizados para tal, como: tinta líquida de solvente orgânico do tipo acrílico ou alquídico de um ou dois componentes para marcas com uma camada fina; material termoplástico – massas fundíveis para marcas com espessura de 2 a 3 mm; material plástico de aplicação a frio – argamassas acrílicas com espessuras de 3 mm (Vicente, 2005; Rodrigues, Roque, & Macedo, 2008; Marques, 2016).

Os revestimentos marítimos também são geradores de microplásticos primários que podem ser facilmente injetados no mar por meio das embarcações comerciais ou de lazer, aquando do processo de construção (pré-tratamento de superfície), manutenção, reparo e uso, assim como em situação de intempéries ou acidentes, durante a aplicação de revestimentos e descarte (Boucher & Friot, 2017).

Os produtos de higiene pessoal como os cosméticos e outros produtos de cuidados pessoais contêm microesferas de plástico e as suas embalagens, também plastificadas, detêm milhares de microesferas por grama de produto. O uso clássico de produtos de higiene pessoal resulta na introdução direta de partículas de plástico em fluxos de águas residuais oriundas de residências, hotéis, hospitais, instalações desportivas e praias (Boucher & Friot, 2017).

Microplásticos de origem secundária - plásticos que sofrem muita fricção, podendo desenvolver, por isso, fissuras superficiais, transformando-se em fragmentos que progressivamente se tornam menores, dando origem a microplásticos secundários (GESAMP, 2015). Nesta fonte secundária de microplásticos incluem-se os têxteis sintéticos que, quando sujeitos a lavagem em lavandarias industriais ou domésticas, libertam, através do processo de abrasão, um conjunto de fibras de PE acrílico ou elastano (Boucher & Friot, 2017). De tamanho microscópico e com capacidade para flutuar, essas fibras menos densas que a água passam pelos filtros de malha grossa e fina, instalados geralmente a jusante nas ETAR, para o tratamento primário, o qual normalmente remove sólidos em suspensão sedimentáveis (Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque, 2016), sendo, contudo, insuficiente para a remoção dessas partículas menos densas que a água

que passam despercebidas num tratamento secundário, que tem como objetivo central a remoção de matéria orgânica (Decreto-Lei nº 152/97), chegando aos massas de água natural que recebem o efluente (UNEP, 2016).

Os pneus são uma fonte importante de microplásticos de origem secundária. Quando estão a ser usados, sofrem abrasão nas partes externas e soltam partículas compostas por estireno butadieno (aproximadamente 60%), uma mistura de borracha natural e muitos outros aditivos. A poeira de pneu é transportada pelo vento e pela chuva (Boucher & Friot, 2017).

City Dust (pó da cidade) – é o nome genérico dado a um grupo de nova fontes de microplásticos primários recentemente identificadas. Inclui perdas por abrasão de objetos (solas de sapatos sintéticas, utensílios domésticos sintéticos), infraestrutura (poeira doméstica, poeira urbana, gramados artificiais, portos e marina), bem com

derramamento intencional (detergentes). Estas fontes são agrupadas porque a sua contribuição individual é irrelevante, mas, em grupo, representam uma quantidade considerável (Boucher & Friot, 2017).

2.2. Enquadramento Legal

À medida que os anos passam, nota-se uma constante e preocupante degradação ambiental, que, em parte, se deve ao frequente e acentuado crescimento económico que tem tido uma escala ascendente, exigindo uma maior regulamentação da sociedade, no que tange aos resíduos de plásticos e microplásticos, a exemplo do que acontece em diversas áreas.

Os resíduos plásticos e microplásticos têm-se acumulado de tal forma que exigiu a criação de uma área de estudo com relevância a nível internacional, englobada no 12º Objetivo do desenvolvimento sustentável “Produção e Consumo Sustentáveis” como parte do plano estabelecido para ser alcançado em dez anos “Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização”, bem como no 14º Objetivo do desenvolvimento sustentável “Proteger a

Vida Marinha”, “Até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marítima de todos os tipos, especialmente a que advém de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes” (INE, 2018). Tendo em conta estes objetivos, a União Europeia (UE), da qual Portugal é membro, reúne-se em parlamento para aprovar diretivas que estabelecem medidas que corroborem para uma UE mais sustentável, sendo que a Diretiva Quadro Estratégia Marinha (DQEM) criada pela Comissão Europeia (CE), a 17 de junho de 2008, constitui o pilar ambiental da política marítima integrada e determina que os “Estados-Membros devem elaborar e implementar estratégias para as águas marinhas sob soberania ou jurisdição nacional, de modo a alcançar o Bom Estado Ambiental do meio marinho até ao ano de 2020”. A esta junta-se a Diretiva 2019/904 do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de junho de 2019 “relativa à redução do impacto de certos produtos de plásticos”.

Assim, em Portugal, existem seguintes documentos legais no que se refere aos resíduos de plásticos (

Tabela 2).

Tabela 2 – Legislação aplicável aos resíduos de plásticos

Regulamentação	Descrição
Leis	<p>➤ Lei n.º 69/2018, de 26 de dezembro</p> <p>“Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro, relativo ao Regime Unificado dos Fluxos Específicos de Resíduos, instituindo um sistema de incentivo à devolução de embalagens de bebidas em plástico não reutilizáveis, a implementar até 31/12/2019, e um sistema de depósito de embalagens de bebidas em plástico, vidro, metais ferrosos e alumínio não reutilizáveis, obrigatório a partir de 01/01/2022”.</p> <p>➤ Lei n.º 76/2019, de 2 de setembro</p> <p>“Determina a não utilização e não disponibilização de louça de plástico de utilização única nas atividades do setor de restauração e/ou bebidas e no comércio a retalho”.</p>

	<p>➤ Lei n.º 77/2019, de 2 de setembro</p> <p>“Disponibilização de alternativas à utilização de sacos de plástico ultraleves e de cuvetes em plástico nos pontos de venda de pão, frutas e legumes”.</p>
Decreto-Lei	<p>➤ Decreto-Lei nº 152-D/2017 de 11 de dezembro</p> <p>“Unifica o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor” com 8 alterações, sendo a mais recente a Lei n.º 52/2021, de 10 de agosto.</p> <p>➤ Decreto-Lei nº 78/2021 de 24 de setembro</p> <p>“Transpõe a Diretiva (UE) 2019/904, relativa à redução do impacto de determinados produtos de plástico no ambiente, e que altera as regras relativas aos produtos de plástico nos pontos de venda de pão, frutas e legumes”.</p>
Portarias	<p>➤ Portaria nº 202/2019 de 3 de julho</p> <p>“Define os termos e os critérios aplicáveis ao projeto-piloto a adotar no âmbito do sistema de incentivo ao consumidor para devolução de embalagens de bebidas em plástico não reutilizáveis”.</p>
Resolução do Conselho de Ministros	<p>➤ Resolução do Conselho de Ministros nº141/2018 de 26 de outubro</p> <p>“Aprova medidas tendentes à promoção da utilização mais sustentável de recursos e à adoção de soluções circulares na Administração Pública, promovendo a redução do consumo de produtos de plástico”</p>

2.3. Caracterização Química e Física

Os resíduos de plásticos e microplásticos são quimicamente caracterizados pela sua composição inicial. Contudo, por terem entrado em contacto com outros tipos de materiais ou poluentes, podem conter substâncias que eventualmente tenham aderido aos mesmos, pois apresentam uma grande capacidade de absorção de compostos de alta toxicidade, substâncias tóxicas hidrofóbicas, bem como poluentes orgânicos persistentes

(POP) (Wu, Yang, & Criddle, 2017). Tanto os microplásticos, como os plásticos são formados por polímeros que são macromoléculas resultantes da polimerização (união de moléculas iguais ou diferentes) de monômeros (uma das unidades moleculares que formam polímeros) (Dias, 2020). Baseando-se nas suas propriedades térmicas, os plásticos podem ser divididos em termoplásticos e termoendurecíveis (Kesti & Sharana, 2019).

Termoplásticos

Os termoplásticos são materiais plásticos constituídos por macromoléculas orgânicas simples, sem ligações cruzadas entre as cadeias. São maleáveis quando aquecidos, moldados ou enformados sob pressão no seu estado fundido e solidificam quando arrefecidos, o que permite que seja retida a forma. Por esta transformação ocorrer apenas nas características físicas, sem comprometer as características químicas, o processo pode ser reversível e repetitivo. Porém, quando este processo é submetido a uma repetição constante, provoca envelhecimento térmico do material, o que limita o número de ciclos de reaquecimento, dada a eventual degradação do material (Santos, 2009; Klein, 2011). Dependendo do tipo de estrutura, os termoplásticos podem variar de transparência ótica a opaca, permitindo grande variedade de materiais plásticos. Estes materiais podem ser de três tipos (Klein, 2011): Cristalinos (PP, LDPE, HDPE), Amorfos (PVC, PMMA, PC, PS, ABS), Semi-cristalinos (PBT, PA, PAI, POM) (Klein, 2011; Grigore, 2017).

Dos plásticos produzidos, cerca de 90% reporta-se a materiais termoplásticos, sendo descrito na **Tabela 3**, alguns termoplásticos mais comuns e as suas aplicações (Santos, 2009).

Tabela 3 - Termoplásticos e suas aplicações

Termoplástico	Aplicação	Referência
PP	Isolante térmico e elétrico; Redes de distribuição para água fria e quente Mobiliário de jardim; Sacos industriais, filmes de embalagem, barris industriais, roupa de laboratório;	(Letras, 2008) (Russo C. , 2009)
LDPE	Embalagens de leite, água, sumo, embalagens de óleo de cozinha, óleo lubrificante, barris	(Kesti & Sharana, 2019)

	industriais, contentores de recolha de resíduos.;	(Letras, 2008)
HDPE	Coinfecção de baldes e bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, contagotas para bebidas, jarros de água, potes para alimentos, assentos sanitários, tampas para garrafas, caixas plásticas para transporte, boias, caixas de água; Bombas, tanques e tambores, embalagens para detergentes, cosméticos, defensivos agrícolas, sacos para congelados, tubos para distribuição de gás, dutos para mineração, barbantes de costura, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercados;	(Segorbe, 2010)
PET	Fibras de vestuário, tanques, garrafas, material de construção, embalagens; Filme para tela sensível ao toque;	(Panowicz, et al., 2021) (Thomas, Kanny, Thomas, Rane, & Abitha, 2018)
PVC	Roupas de couro artificial; Sistemas de tubos de pressão para dutos nas indústrias de água e esgoto, canos, tubos, hastes, coberturas de arame, revestimentos, filamentos, formas fundidas;	(Letras, 2008) (Martins, Freire, & Hemadipour, 2009)
PMMA	Fibras óticas poliméricas (FOP), sensores medicinais, eletrônica de veículos, automação industrial, sensores para indústria, iluminação;	(Bartoli, 2016)
PC	Lentes de óculos, janelas, retardador de chama, CDs, DVDs, setor automobilístico, celular, telefone e peças de laptop;	
PS	Painéis de automóveis e outros;	(Letras, 2008)
ABS	Brinquedos, telefones, capacetes de segurança; Em veículos: painéis interiores, pilares, assentos, grelhas, painéis de instrumentos, carcaças para espelhos, coberturas para tratores;	(Resinex, 2022a) (Bano, Iqbal, Ramzan, & Farooq, 2021)

Nos Equipamentos Elétricos e Eletrônicos:
carcaças para aparelhos de cozinha,
aspiradores, painéis de controlo de produtos
de linha branca, interiores para frigoríficos;

Sector de construção: lâminas, bases de
duche, orlas para mobiliário;

PBT	Indústria de automóveis e camiões: componentes de sistemas de ignição, componentes de sistemas elétricos, sensores, cobertura e isolamento de motores;	(Pereira G. C., 2016) (Resinex, 2022a)
	Equipamentos elétricos e eletrônicos: conectores, bobinas, disjuntores, luminárias, interruptores, pegas e bases;	
PA	Redes de pesca, cordas de para-quedas, coletes a prova de bala, tecidos (cortinas, tapetes, roupas, meias elásticas, produtos resistentes ao fogo), partes de máquinas, pneus para veículos, sutura cirúrgica, etc;	(Vagholkar, 2016)
POM	As suas mais usuais aplicações são em carcaças de bombas, alojamentos, fechaduras, rodas de impressoras, fieiras para extrusão de massa, roldanas, polias, engrenagens, parafusos, molas, correntes, pegas, acessórios para mobiliários.	(Silva C. H., 2003) (Resinex, 2022a)

Termoendurecíveis

Os materiais termoendurecíveis são compostos cujas cadeias poliméricas estão unidas quimicamente através da reação denominada de cura. Diferenciam-se dos outros polímeros devido à formação de uma ligação rígida com interligações químicas que restringem a mobilidade molecular. As cadeias poliméricas apresentam uma alta densidade de reticulações. As resinas, como comercialmente são conhecidos, apresentam várias vantagens relativamente aos materiais termoplásticos: elevada temperatura de distorção térmica, boa resistência a solventes, boa rigidez, estabilidade dimensional e adaptabilidade aos métodos de processamento, o que permite a sua utilização em diversas aplicações (Capela, 2010).

Esses polímeros não podem ser refundidos e enformados novamente, uma vez que se degradam quando aquecidos a temperaturas demasiado altas, ou seja, não podem ser reciclados, pois a sua mudança é irreversível (Capela, 2010; Kesti & Sharana, 2019).

Na **Tabela 4** são apresentados os materiais termoendurecíveis mais usuais, as suas propriedades e aplicabilidades.

Tabela 4 - Termoendurecíveis e as suas aplicações

Termoendurecíveis	Aplicação	Referência
PU	Elastómeros, borrachas, fibras, espumas rígidas ou flexíveis, adesivos, selantes, revestimentos para tecidos e superfície; Medicina: cimento ósseo para implantes de próteses e reparador de perdas ósseas; Estética: é utilizado em forma de fios muito finos para amenizar rugas de expressão e combater a flacidez da pele;	(Coutinho & Delpech, 1999) (Souza, 2013) (Cangemi, Santos, & Neto, 2009)
Poliésteres insaturados	Revestimentos de alto brilho, materiais isolantes, sistemas de distribuição de fármacos, em botes, iates, barcos de trabalho, piscinas, tanques de água;	(Davallo, Pasdar, & Mohseni, 2010) (Farmer, Castle, Clark, & Macquarrie, 2015) (Dholakiya, 2012)
Resinas de Epoxi	Colas, filtros, cartuchos, revestimentos, compostos de fibra reforçada, assoalhos, pavimentos, adesivos, moldes, tintas e diluentes. Na medicina destaca-se a sua aplicação em dispositivos médicos inovadores, cápsulas para dispensação de fármacos dentro de vasos sanguíneos, bobinas de aneurisma, microatuadores para remoção de coágulos, stents e implante intra gástrico; Noutras áreas, podem ser aplicadas em roupas e embalagens inteligentes, atuadores, utensílios de cozinha, sensores e interruptores;	(Ceron, Einloft, Ligabue, & Lopes, 2010) (Milagres, 2015)

Resinas de Adesivos para exteriores, (Pizzi, 2003)
Melanina-formaldeído e contraplacados e aglomerados;
Melanina-ureia-formaldeído

De modo geral, e como referenciado no ponto 0. , termoplásticos são os polímeros mais usados e que têm maior ênfase na presente dissertação, sendo apresentadas as suas categorias e a sua caracterização na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Caraterização física das categorias de plásticos adaptada de Faraca & Astrup (2019)

Categorias	Caraterização das categorias
Aplicação do Produto	Oito categorias: <ul style="list-style-type: none">✓ Embalagens para o setor de alimentos✓ Embalagens não alimentar✓ Elétrica e eletrónica✓ Farmacêutica✓ Brinquedos✓ Construção✓ Automóveis
Qualidade	Três categorias: <ul style="list-style-type: none">✓ Alta qualidade (inclui embalagens de alimentos)✓ Média qualidade (inclui embalagens do sector elétrico e eletrónico, produtos farmacêuticos e brinquedos)✓ Baixa qualidade (inclui embalagens não alimentar, construção e automóveis)
Tipos de polímeros	Sete categorias: <ul style="list-style-type: none">✓ PP✓ PET✓ HDPE✓ LDPE✓ PS✓ PVC✓ Polímeros de engenharia (PAI, ABS, SAN, PC etc.)

Tipos de Produtos	✓ Descrição detalhada do item (por exemplo: caixa de doces, tubo corrugado, placa de carro)
Cor	Três categorias: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transparentes ✓ Pretos ✓ Coloridos
Presença de Impurezas	Três categorias: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Extravios: produtos não plásticos (latas de metal, mesa de madeira, espelho) ✓ Materiais Interferentes: peças de material não plástico ligadas ao produto plástico (peças metálicas em brinquedos, etiquetas de papel) ✓ Produtos Multipoliméricos: produtos feitos de duas ou mais partes poliméricas montados em conjunto.
Expetativa de vida útil	Três categorias: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Menos de um ano ✓ Um a dez anos ✓ Mais de dez anos

Aditivos

Os materiais poliméricos puros normalmente apresentam propriedades pobres, que em condições naturais de exposição a fatores, como exposição à luz solar, variação sazonal de temperatura, humidade e contaminação atmosférica com elementos corrosivos, afetam a estabilidade do polímero, pelo que leva à formação de uma camada superficial quebradiça que resulta na impossibilidade de aplicações diversas (Ambroggi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017).

A degradação e o envelhecimento do polímero são dois dos obstáculos mais assustadores para o uso de materiais poliméricos a longo prazo. Os aditivos cumprem um papel importante não só no processamento dos plásticos, mas também nas suas aplicações. A incorporação de aditivos torna os polímeros materiais adequados para múltiplas

aplicações no mercado de plástico. Segundo o Regulamento (UE) N°10 (2011), um aditivo é “uma substância que é intencionalmente adicionada aos plásticos para atingir um efeito físico ou químico durante a transformação do plástico ou no material ou objeto final; destina-se a estar presente no material ou objeto final”. Os aditivos tradicionais são adicionados na forma de pó, e embora isso possa causar problemas de higiene e manuseio, apenas alguns dos aditivos são adicionados na forma líquida (Regulamento (UE) N°10, 2011; Ambroggi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017).

Com o uso dos aditivos, o desempenho dos polímeros melhorou bastante, bem como a sua vida útil, abrindo portas para novas e inovadoras formas de produção. Alguns aditivos fornecem melhorias de desempenho de processamento e fabricação, outros permitem que os materiais tenham uma variedade de propriedades aprimoradas. Desta forma, os aditivos podem proporcionar melhorias consideráveis na estabilidade do polímero, agir contra a tensão superficial, obter melhor resistência ao impacto, aumentar ou diminuir a dureza, facilitar a moldagem por extrusão, reduzir custos, bem como elevar a resistência à chama, permitindo inibir alterações químicas, evitar alterações nas propriedades físicas e reduzir ou aumentar o brilho da superfície, consoante a necessidade (Fox, 2008; Ober, 2012).

Existem vários tipos de aditivos, sendo objeto de discriminação nesta dissertação não só os que são mais frequentemente utilizados, mas também as suas diversas aplicações.

- a) **Aditivos protetores** - são aqueles que protegem os polímeros de condições naturais como a exposição à luz solar, variações sazonais de temperatura, humidade, contaminação atmosférica com elementos corrosivos, conforme a **Figura 2** (Ambroggi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017).

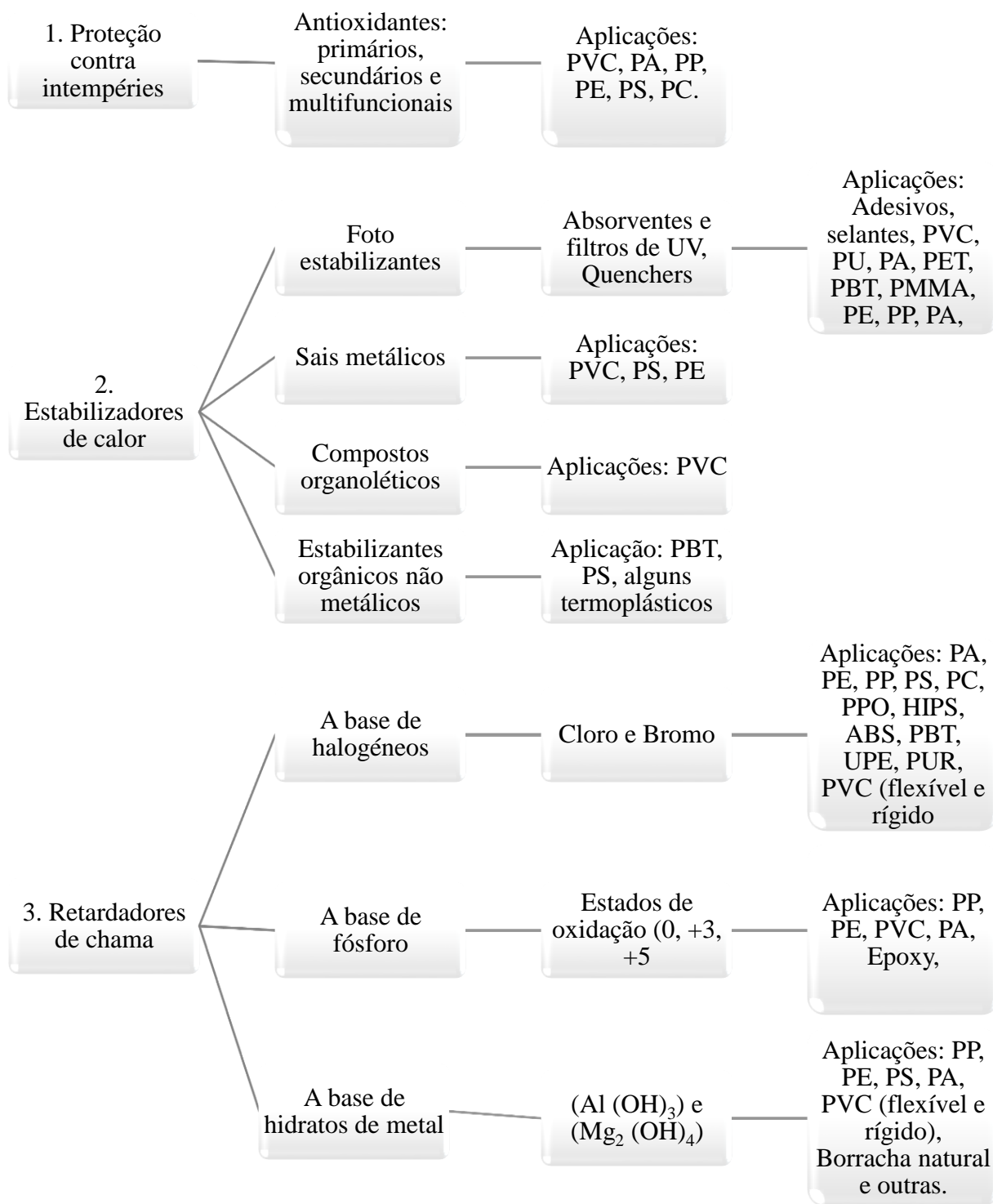


Figura 2 - Aditivos Protetores

b) **Aditivos modificadores de propriedades mecânicas** - dividem-se em plastificantes e modificadores de impacto.

- Os plastificantes são os que melhoram a flexibilidade, extensibilidade e processabilidade. São usados em polímeros que estão em estado vítreo a temperatura ambiente.
- Os aditivos modificadores de impacto têm o propósito de absorver a energia do mesmo, induzindo a deformação plástica antes que ocorra a iniciação e a propagação da trinca (Ambrogi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017) (**Figura 3**).

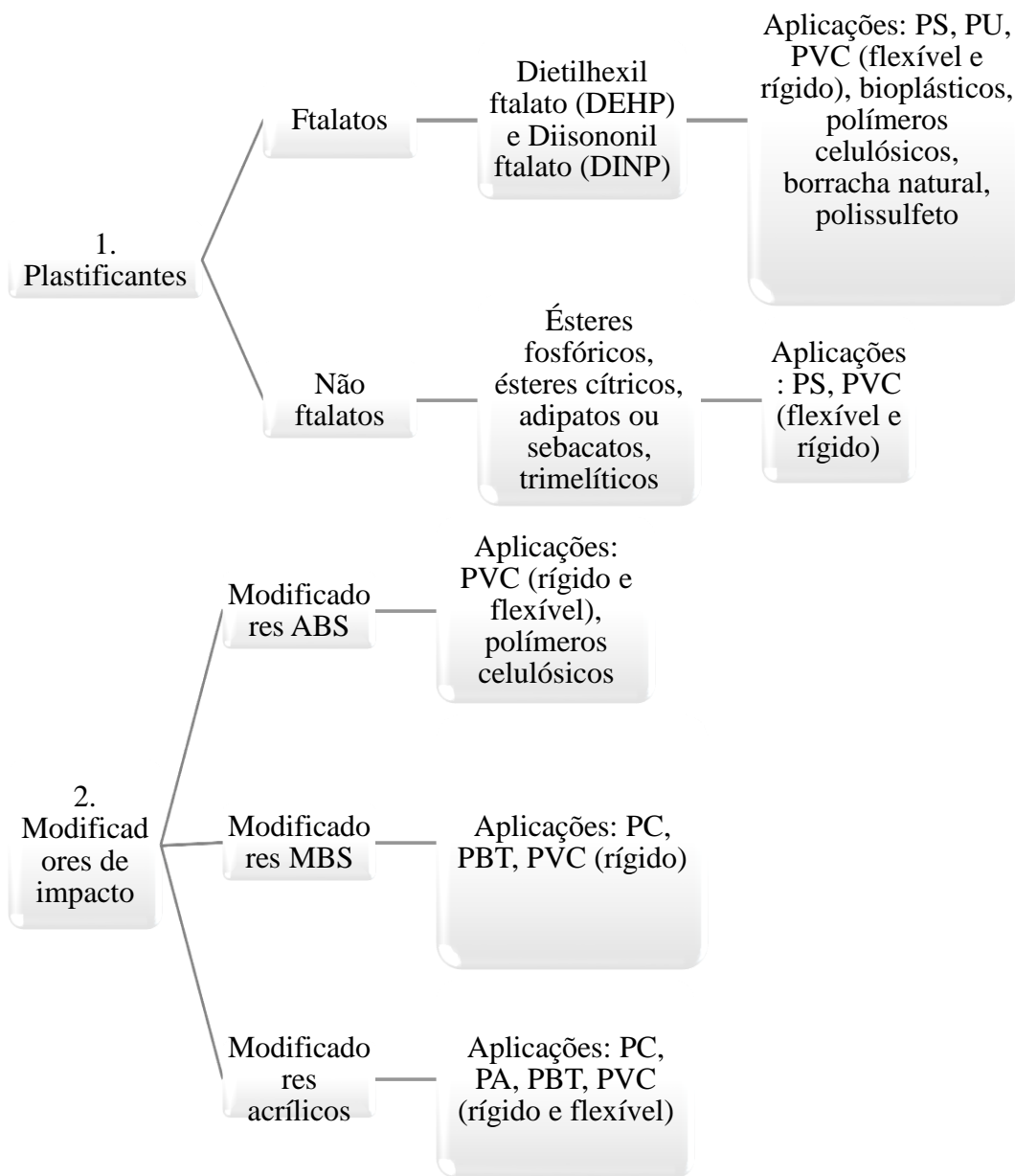


Figura 3 - Aditivos modificadores de propriedades mecânicas

c) **Compatibilizadores** - são aditivos que permitem o desenvolvimento de novas matérias poliméricas, bem como a mistura das melhores propriedades de vários polímeros. Estratégia mais barata e menos demorada, tem sido atualmente muito usada na indústria de reciclagem de polímeros (Ambrogi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017). A **Figura 4** **Figura 6a 3** mostra alguns tipos de aditivos e suas principais aplicações.

1. Ken-React (20% pellet ativo, 65% pó ativo, 100% líquido ativo)	Misturas de HDPE / PP, reciclagem pós-consumo, termoplásticos
2. Elastómero à base de propileno Vistamaxx	Polisobutileno (PIB), estireno isopreno estireno (SIS), PVC.
3. Resinas poliméricas Exxelor	Polímeros polares e poliolefinas mais comumente usados
4. Fusabond M603, E226, P353.	PE/ PA, PE/ EVOH, PA/ EVOH/ PE, PP/PA, PP/EVOH/PP
5. Bynel 41E710	PE/EVOH, PA/EVOH/PE
6. Elvaloy PTW	Reciclagem: Poliésteres / PE
7. Arkema	Poliamida / poliolefina
8. Estirénicos	Polipropileno / Poliestireno ou PPE, Nylon / Polietileno ou Nylon / Polipropileno, Nylon / Poliestireno ou PPE, Polipropileno / Polietileno

Figura 4 - Aditivos Compatibilizadores

d) **Aditivos corantes e pigmentos** - são usados para dar cor aos plásticos, pelo que existe uma ampla gama de cores. A principal diferença entre corantes e pigmentos é que os corantes são solúveis em água e não são solúveis em solventes orgânicos, ao passo que os pigmentos são solúveis nos dois tipos de líquido (Ambrogi, Carfagna, Cerruti, & Marturano, 2017). As mais diversas aplicações estão discriminadas na **Figura 5**.

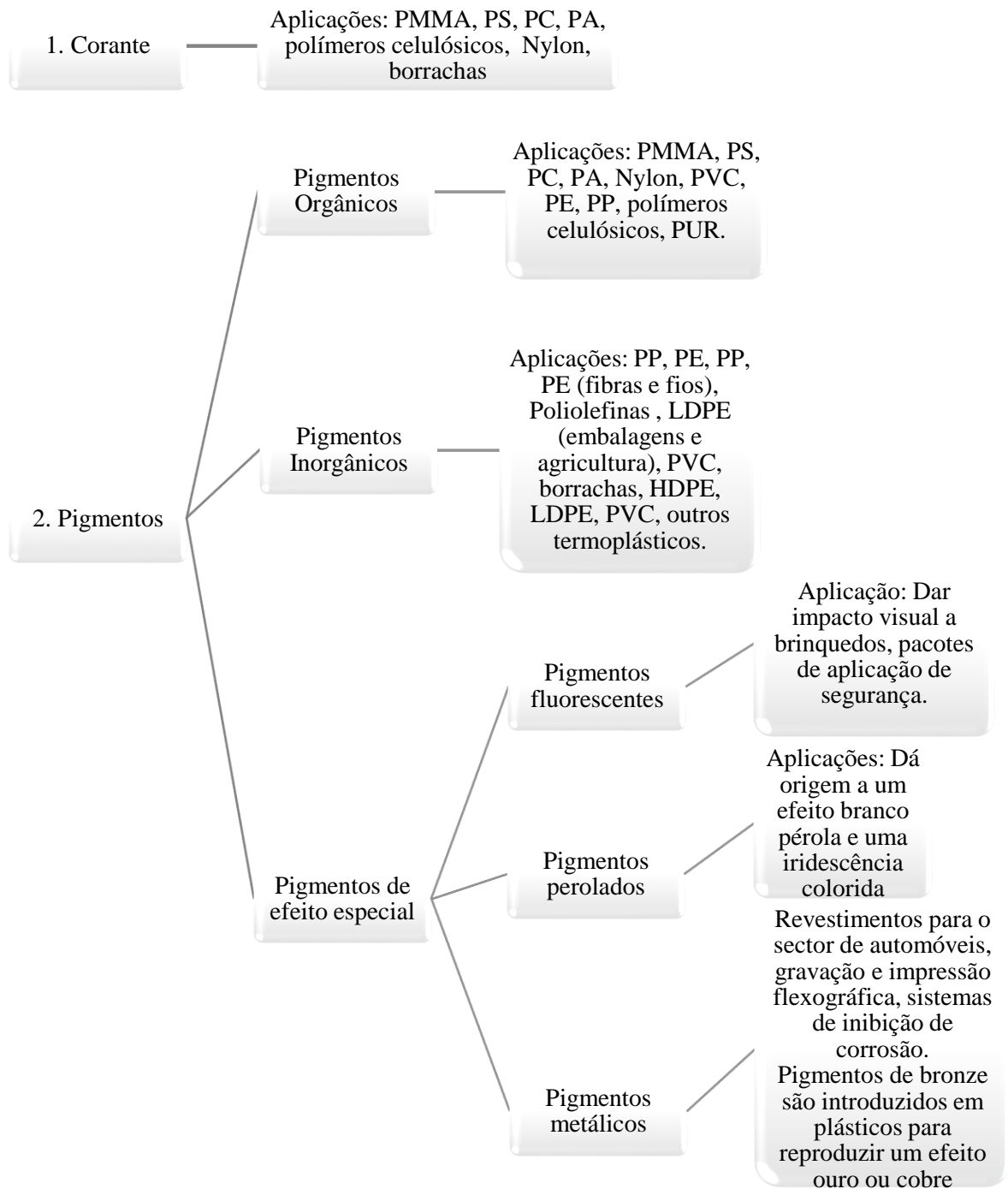


Figura 5 - Aditivos para dar cor e pigmentar

- e) **Aditivos de base biológica** - têm sido cada vez mais estudados com o objetivo de substituir os aditivos sintéticos à base de óleo, sendo o mais comum o aditivo à base de soja, conforme **Figura 6**.

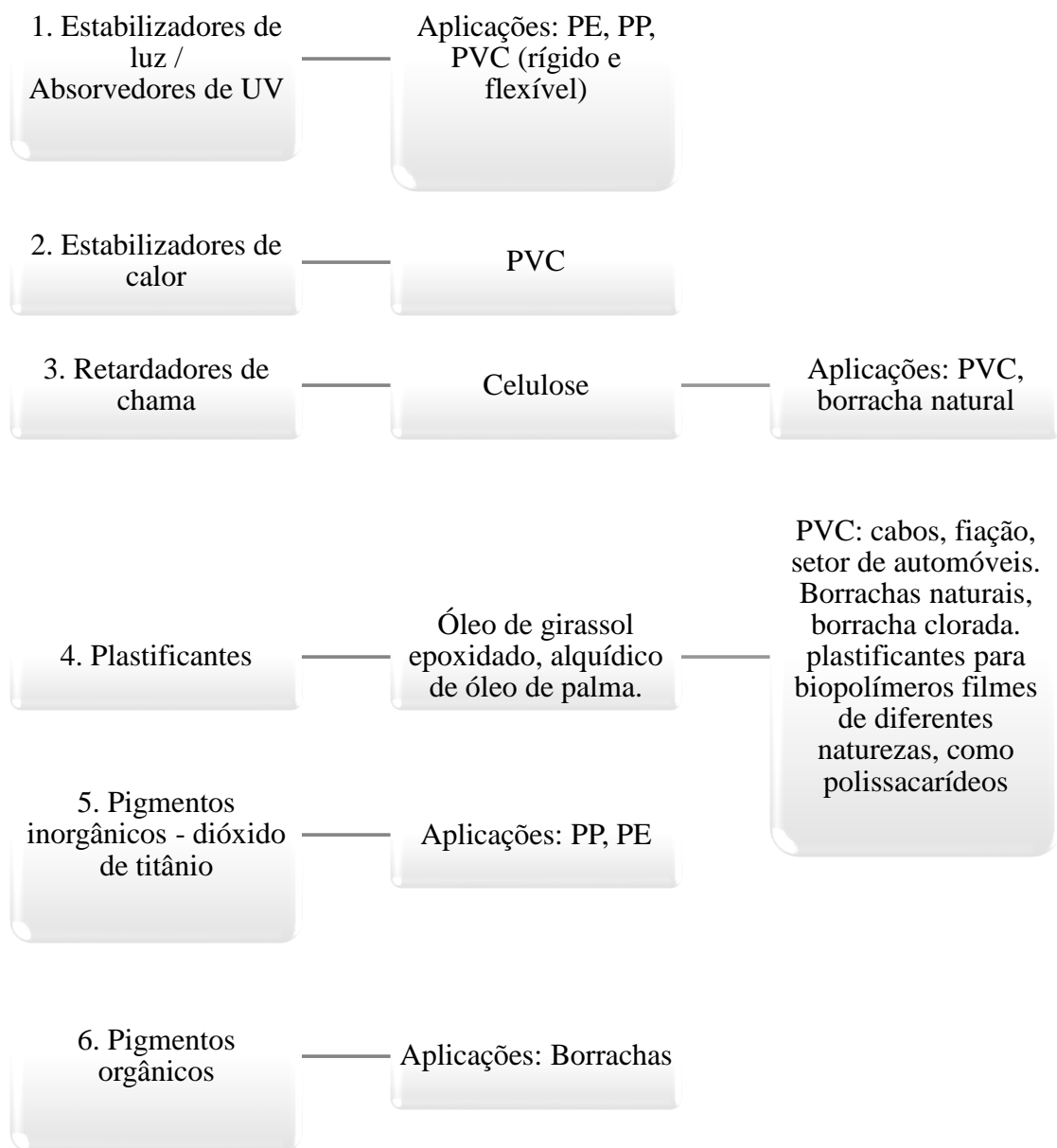


Figura 6 - Aditivos de base Biológica

Muitos aditivos ora apresentados são usados em combinações uns com os outros para otimizar o desempenho e criar misturas de polímeros especializadas. A capacidade de personalizar materiais permite usos mais versáteis de material com uma gama mais ampla de aplicações. Isto é especialmente importante para a indústria de embalagens, pois permite que os desenvolvedores criem maneiras inovadoras de projetar novos produtos

de proteção e decoração de embalagens. Há uma infinidade de combinações que permitem produzir diferentes materiais poliméricos. Os avanços tecnológicos, que ocorreram ao longo dos anos, revolucionaram as indústrias de polímeros e embalagens. A capacidade de modificar as propriedades do polímero permite que novos materiais sejam utilizados para melhorar o desempenho, eficiência e proteção das embalagens (Fox, 2008).

2.3.4. Propriedades

2.3.4.1. Nota introdutória

O uso dos plásticos tomou proporções muito elevadas, se comparado ao uso de alumínio e outros metais, por causa das suas propriedades mecânicas, térmicas, óticas e químicas.

2.3.4.2 Propriedades mecânicas

A caracterização das propriedades mecânicas em polímeros normalmente refere-se a uma medida da resistência de um polímero filme. A resistência à tração e o módulo de elasticidade de Young (parâmetro mecânico que proporciona a medida de rigidez de um material solid) são de particular interesse para descrever a tensão-deformação enquanto propriedades de filmes de polímero. A análise dinâmico - mecânica é a técnica mais comum para caracterizar este comportamento viscoelástico. Outras técnicas incluem viscometria, reometria e dureza pendular (Mustafa, Omer, Garlnabi, & Ismail, 2016).

2.3.4.3. Propriedades térmicas

Um verdadeiro motor de trabalho para a caracterização dos polímeros é a análise térmica. Geralmente, mudanças nos parâmetros composicionais e estruturais do material afetam as suas temperaturas de transição vítrea e fusão, vinculadas aos parâmetros de desempenho. Outra análise térmica engloba combinações que incluem análise térmica diferencial, análise termomecânica, análise termodinâmica mecânica, análise térmica dielétrica, conforme **Figura 7**(Mustafa, Omer, Garlnabi, & Ismail, 2016).

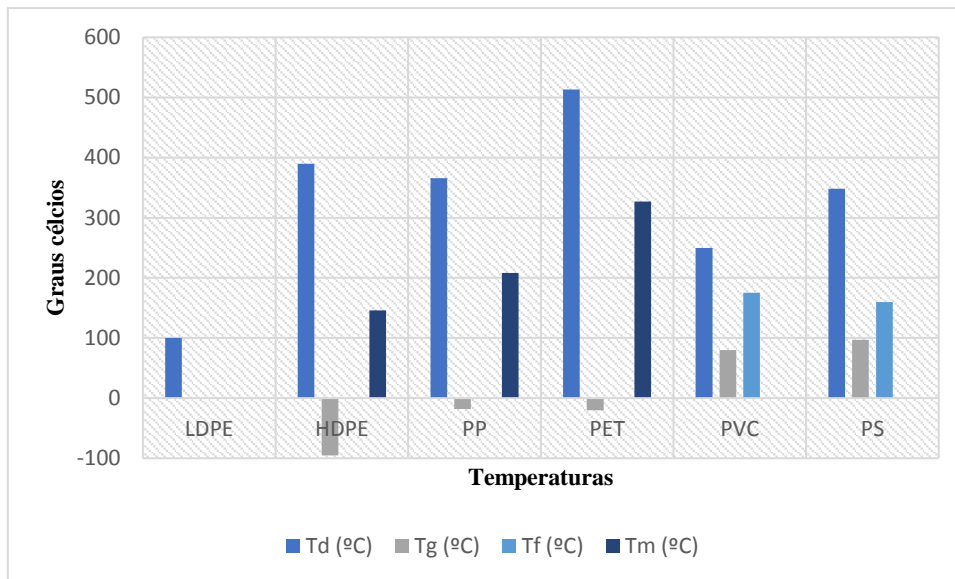


Figura 7 - Propriedades térmicas vs temperaturas

Temperatura de transição vítrea (T_g) Esta temperatura está relacionada com a passagem da fase amorfa dos polímeros para o estado borrachoso (Mustafa, Omer, Garlnabi, & Ismail, 2016). Abaixo da temperatura da transição vítrea, (T_g), a mobilidade das moléculas é fortemente restringida pela interação intermolecular, não havendo mudanças dimensionais. No caso dos polímeros termoplásticos a T_g é bastante relevante, principalmente na análise do desempenho sob stress (resistência à tração) e na análise da resistência dos polímeros à deformação elástica (Klein, 2011; Grigore, 2017).

Temperatura de fluxo (T_f)

Com o aumento da temperatura, a interação intermolecular diminui. Quando se atinge a T_f , as cadeias macromoleculares completas podem deslizar umas sobre as outras e as estruturas amorfas do plástico ficam mais macias e começam a derreter. Nenhuma degradação química das macromoléculas do plástico ocorrerá neste estado (Klein, 2011).

Temperatura de fusão do cristalino (T_m)

Uma vez atingida a T_m nos termoplásticos semicristalinos, as forças responsáveis pela formação cristalina, começam a desaparecer e os cristalinos a derreter. Como a faixa de temperatura de fusão do cristalito excede a temperatura de fluxo do estado amorfo, todo

o termoplástico será plastificado. Desde que nenhuma degradação térmica ocorra na fase fundida, a resina pode voltar reversivelmente ao estado solidificado por resfriamento. Dependendo das condições de resfriamento (velocidade e duração), as fases de cristalito irão novamente ser geradas. O tamanho e a distribuição desses cristalitos podem ser diferentes do estado original (Klein, 2011).

Decomposição Térmica (T_d)

Quando atingida a T_d as macromoléculas começam a decompor-se devido a intensas oscilações térmicas, ocorrendo a separação de unidades monoméricas que resulta em produtos de decomposição, que serão separados como fase gasosa ou permanecerão como componentes no material residual (Klein, 2011).

2.3.4.4. Propriedades Óticas

Além das propriedades térmicas, as propriedades óticas são importantes para o processamento a laser. As propriedades óticas sem quaisquer aditivos, como por exemplo os corantes de coloração ou as partículas de reforço, são influenciadas pela macromolécula estrutura da cadeia, pelo tipo de ligação dentro da cadeia de macromoléculas e pela ligação entre as cadeias. A interação da radiação eletromagnética com o material depende do comprimento de onda da radiação e pode ser feita por elétrons ligados (orbitais da molécula) ou por segmentos de moléculas.

Como a estrutura dos polímeros termoplásticos é influenciada pela temperatura, as propriedades óticas também o são. A determinação apropriada das propriedades óticas pode ser feita pela medição do comportamento de reflexão e transmissão. A partir dos dados de reflexão e transmissão, a propriedade de absorção do material pode ser calculada. (Klein, 2011).

2.3.4.5. Propriedades químicas

As forças de atração entre as cadeias de polímero desempenham um papel fundamental na determinação das propriedades do polímero. Diferentes grupos laterais no polímero podem ceder o mesmo para ligação iônica ou ligação de hidrogénio entre as suas próprias cadeias. Essas forças, normalmente mais fortes, resultam em maior resistência à tração e

pontos de fusão cristalinos mais elevados. Os polímeros que contêm os grupos amida ou carbonil podem formar ligações de hidrogénio entre cadeias adjacentes (Mustafa, Omer, Garlnabi, & Ismail, 2016).

2.4. Produção de Plásticos e Microplásticos

Na última década, a EU produziu entre 47 e 64 milhões de toneladas de plásticos, correspondentes a aproximadamente 16% da produção mundial, que ronda os 367 milhões de toneladas no ano de 2020 (PlasticsEurope, 2021). A **Figura 8** mostra a variação de produção de plásticos, na Europa, com uma tendência crescente de 2011 a 2019 e um ligeiro abrandamento em 2020, devido à pandemia da COVID-19, que teve início no referido ano. A nível global, apenas 9% de todos os resíduos plásticos já produzidos foram reciclados, 12% foram incinerados e os restantes 79% foram acumulados em aterros, lixões ou no ambiente. (De, 2020).

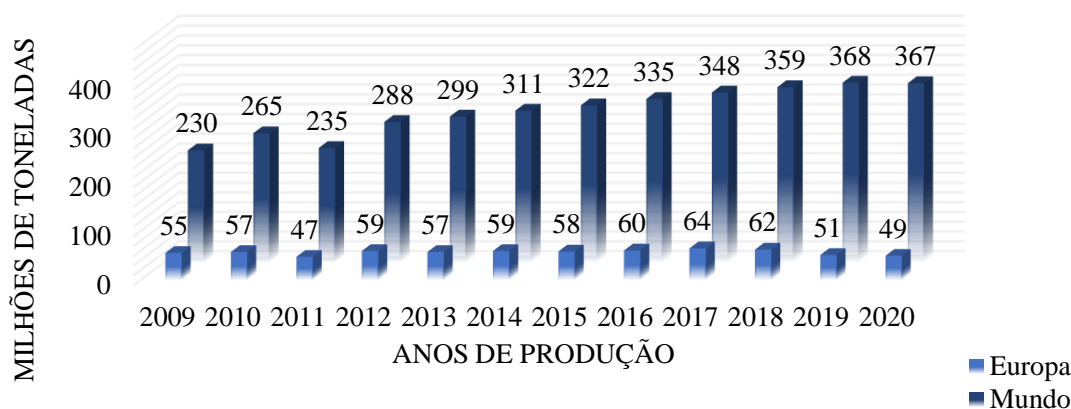


Figura 8 - Produção de plásticos a nível mundial e na Europa

Adaptada de PlasticsEurope (2021)

A **Figura 9** mostra a necessidade de uso de plásticos por setor, sendo o das embalagens o que mais usa os plásticos produzidos, isto é, 40%, enquanto o sector da agricultura utiliza cerca de 3,4% dos mesmos.

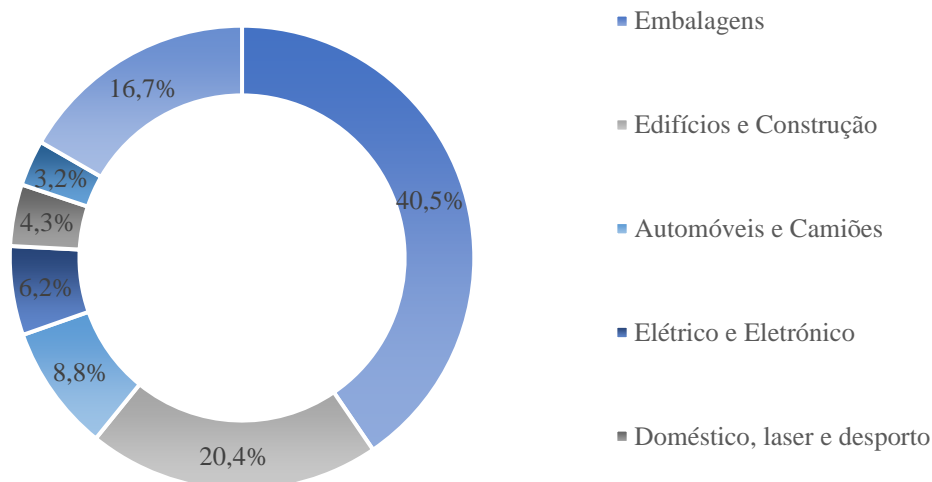


Figura 9 - Demanda de plásticos por setor
Adaptada de *PlasticsEurope* (2021)

Dos plásticos produzidos, 19% corresponde a termoplásticos PP, enquanto que apenas 6% corresponde a termoplásticos PS+EPS, que são os menos produzidos. O mais produzido dos termoendurecíveis é o PUR, apesar de apenas representar 8% quando comparado com todos os plásticos, conforme a **Figura 10**.

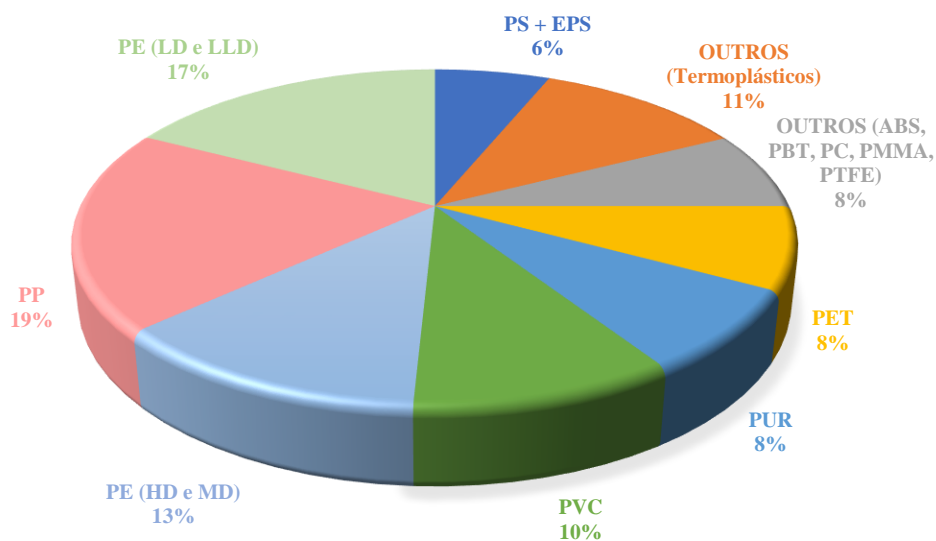


Figura 10 - Produção de plástico por tipo.
Adaptada de *PlasticsEurope* (2020)

2.5. Impactos da poluição por plásticos e microplásticos

Os impactos da poluição por plásticos e microplásticos são enormes, abrangendo as esferas ambiental, social e económica, tanto em países mais industrializados, costeiros, quanto em zonas remotas (WWF, 2021). Os impactos associados à esfera ambiental englobam o processo de degradação dos plásticos de maior dimensão que são transformados em microplásticos, os quais, no ambiente marinho, são facilmente confundidos com alimentos, podendo ser ingeridos propositada ou acidentalmente pelos organismos planctónicos e superiores aí residentes, tornando-se num veículo facilitador de transporte de químicos para os mesmos. Esses químicos são preponderantemente aditivos adicionados no processo de fabrico, os quais absorvem POPs presentes na água (APA, 2022a), causando-lhes stress, bloqueio físico, gasto energético para ingestão, falsa saciedade (Costa, Santos, & Duarte, 2020), mudança no metabolismo de energia e gordura e perturbações no funcionamento do sistema nervoso; em minhocas, por exemplo, os microplásticos podem impedir o seu crescimento (UNEP, 2016).

Embora estes efeitos tenham sido descritos amplamente para o ambiente marinho, são também observados em ambientes naturais de água doce (Costa, Santos, & Duarte, 2020). A exposição aos microplásticos, diariamente vivida pelos seres humanos, tem impactos negativos para a saúde ainda incertos, sendo que os microplásticos estão presentes no ar, na água, na comida (mel, açúcar, camarão e sal) e roupas, consumidas pelo ser humano, (UNEP, 2016).

O processo produtivo do plástico emite gases de efeito estufa (GEE), e a sua gestão, nos processos de incineração e até em aterros sanitários, contribui para a crise climática na emissão de CO₂. Outra fonte de poluição impactante são os equipamentos fantasmas deixados no oceano, que danificam habitats marinhos vitais como recifes e manguezais, sendo responsáveis por milhares de mortes de animais marinhos, pois ameaçam as fontes de alimentos e os meios de subsistência das comunidades costeiras e contribuem para a limitação da capacidade do oceano de remover o CO₂ (WWF, 2021).

Estima-se que mais de 11 milhões de toneladas de plásticos entram no oceano anualmente, prejudicando os ecossistemas e, conseqüentemente, as indústrias económicas de pesca e de turismo. A poluição plástica não se limita às fronteiras, dado que, normalmente, a extração de matérias primas é feita num país, a transformação em

produtos plásticos noutro, o consumo noutro e os resíduos, por sua vez, deslocam-se de um lado para outro, através das correntes de água e ar, instalando-se no fundo do mar (WWF, 2021).

Em termos económicos, estima-se que a poluição causada por plásticos, em 2019, custe cerca de 3,1 mil biliões de dólares como resultado da redução dos serviços fornecidos pelos ecossistemas marinhos. Adicionados a estes, existem os custos relacionados com a limpeza. Desta forma, pressupõe-se que o custo real da existência dos plásticos seja maior do que as estimativas ora apresentadas, situação que nos conduz ao conceito de economia circular, que tem como objetivo manter os plásticos dentro da economia e fora do ambiente (WWF, 2021).

Por causa da pandemia da COVID-19, o número de compras online aumentou de forma exponencial, proporcionando um aumento de resíduos de embalagens significativo (Costa, Santos, & Duarte, 2020) . Entretanto, à medida que a consciencialização sobre os impactos dos resíduos de plásticos aumentou, nota-se uma maior preocupação do público (WWF, 2021).

Plásticos de uso único

A maior parte dos plásticos que se utiliza, foi projetada para ser usada uma única vez ou por um curto período de tempo antes de ser descartado. Estes são os chamados plásticos de uso único (SUP- *Single Use Plastics*) (UNEP, 2018^a; Graulich, et al., 2021). Apesar da praticidade e dos benefícios, os SUP são considerados materiais desnecessários e problemáticos (Pacto Português para os Plásticos, 2021), que sobrecarregam a capacidade de lidar com os resíduos (UNEP, 2018a), uma vez que cerca de 50% dos plásticos encontrados no mar correspondem a plásticos de utilização única (APA, 2022b).

Os SUP tomaram relevância a nível da UE por causa do seu contributo na poluição marinha, junto dos equipamentos de pesca. A fim de evitar e reduzir o impacto dos plásticos no meio ambiente, a diretiva SUP foi adotada em 2019 como parte da Estratégia de Plásticos da UE (Diretiva (UE) 2019/904 (UE) transposta para o Decreto-Lei nº 78/2021, de 24 de setembro).

Os SUP incluem Cotonetes, talheres (garfos, facas, colheres, pauzinhos), pratos, agitadores de bebidas, varas concebidas para serem fixadas a balões e os prenderem, recipientes para alimentos e bebidas feitos de PSE, cuvetes descartáveis que contêm plástico para produtos como frutas, legumes e pão, palhinhas, janelas nas caixas de cartão, embalagens com combinação de cartão e plástico, varas para chupa-chupa, copos de uso único não recicláveis, mesinhas nas caixas de pizza, produtos em plásticos oxodegradáveis, embalagens em PVC, sacos de plástico ultraleves (até 15 mm), caixas de leite com abertura de plásticos, adesivos nas frutas e nos legumes, materiais multicamadas, plásticos para proteção de encomendas, cabides de utilização única, sprays com gatilho, filmes primários-*polybags*, filmes metalizados *tear-offs*, *sachet*, artes de pesca (Pacto Português para os Plásticos, 2021). A sua colocação e disponibilização no mercado deve ser proibida, com redução de 80% até 2026 e de 90% até 2030, face ao ano de 2022. (Decreto-Lei n.º 78/2021, de 24 de setembro).

Existem outros SUP além destes, mas não são abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 78/2021 de 24 de setembro, ou por não haver substituição, ou porque as suas alternativas não são sustentáveis, como é o caso dos pensos, tampões higiénicos, tampões com aplicador, toalhetes húmidos, produtos do tabaco com filtros, filtros comercializados para uso em combinação com produtos do tabaco e copos para bebidas.

2.6. Gestão de Resíduos de Plásticos e microplásticos

Segundo o Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, na sua 4ª versão Decreto - Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro, entende-se por “gestão de resíduos” “a recolha, o transporte, a valorização e a eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação no pós-encerramento, bem como as medidas adaptadas na qualidade do comerciante ou corretor”. A gestão de resíduos, de uma forma geral, é um sistema complexo, devido à sua multiplicidade de tratamento e valorização. Assim, as soluções de gestão a adotar devem ser económica, social e ambientalmente viáveis, postas em prática através de processos eficazes e eficientes, obedecendo sempre aos princípios gerais de gestão de resíduos, presentes no capítulo II do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro. Então, deve ser respeitado por ordem de prioridade, com foco na economia circular, o Princípio da Hierarquia dos Resíduos, expresso no artigo 7º do Decreto-Lei acima referido, onde as opções de menos impactes

ambientais são preferenciais, nomeadamente o uso de menor quantidade de material, custo, processamento, transporte, poluição, consumo de energia, recursos naturais, menor quantidade de resíduos produzidos. Já a deposição de resíduos de plásticos em aterro sanitário corresponde à opção menos favorável nesta hierarquia, conforme a **Figura 11** (Russo, 2009; Saiote, 2012).

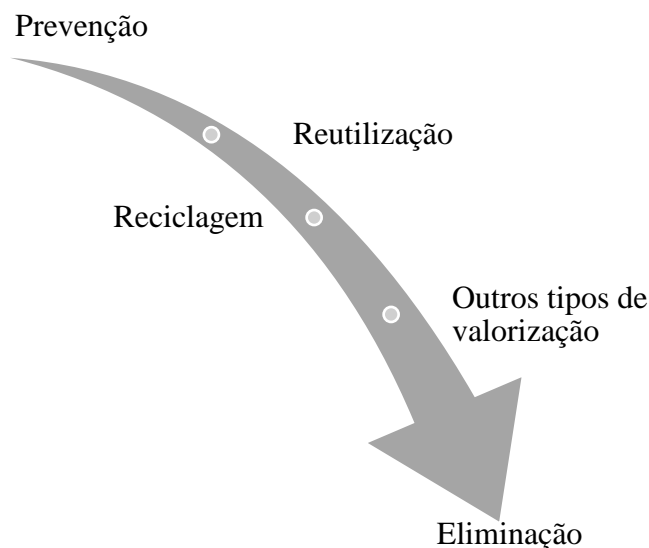


Figura 11 - Hierarquia da gestão de resíduos

(Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro)

Prevenção

A prevenção atua a montante da cadeia de valor, sendo o primeiro conceito a se ter em conta para uma gestão eficiente e eficaz de resíduos, por incluir a tomada de decisão sobre o desenvolvimento estratégico, marketing, sustentabilidade de um determinado produto (Russo, 2009; APA, 2011; Saiote, 2012). A prevenção requer redução na fonte e, conseqüentemente, a eliminação ou redução da necessidade de reciclar, incinerar ou depositar em aterro, mas também a redução da perigosidade dos resíduos produzidos. Por isso, é necessário alterar a conceção, fabrico, aquisição, utilização e reutilização dos produtos e materiais, reduzindo o seu volume ou perigosidade antes de se tornarem resíduos (APA, 2011), sendo preciso perceber se é possível evitar a produção do resíduo,

uma vez que quanto menor for a quantidade de resíduos produzidos, menores serão também os custos subjacentes à sua gestão (Russo, 2009).

Reutilização

A reutilização permite adiar o descarte de um determinado produto e prolongar o ciclo de vida do material. Este processo não só reduz a produção de resíduos, como restringe a procura de novos produtos, levando, conseqüentemente, à diminuição da exploração de recursos naturais. No entanto, o prolongamento da reutilização dos plásticos requer cautela, pois os seus malefícios, do ponto de vista da saúde pública, não são conhecidos (Saiote, 2012). A reutilização deste material pode ser diferente conforme a função para que foi concebido, pois, por meio de técnicas de reparação e adaptações, poderá ser valorizado, sendo a sua performance distinta da inicial. Este procedimento implica uma separação e triagem para os materiais com potencial de reutilização, assim como a implementação de técnicas adequadas para a sua remoção do local de origem (Russo C. , 2009). Os produtos de plásticos devem ser concebidos de forma a ultrapassarem o seu uso inicial, pondo o foco na reutilização. Os plásticos, quando alargado o seu uso, exigem a monitorização das cadeias de suprimento dos modelos de negócio com foco nos descartáveis para os de reuso, permitindo assim a elaboração de produtos feitos de materiais de fonte única e a eliminação gradativa dos aditivos nocivos que estão combinados nos plásticos, impedindo o seu reprocessamento por razões de saúde e segurança (WWF, 2019).

Reciclagem

Segundo a linha *bb*) do artigo 3º do Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, a Reciclagem é definida como “qualquer operação de valorização, incluindo o reprocessamento de materiais orgânicos, através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins”. Esta solução deve ser utilizada apenas quando as anteriores esgotarem a sua capacidade de ação (Russo C. , 2009). O sucesso deste conceito implica uma eficiente recolha seletiva, de modo a obter-se uma elevada taxa de reciclagem, com o propósito de atingir as metas estabelecidas pela legislação da União Europeia para garantir uma gestão

de resíduos eficaz e eficiente (**Figura 12**) (Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro).

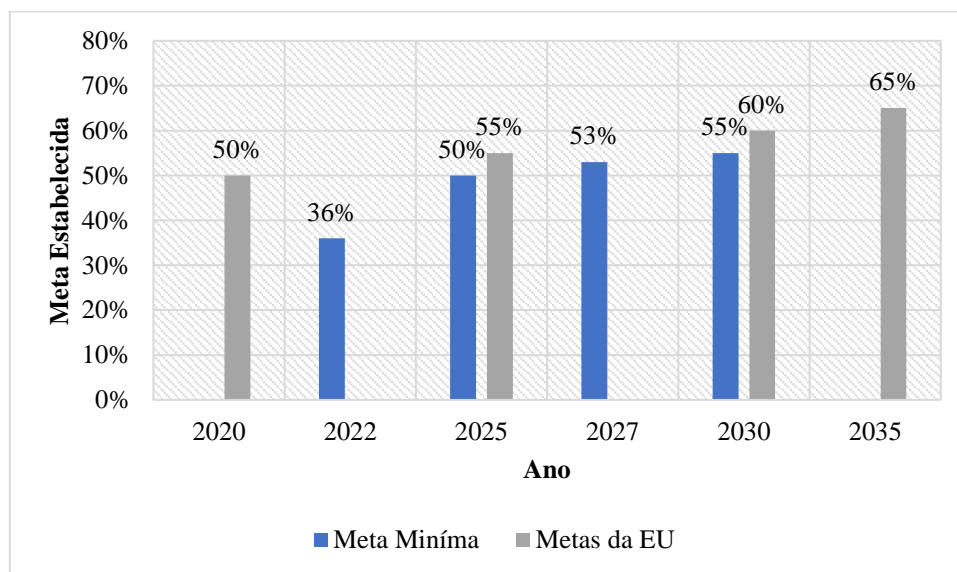


Figura 12 - Metas de reciclagem para os resíduos de Plástico
(Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro; APA, 2021b)

2.6.4 Eliminação

Incineração

A incineração é uma operação de eliminação de resíduos que pode ser feita em terra ou no mar (Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro). Tem como objetivo a eliminação dos resíduos que possuam um poder calorífico significativo, ou seja de pelo menos 5000 kJ/kg. Com base na experiência de alguns países da Europa, este método permite a obtenção da eliminação dos resíduos em cerca de 99%, com a vantagem de apresentar baixas concentrações de dioxinas e furanos. Esta técnica para além de permitir a redução do volume dos aterros, permite também a valorização energética dos resíduos, para a criação de novos produtos ou energia (Russo, 2009).

Aterro Sanitário

O aterro sanitário é um destino final de eliminação de resíduos, por meio da deposição acima ou abaixo da superfície natural (Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro). Os aterros sanitários, embora eficientes e seguros, apresentam algumas limitações como:

a disponibilidade de grandes áreas próximas dos centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população; a disponibilidade de material de cobertura diária; condições climáticas de operação durante todo o ano e a escassez de recursos humanos habilitados para gerir aterros (Carvalho & Rosa, 2008).

Os objetivos de gestão dos resíduos consistem na redução progressiva da deposição dos mesmos em aterros sanitários. A partir de 2030, será proibido enviar para estes aterros sanitários, os resíduos suscetíveis de reciclagem ou de valorização, assim como os resíduos urbanos biodegradáveis e os resíduos que tiveram uma recolha seletiva com o objetivo de reciclagem (APA, 2021b), tendo-se como meta de deposição de resíduos em aterros sanitários o valor de 10% da quantidade de resíduos urbanos produzidos até 2035.

3. TÉCNICAS DISPONÍVEIS PARA VALORIZAÇÃO MATERIAL

3.1. Reciclagem Primária

A reciclagem é um dos métodos mais importantes de proteção ambiental, cujo objetivo é reduzir a quantidade de resíduos depositados em aterros bem como a conservação de recursos naturais. O termo reciclagem significa a recuperação de matérias-primas, que consiste na transformação de substâncias ou materiais contidos nos resíduos (Bobulski & Piatkowski, 2017)

Segundo Al-Salem, Lettieri, & Baeyens (2009) “existem quatro técnicas para valorização de resíduos de plásticos: reciclagem primária, reciclagem secundária ou mecânica, reciclagem terciária ou química e reciclagem quaternária ou valorização energética”.

A reciclagem primária - também chamada como reciclagem pós consumo, ou reprocessamento - ocorre imediatamente a seguir ao processo produtivo e consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por meio de métodos de processamento padrão. Estes resíduos, produzidos pela própria indústria geradora ou por outras empresas transformadoras de materiais termoplásticos, são limpos e de fácil identificação, não são contaminados por impurezas, e resultam em produtos com características equivalentes às dos produtos originais, produzidos com polímeros virgens. Pode-se afirmar que 100% destes resíduos são reciclados e apresentam alta qualidade (Rolim, 2000; Spinacé & De Paoli, 2005).

3.2. Reciclagem Secundária

Segundo Brems, Baeyens, & Dewil (2012), a reciclagem secundária, mecânica ou pós-consumo é aquela em que os resíduos oriundos de diversas utilizações, doméstica ou industrial, são reprocessados por meios físicos extrusão, injeção, termoformagem ou moldagem por compressão (Letras, 2008), dando origem a novos produtos plásticos, normalmente de qualidade inferior, que mantêm a estrutura química original. (Faraca & Astrup, 2019) Este processo é representado por um método físico, no qual os resíduos de plásticos são triturados em grânulos, formando flocos ou *pellets* de qualidade adequada para fabricação e que podem ser derretidos para produzirem um novo produto por extrusão. Além disso, o material processado pode ser misturado com material virgem para obter resultados superiores (Grigore, 2017).

Uma das barreiras desta técnica de reciclagem prende-se com a heterogeneidade dos resíduos sólidos e com a deterioração das propriedades do produto em cada ciclo que ocorre, devido ao baixo peso molecular da resina reciclada (Brems, Baeyens, & Dewil, 2012). Isso acontece devido a reações de cisão em cadeias causadas pela presença de água e impurezas ácidas. Outra barreira tem a ver com o desperdício de plástico por contaminação molecular, originada por produtos adicionados intencionalmente para o uso anterior, como plastificantes, estabilizadores, pigmentos e retardadores de chama, situação que permite que a matéria-prima, com más propriedades mecânicas, seja levada para a reciclagem, provocando um processo de degradação que pode ocorrer durante a fabricação e o uso (Faraca & Astrup, 2019). A **Figura 13** apresenta as etapas pelas quais o processo de reciclagem mecânica passa para obtenção de produtos reciclados (Letras, 2008)

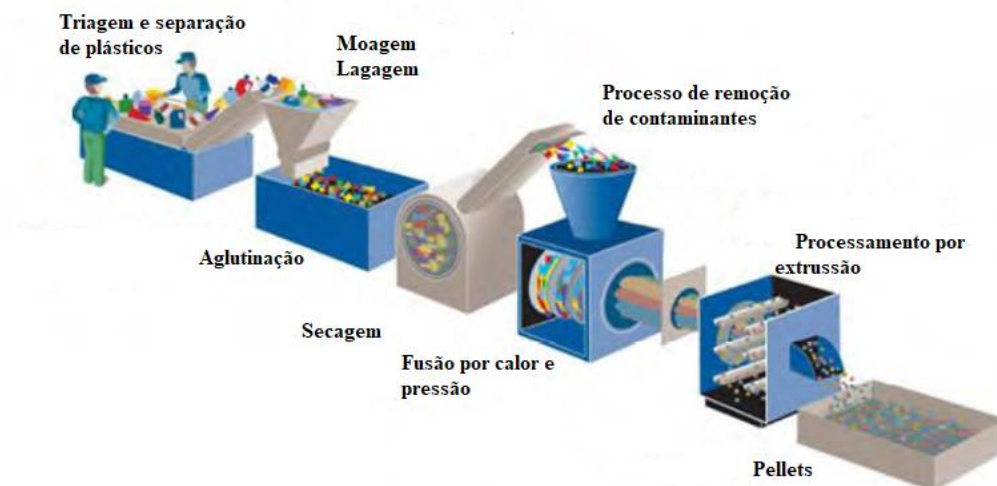


Figura 13 - Esquema tipo das diferentes fases de reciclagem mecânica de plásticos
Adaptada de Russo (2009)

Triagem e separação dos plásticos

A reciclagem mecânica de misturas de resíduos começa com um processo de triagem manual. Esta etapa implica elevados custos de exploração e nem sempre é atingido o grau de eficiência de separação necessário para satisfazer os objetivos de qualidade pretendidos. Requer altos níveis de classificação e separação, a fim de obter um polímero reciclado com desempenho e qualidade não muito diferentes dos polímeros virgens (Bonifazi, Capobianco, & Serrant, 2018).

Normalmente, a separação dos resíduos de plásticos ocorre por cor, ou seja, isolam-se os materiais de cor branca dos coloridos, uma vez que os primeiros podem dar origem a produtos claros, enquanto os segundos se destinam a produtos escuros. A separação também acontece segundo a origem da matéria-prima, para que haja uma definição clara do nível de limpeza dos plásticos e a linha de produção a ser seguida. Outra forma de separação, e a mais usual, consiste na separação dos resíduos de plásticos segundo o tipo, sendo esta fundamental para garantir que apenas o escolhido servirá como matéria prima para o processo de reciclagem. (Faria & Pacheco, 2011)

Os tipos de plásticos aptos para estão apresentados na **Figura 14** (Letras, 2008).

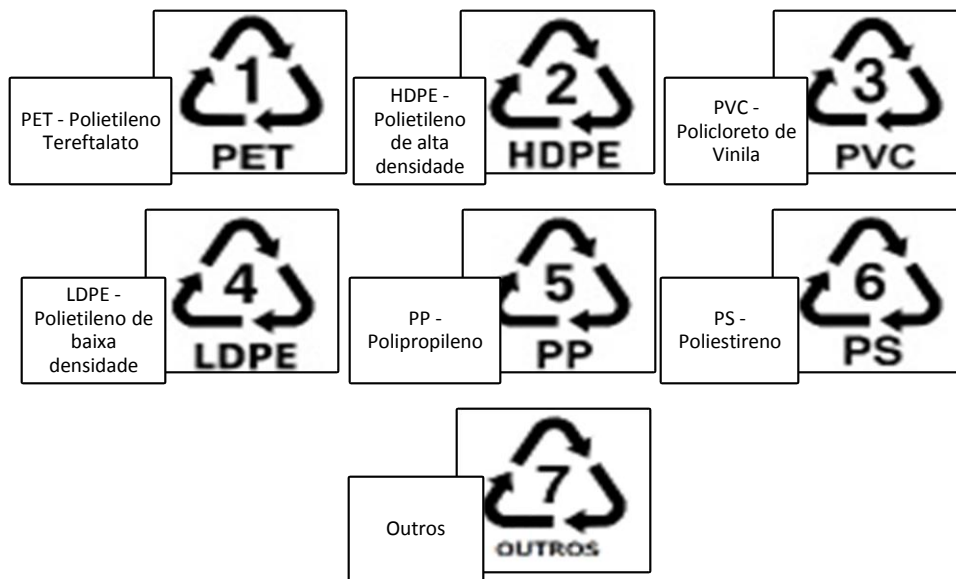


Figura 14 - Símbolos usados na identificação dos resíduos de plásticos adaptada de Letras (2008)

Moagem

As embalagens de plásticos que conhecemos nas diversas formas são produzidas a partir de material granulado, razão pela qual os resíduos de plásticos são facilmente convertidos em fragmentos que sejam, tanto quanto possível, semelhantes aos que lhes deram origem. Depois da separação, os plásticos são triturados em moinhos de facas rotativas ou moinhos de martelos. Esta etapa permite acomodar melhor o material no equipamento de processamento, como a extrusora ou a injetora. É importante que o material moído tenha dimensões uniformes para que a fusão também ocorra uniformemente. A presença de pó proveniente da moagem é inconveniente, pois este funde antes e não facilita o escoamento do material nos equipamentos do processo (Letras, 2008).

Lavagem

A lavagem é entendida como a descolagem e separação de sujidade aderente aos resíduos de plásticos reprocessados. É uma operação molhada que pode ser organizada em três estágios:

- a) encharcamento/amaciamento;
- b) libertação da sujidade dos plásticos por circulação;
- c) separação da sujidade dos plásticos lavados.

Os três estágios da operação não têm que ocorrer necessariamente num só equipamento.

Encharcamento/amaciamento

Estágio que normalmente ocorre em tanques com agitação mecânica, abertos ou fechados, ou sem parafusos, a baixa velocidade, uma vez que a separação de sujidade resistente exige banhos extensos ou circulação intensiva (Letras, 2008).

Libertação da sujidade por circulação

Corresponde à libertação da sujidade das partículas de plásticos, conseguida através de uma circulação intensiva do triturado e da solução de lavagem. Utiliza-se neste estágio uma máquina de lavar turbo ou por fricção (Letras, 2008).

Separação da sujidade dos plásticos lavados

Os sistemas de lavagem projetados para remover sujidade mineral por sedimentação da água são aplicados nesta etapa da lavagem de plásticos. A operação decorre em tanques de sedimentação, hidrociclones, clarificadores estratificados ou concentradores. A separação da sujidade sólida pode também ocorrer por adição de agentes precipitantes ou floculantes.

A eficiência da operação de lavagem dependerá da quantidade de gordura. Consoante o destino final dos plásticos reciclados, a existência de resíduos de gordura pode causar defeitos de qualidade pela formação de bolhas, como no caso de filmes destinados para produção de sacos do lixo. Para a remoção de gordura, pode ser necessária a utilização de soluções de detergente e aquecimento.

As águas resultantes do processo de lavagem devem ser tratadas e, em alguns casos, são recirculadas de forma a reduzir os custos de operação (Letras, 2008).

Aglutinação

Após a fase da separação, no caso dos resíduos de plásticos filme limpo, inicia-se a fase de aglutinação na qual se eleva a temperatura dos resíduos, formando uma massa plástica, podendo, então, acrescentar-se os aditivos necessários (Saiote, 2012). O material é compactado num aglutinador para reduzir o volume e aumentar a densidade. Se os plásticos filme estiverem sujos, é preciso moê-los, lavá-los e secá-los antes do envio para o aglutinador (Jorge, 2015), embora este equipamento possa ser aproveitado para completar a secagem (Piva, Neto, & Wiebeck, 1999).

Secagem

O objetivo da secagem é a redução do conteúdo de humidade dos plásticos lavados. A humidade adere primariamente à superfície dos plásticos, razão pela qual, quanto maior for a superfície do material, maior é o seu teor de humidade (Letras, 2008). Este processo é importante por causa da hidrólise que alguns polímeros sofrem no reprocessamento, como os poliésteres ou as poliamidas, uma vez que a ação do resíduo do detergente como catalisador diminui a durabilidade dos plásticos.

Existem dois processos de secagem dos plásticos: térmico e mecânico.

No primeiro, usa-se a condução térmica, a conversão e a radiação. No segundo, faz-se a remoção da humidade por meio da força de gravidade ou da inércia.

Os equipamentos de secagem contemplam os sistemas de transporte de ar quente por centrifugação e os sistemas de transporte de ar quente em contracorrente.

A humidade residual tolerável é definida pela redução da qualidade durante o processo de fusão e, no caso do HDPE e do LDPE, deve ser, no máximo, 1% (Letras, 2008). Para evitar a redução intensiva do peso molecular, recomenda-se a secagem, o uso de compostos extensores de cadeia ou o reprocessamento com desgaseificação a vácuo (Grigore, 2017).

Processamento por Extrusão

O processamento por extrusão, que ocorre aquando da composição e processamento de plásticos, permite a produção de produtos semiacabados, como o granulado na indústria de reciclagem, ou de produtos reciclados, como tubagens e sacos. Na sequência das etapas referidas para a reciclagem mecânica, a extrusão aplica-se na produção de granulado. O processo consiste na fusão, por fricção, dos plásticos triturados, depois de seco (Letras, 2008). O material fundido é introduzido numa forma perfurada onde é picotado e transformado em pellet, obtendo-se o granulado (Letras, 2008; Segorbe, 2010).

No processo da extrusão também se obtém a homogeneização e dispersão dos pigmentos, cargas e aditivos, a fim de se obter um produto com as características necessárias. A extrusão consiste na passagem do material por um equipamento onde será aquecido até atingir o ponto de plasticidade, sendo posteriormente cortado em grãos.

Existem dois tipos de extrusão:

Extrusão com corte na cabeça: o material é dividido de forma imediata, ao sair da máquina, com a ajuda de um equipamento adaptado ao cabeçote da extrusora, que funciona como uma matriz que define o tamanho dos grânulos, e uma tela que filtra o material para retirar as impurezas. Os grânulos são metidos na água para serem arrefecidos e transportados, sendo levados posteriormente ao secador que os separa por centrifugação (Jorge, 2015).

Extrusão de fio: o processo é inverso ao da extrusão com corte na cabeça, uma vez que os materiais plásticos são primeiro arrefecidos em água para posteriormente serem cortados com o rotor e contra facas que os fragmentam com uma determinada velocidade, permitindo a obtenção de grânulos de tamanhos diferentes (Jorge, 2015).

Produto Final

Depois de os resíduos de plásticos passarem pelas fases anteriores, são então transformados, como desejado, num produto acabado. No entanto, a maioria dos plásticos reciclados mecanicamente tem propriedades inferiores às do material virgem, pelo que os mesmos são destinados a aplicações menos exigentes ou misturados em menor quantidade com o polímero virgem (Letras, 2008). Os plásticos reciclados apresentam

limitações de aplicação, pelo que não devem ser utilizados em embalagens para alimentos, bebidas, brinquedos, medicamentos ou material de uso hospitalar (Faria & Pacheco, 2011) Na verdade, mesmo nas situações em que as embalagens venham a conter numerosas camadas, os plásticos reciclados não devem estar em contato com os alimentos (Saiote, 2012), razão pela qual são mais usados em utensílios domésticos, como baldes, mangueiras, sacos de lixo, material de construção, solados, pisos, conduítes, componentes de automóveis, fibras, embalagens (Parente, 2006).

O PP, por apresentar resistência ao rasgo e excelente opacidade, é utilizado na confecção e obtenção de papel sintético através da extrusão de sopro filmes (Manrich, 2000), e o PET reciclado pode ser utilizado em embalagens destinadas a entrar em contato com alimentos. (Faria & Pacheco, 2011) Milhares de toneladas de PS e o PS expandido podem ser reciclados anualmente e resultam em molas para cabides, quadros para fotografias, CDs, entre outros. (Hedayati, Barnett, Swan, & White, 2019)

Qualidade dos Plásticos Reciclados

Uma vez cumpridas todas as fases do processo de reciclagem mecânica, há necessidade de controlar a qualidade do produto, pelo que é desejável que os plásticos reciclados tenham propriedades e qualidades próximas dos plásticos virgem. Como os plásticos reciclados apresentam propriedades inferiores, e para que o seu uso tenha uma melhor eficiência, adiciona-se 15 a 30% dos plásticos reciclados ao material virgem, sem comprometer as suas propriedades mecânicas (Letras, 2008).

Outra particularidade dos plásticos reciclados prende-se com o facto de normalmente não serem compatíveis, o que reduz a deterioração quando estão em causa pequenas quantidades de um polímero diferente do outro. No entanto, o problema agrava-se, quando os polímeros são provenientes de resíduos sólidos urbanos (RSU), pois a contaminação é elevada. Na **Tabela 6**, apresentam-se as compatibilidades entre diferentes plásticos. A miscibilidade decresce de 1 a 6, sendo que o número 1 significa boa compatibilidade e o número 6 indica incompatibilidade. conforme (Letras, 2008).

Tabela 6 - Compatibilidade entre os diferentes plásticos
Adaptada de Letras (2008)

	PS	PSAI	SAN	ABS	PA	PC	PMMA	POM	PVC	PP	LDPE	HDPE	PBT
PSAI	1												
SAN	6	6											
ABS	6	6	1										
PA	5	4	6	6									
PC	6	5	2	2	6								
PMMA	4	4	1	1	6	1							
POM	6	6	6	5	6	6	5						
PVC	6	6	2	3	6	5	1	6					
PP	6	6	6	6	6	6	6	6	6				
LDPE	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
HDPE	6	6	6	6	6	6	5/6	6	6	6	1		
PBT	6	6	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6	
PET	5	5	6	5	5	1	6	6	6	6	6	6	6

Legenda: PS – poliestireno, PSAI – poliestireno de alto impacto, SAN – estireno acrilonitrila, ABS – acrilonitrilo butadieno estireno, PA – poliamida, PC – policarbonato, PMMA – poli (metil metacrilato), POM – poliacetal, PVC – policloreto de vinilo, PP – polipropileno, LDPE – polietileno de baixa densidade, HDPE – polietileno de alta densidade, PBT – polibutileno tereftalato, PET – polietileno tereftalato.

A compatibilidade química dos plásticos é importante para a plastificação de um polímero termoendurecível por um termoplástico. Geralmente, este processo exige que exista miscibilidade, propriedade de solubilização de um polímero termoplástico num

termoendurecível com a formação de uma película completamente miscível (Letras, 2008).

Heterogeneidades estruturais e impurezas, como produtos de transformação ou materiais estranhos, estão presentes nos plásticos reciclados, ainda que sejam cuidadosamente classificados, separados e limpos, e persistem até depois da etapa de purificação (Zweifel, Maier, & Schiller, 2009), razão pela qual os plásticos reciclados têm de obedecer a um conjunto de critérios de qualidade relativamente às seguintes propriedades: índice de fluidez, massa volúmica, estabilidade térmica, teor de negro de fumo, dispersão de negro de fumo, deformação longitudinal a quente, pressão hidrostática e deformação à rutura (Letras, 2008).

Apesar de a reciclagem mecânica não se revelar uma opção favorável em termos de prevenção de produção de resíduos, apresenta-se, contudo, como uma opção mais sustentável, quando comparada à valorização energética e à deposição de resíduos de plásticos em aterros sanitários. Na verdade, a reciclagem mecânica permite a redução do consumo de recursos materiais e energéticos, uma vez que exige apenas 10% da energia necessária para produzir plásticos a partir de material virgem, bem como emite uma quantidade reduzida de gases com potencial para provocar aquecimento global. (Saiote, 2012)

3.3. Reciclagem Terciária ou Química

A reciclagem terciária é definida como um processo no qual os polímeros são quimicamente convertidos em monómeros ou parcialmente despolimerizados em oligómeros através de uma reação química.

Os monómeros resultantes deste processo de reciclagem podem ser usados para novas polimerizações para reproduzir o produto original ou um produto polimérico semelhante. Este método é capaz de transformar o material plástico em moléculas menores, adequadas para uso como matéria-prima, começando com monómeros, oligómeros ou misturas de outros compostos de hidrocarbonetos (Grigore, 2017).

As vantagens do processo de reciclagem química só podem ser observadas se, antes do início da reação, houver um processo de separação dos polímeros, uma vez que cada um

deles apresenta especificidades distintas. É indispensável que os polímeros apresentem um certo grau de limpeza, pois a reação pode ser prejudicada pela presença de impurezas (Schwantes, 2006), embora alguns processos de reciclagem química permitam a mistura de alguns plásticos, com um certo nível de contaminantes, como tintas, papéis, entre outros. (Segorbe, 2010)

A reciclagem química pode ocorrer através de vários processos, que apresentam resultados diferentes, como mostra a **Figura 15**.

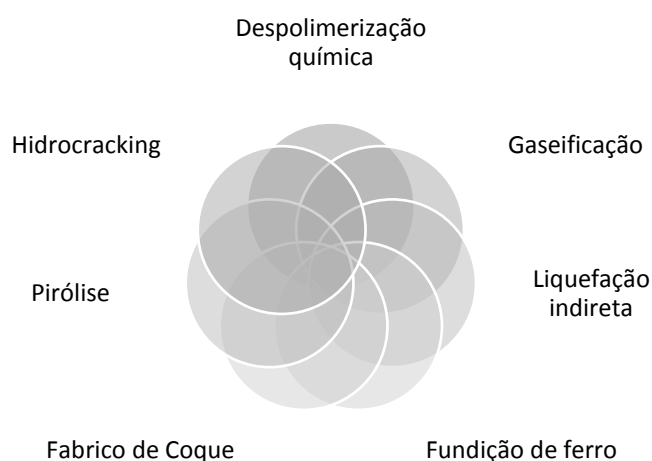


Figura 15 - Processos de reciclagem química
Adaptada de Saiote (2012)

Despolimerização Química

Também denominado por quimólise ou solvólise, a despolimerização química é o processo que consiste em realizar a reação inversa da que deu origem ao polímero, por forma a quebrar as reações existentes entre os seus monómeros constituintes (Saiote, 2012). A solvólise tem como base a utilização de solventes para recuperação de produtos, usando-se o calor apenas para se atingir temperaturas um pouco acima da temperatura de fusão do polímero ou de ebulição do solvente (Schwantes, 2006). Em geral, utiliza-se o subproduto da reação de condensação para fazer a reação no sentido inverso, o que possibilitará a obtenção de monómeros.

Este processo de reciclagem normalmente utiliza a reação de substituição no grupo carbonato, incluindo a ligação cruzada tridimensional entre as cadeias, as quais formam

fragmentos de baixa massa molecular, ou seja, a substituição de um heteroátomo (O, N, P, S, Si) ou um halogênio (F, Br, Cl, I) ligados ao carbono (C) (Ribeiro, 2010).

Foram desenvolvidos diversos processos de despolimerização, categorizados de acordo com o agente químico utilizado, sendo os mais comuns a glicólise, a metanólise, a hidrólise, a aminólise e a amonólise. (Saiote, 2012)

Glicólise

A Glicólise é um método aplicado para a despolimerização do PET e PU, recorrendo ao uso de glicóis e catalisadores. Por meio da glicólise, podem-se obter produtos que, depois de lavados com água destilada (para se retirar o excesso de glicol) e depois de filtrados e secos, se apresentarão em forma de pó. Estes produtos são caracterizados de acordo com o método de calorimetria diferencial de varredura (DSC) para a determinação de índice de hidroxila e o de espectroscopia infravermelho (FTIR). O catalisador ácido sulfúrico (H_2SO_4) tem-se mostrado eficaz comparativamente a outros, originando produtos com índice de hidroxila maior e reduzindo o ponto de fusão (Silva, Assis, & Felisberti, 2006).

A reciclagem de PU é feita recorrendo a este processo químico de despolimerização, bem como a materiais rígidos e espumas flexíveis. O propósito é recuperar e separar os polióis e aminas aromáticas para serem utilizados como matéria-prima para fazer novos produtos, recorrendo-se ao processo de despolimerização do material, que apresenta vantagens no que se refere aos custos decorrentes da purificação e toxicidade (Ribeiro, 2010; Gonçalves, 2013).

Nos processos de glicólise, as cadeias de PU são degradadas em sucessivas reações de transesterificação da ligação uretano com polióis de baixa massa molar e com a ajuda de catalisadores. Pode ocorrer em duas fases:

- ✓ A primeira, chamada de fase superior, corresponde ao polioliol recuperado semelhante ao inicialmente utilizado na produção da espuma.
- ✓ A segunda, fase inferior, é composta pelo excesso do glicol, utilizado como agente de glicólise, pelo catalisador, e pelos subprodutos da reação como ureia, amidas aromáticas, cargas e pigmentos presentes na composição da espuma reciclada (Ribeiro, 2010).

Normalmente, o reagente utilizado é o dietilenoglicol (DEG), em diferentes temperaturas, na presença de um catalisador, pois dele depende o tempo para completar a conversão da espuma em mistura líquida, as propriedades químicas dos polióis obtidos e a pureza dos mesmos (Ribeiro, 2010). A glicólise aplicada às espumas flexíveis de PU pode ser considerada uma alternativa economicamente viável e simples para se aplicar na reciclagem química de espumas de PU, sendo que esta permite obter como resultado um produto próximo do poliól puro, utilizado na fabricação das espumas. (Ribeiro, 2010)

Para a reciclagem de Polietileno tereftalato (PET), geralmente utilizam-se os reagentes etilenoglicol (EG), o dietilenoglicol (DEG), o polietilenoglicol (PG) ou ainda uma mistura de glicóis. A temperatura pode variar entre 150 a 250°C, dependendo do solvente utilizado, e a duração pode ser de 0,5 a 8 horas. Normalmente os catalisadores utilizados são acetatos metálicos (Schwantes, 2006).

A etilenoglicólise apresenta muitas vantagens em relação a outras formas de reciclagem química, das quais se destaca o facto de um dos produtos da reação ser o próprio reagente, o glicol utilizado, evitando a separação posterior, como na hidrólise e na metanólise. Acredita-se que uma reação de glicólise parcial, seguida de uma reação de hidrólise, é o melhor método para se obter materiais com menor grau de impurezas. Os catalisadores utilizados na reação de glicólise, em alguns estudos, revelaram-se eficientes para a obtenção de alguns produtos por meio do PET, como apresentado na **Tabela 7** (Schwantes, 2006)

Tabela 7 - Influência dos catalisadores no processo de Glicólise do PET
(Schwantes, 2006)

Solvente e Catalisador	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Monómeros resultantes
Etilenoglicol e acetato de cobalto	190	1,5 h a 2 atm	
Etilenoglicol e acetato de Zinco	190 a 200	5 ou mais horas 3 a 4 atm	BHET
Propilenoglicol (PG) e acetato de zinco 0,5%	200	10 horas em atmosfera de nitrogénio.	
DG, DEG, PG e Acetato de zinco, 0,5%	190	8 horas, em atmosfera de nitrogénio	
Acetato de zinco	210	6	

Todavia, algumas considerações em relação à glicólise do PET podem ser observadas:

- ✓ O tipo de glicol a utilizar influencia na formação do produto final.
- ✓ Uma reação realizada sem a presença de um catalisador demora 9 horas a mais, se comparada a outra que se realiza na presença de um catalisador.
- ✓ A eficiência dos catalisadores (acetatos metálicos), em termos de taxa inicial de despolimerização, pode ser: $Zn^{2+} > Pb^{2+} > Mn^{2+} > Co^{2+}$ com o tempo de reação de 8 horas e a quantidade do catalisador em massa de 1%.

- ✓ A comparação das reações entre PET verde e incolor mostra que o pigmento não modifica a extensão da despolimerização e, em quaisquer casos, apresenta um produto glicolizado incolor (Schwantes, 2006).
- ✓ O tamanho das partículas influencia o grau de despolimerização, pois quanto maior o tamanho das partículas, menor será o grau de despolimerização.

Metanólise

A aplicação deste processo na despolimerização do PET ocorre com o agente despolimerizante metanol e origina produtos como o EG (Etilenoglicol) e DMT (dimetiltereftalato). A metanólise é realizada sob algumas condições básicas, tais como altas pressões, que podem variar entre 2 a 4 MPa, e temperaturas elevadas de 180 a 280°C, na presença de catalisadores de transesterificação. O catalisador mais utilizado na reação é o acetato de zinco, porém outros catalisadores como o acetato de magnésio, acetato de cobalto, dióxido de chumbo, fosfato de cálcio, hidróxidos de alcalinos terrosos e silicato de sódio também podem ser utilizados.

Os monómeros da metanólise DMT e EG passam por um processo de separação, pelo que o primeiro pode ser separado por precipitação e posterior centrifugação e cristalização e o segundo pode ser purificado por destilação. No término da reação de metanólise, o catalisador usado no processo é desativado para evitar perda do DMT, dada a possível transesterificação do DMT com o EG. Os produtos finais obtidos através da reação de metanólise podem ser novamente utilizados como monómeros de partida para a produção do PET, sendo possível utilizá-los dentro das próprias fábricas produtoras deste polímero, ou, usá-los na reciclagem primária, para reaproveitar os descartes da produção (Bentes, 2008).

Hidrólise

A hidrólise é um mecanismo de degradação do polímero em que a água é o principal reagente para desassociar as ligações poliméricas. Tal como outros processos de despolimerização, a hidrólise é acelerada com a presença de uma pequena quantidade de catalisadores que correspondem ao contacto de diferentes íons com a água. (Padsalgikar, 2017).

A taxa de hidrólise não depende apenas das ligações químicas suscetíveis dentro do polímero, mas também da concentração de água dentro do material. Tanto a hidrólise neutra quanto a hidrólise ácida ou alcalina requerem água no polímero. Os polímeros hidrofílicos (responsáveis pela hidratação e intumescência) são mais suscetíveis à hidrólise e degradação hidrolítica subsequente em comparação com os polímeros hidrofóbicos (minimizam o contacto com a água) (Cardoso, 2015). Após a absorção de humidade da superfície, a taxa de difusão da água dentro do polímero torna-se crítica. Observa-se que a maior biodegradação de alguns polímeros ocorre mais facilmente, quando a taxa de difusão e permeabilidade são maiores. Os polímeros possuem diversas propriedades que afetam a sua natureza hidrolítica. Se uma ligação quimicamente suscetível for protegida por uma estrutura hidrofóbica ou regiões cristalinas, a taxa efetiva de hidrólise pode diminuir. Num polímero, os altos níveis de reticulação (cujas cadeias poliméricas conectam entre si), podem suprimir a hidrólise. A proporção da área de superfície para o volume de um dispositivo afeta a taxa de hidrólise de forma positiva. Assim, as áreas maiores favorecem o processo de hidrólise, como mostram as estruturas porosas. A presença de stress mecânico também aumenta a taxa de hidrólise. Quando um polímero de peso molecular relativamente alto é submetido a hidrólise, pode apresentar uma diminuição mais lenta na perda de propriedades, conforme **Figura 16** (Padsalgikar, 2017).

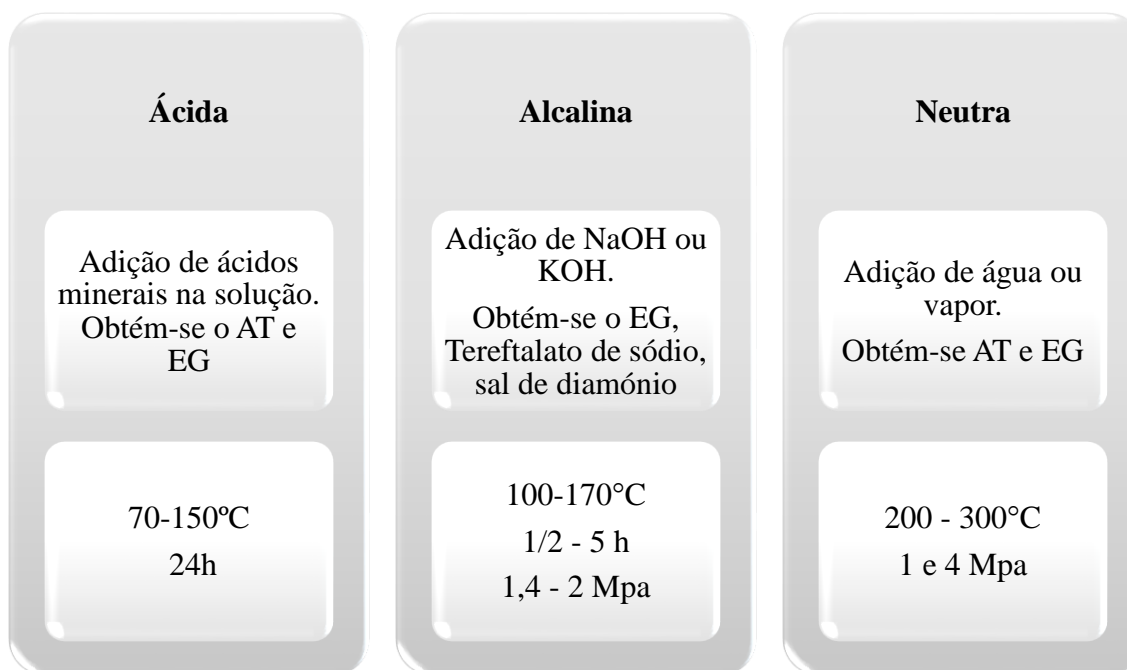


Figura 16 - Tipos de hidrólise

Adaptada de Schwantes (2006) e de Bentes (2008)

A vantagem principal da hidrólise neutra em relação às outras hidrólises (ácida e básica) é que na hidrólise neutra não há formação de sais inorgânicos indesejados, nem problemas relacionados com a corrosão dos equipamentos, decorrente do uso de soluções concentradas de ácido ou base. Assim, a hidrólise neutra é considerada mais proveitosa bem como correta ambientalmente, embora requeira condições de reação com pressão e temperatura elevadas (Bentes, 2008).

Os polímeros que sofrem hidrólise são os ésteres, orto-ésteres, anidridos, carbonatos, amidas, uretanas e outros. Portanto, podem sofrer biodegradação, via hidrólise química ou enzimática, os poliésteres alifáticos, as poliamidas, os poliuretanos (PU), os poli(orto ésteres), os polianidridos, os polifosfoésteres e as polifosfazonas. Desta forma, os polímeros de carbonila e os anidridos (-CO-O-CO-) apresentam as maiores taxas de hidrólise seguidos, por ordem, pelos ésteres (R-COOR) e carbonatos (CO₃²⁻) (Villanova, Oréfica, & Cunha, 2010; Padsalgikar, 2017).

A hidrólise aplicada no Poliuretano termoplástico (TPU) sintetizado, usando um polioli de poliéster, também contém o grupo éster (R-COOR) que é propenso a hidrólise. A reação com a água leva à quebra da molécula de uretano, e a sua tendência a hidrolisar

significa que o uso desses materiais em dispositivos médicos biologicamente estáveis não é recomendado (Padsalgikar, 2017). A hidrólise das ligações carbonáticas tem sido considerada o principal mecanismo de biodegradação de poliuretanos e de policarbonato. Como a hidrólise resulta na desagregação da cadeia de polímeros, as propriedades físicas destes podem ser significativamente afetadas assim que o processo começa (Padsalgikar, 2017).

Gonçalves (2013) descreve a hidrólise neutra de poliuretano (PU) a alta temperatura (200°C) como resultante da produção de uma mistura de polioliol e diaminas. Logo, para permitir a reutilização do polioliol, recorre-se ao processo de destilação para fazer a separação. Assim é possível recuperar espumas provenientes de assentos de automóveis por meio da hidrólise (Gonsalves, 2013).

Schwantes (2006) descreve que a hidrólise de PET (Polietileno Tereftalato) ocorre em apenas uma reação, podendo-se obter o TPA (ácido tereftálico), que pode ser purificado com vista à esterilização direta ou esterificada com metanol para a produção de Tereftalato de dimetila (DMT) (Schwantes, 2006). A hidrólise do PET é o processo de reciclagem química que consiste numa desesterificação, utilizando-se como agente despolimerizante a própria água e os produtos AT e EG (Bentes, 2008).

A grande vantagem da utilização da hidrólise na reciclagem química, em detrimento de outros processos degradativos, é a possibilidade de obtenção de ácido tereftálico (TPA) com apenas uma reação. O ácido tereftálico produzido pode ser purificado ou esterificado com metanol para a produção de tereftalato de dimetila (DMT). Dessa maneira, a hidrólise de PET pode contribuir para o suprimento de monómeros de PET, utilizando-se uma matéria-prima abundante e relativamente barata: os resíduos sólidos urbanos (Mancini & Zanin, 2002).

A desvantagem da hidrólise é a alta concentração de aminas no produto final, restringindo as aplicações. Outro problema dessa reação é a separação do EG de uma solução aquosa, o que pode ser feito com processos de separação específicos como a destilação e a separação por solventes (Gonsalves, 2013).

Aminólise

Este processo acontece quando a ligação do PET é quebrada com o uso do agente despolimerizante que é uma amina. Normalmente, são utilizadas aminas primárias como metilamina, etilamina, etanolamina e a n-butilamina. Essas reações acontecem a temperaturas de aproximadamente 200°C, e os produtos dessa aminólise do PET são as diamidas do ácido tereftálico (TAP). Entretanto, a aminólise do PET dá-se de forma parcial para alterar algumas propriedades químicas e mecânicas desse material, o qual degrada principalmente a parte amorfa do polímero, aumentando a sua cristalinidade. O processo de aminólise tem despertado grande interesse, devido à possibilidade de se obter por meio dele produtos químicos finais e intermediários de grande interesse comercial, como o ácido tereftalohidroxiâmico e o tereftalohidrazida (Bentes, 2008).

Amonólise

A amonólise é uma reação de despolimerização, frequentemente utilizada em resíduos de PET e que tem como agente principal de despolimerização a amônia concentrada, possibilitando a obtenção do TDA (tereftal-di-amida) e EG. Embora o TDA não desperte interesse econômico, proporciona valor agregado, quando convertido noutros produtos (Bentes, 2008).

Este processo pode ocorrer a médias pressões de 2 MPa e a temperaturas entre 120 a 180 °C, num intervalo de tempo que pode variar de 1 a 7 h de reação. Os produtos obtidos são de alta pureza, cerca de 99%, e apresentam um rendimento maior que 90 %. Em processos onde são utilizados amônia em EG, com acetato de zinco como catalisador e temperatura de 70 °C, também se pode obter reações com rendimento superior a 85 % (Bentes, 2008).

Em geral, a despolimerização do PET depende da pressão, da temperatura, da razão EG/PET, da utilização ou não de catalisadores e do catalisador usado. A despolimerização é muito rápida e proporcional ao quadrado da concentração de EG em temperatura, pressão e concentração de PET constantes (Schwantes, 2006).

Gaseificação

Neste processo, os resíduos são submetidos a uma atmosfera redutora que se encontra a temperaturas elevadas, 700-1600 °C. Deste modo, ao contrário do que acontece na incineração, durante o processo de gaseificação apenas se dá a oxidação parcial dos materiais carbonáceos, o que permite a formação de um gás – *syngas* ou gás de síntese – que tem como constituintes principais o monóxido e dióxido de carbono e o oxigénio. No entanto, a composição exata do gás depende do material utilizado, da temperatura de reação e da razão O₂/H₂O (Saiote, 2012).

O *syngas* possui aplicações alargadas, especificamente da indústria química e siderúrgica e muitas vezes é também usado como combustível. A gaseificação apresenta a vantagem de ser um processo que tolera materiais de diferentes origens e graus de contaminação, no seu processamento, sendo também de fácil utilização. Entretanto, quando os resíduos a processar possuem PVC, PU, PA, formam-se compostos gasosos clorados ou azotados que comprometem a qualidade do gás formado e corroem as partes da infraestrutura de gaseificação com que entram em contato. Há, entretanto, necessidade de se proceder a uma eliminação dos compostos nocivos presentes nos resíduos, antes de serem inseridos no gaseificador. Outro processo indispensável é a remoção das impurezas no gás obtido – *syngas* – por meio da absorção, conversão catalítica, adsorção ou separação por membrana. (Saiote, 2012). Apesar de a solução ser bastante atrativa, pela flexibilidade ora apresentada, apenas é economicamente viável quando utilizada em larga escala.

Liquefação Indireta

É um processo no qual se podem distinguir duas fases: a primeira conduz a produção de gás de síntese por meio do processo de gaseificação de resíduos de plásticos, e a segunda a produção de hidrocarbonetos líquidos através da reação de moléculas de CO e H₂. As principais tecnologias utilizadas para converter *syngas* em compostos líquidos são: o processo de *Fischer-tropsch*, processo de síntese de metanol e o processo de DME (Saiote, 2012).

O processo de *Fischer-Tropsh* consiste numa reação de polimerização do monóxido de carbono, em que o *syngas* reage na presença de um catalisador de ferro ou cobalto para produzir hidrocarbonetos e produtos oxigenados (Farias, 2007).

Algumas considerações sobre o processo *Fischer-Tropsch*:

- Quando se aplica temperaturas elevadas (350°C), são obtidos produtos ricos em olefinas com 5 a 10 átomos de carbono, que podem ser usados para a produção de gasolina sintética ou outros produtos químicos (Saiote, 2012).

- Quando é usada uma temperatura relativamente baixa (250°C), são obtidos produtos ricos em parafinas com 12 a 19 átomos de carbono, pelo que podem ser usados na produção de gásóleo sintético ou ceras (Saiote, 2012).

Contudo, apesar de este processo poder operar num intervalo alargado de temperaturas, o desenvolvimento desta tecnologia tem sido mais orientado para produção de gásóleo sintético, visto que o gásóleo destilado, produzido a baixas temperaturas, pode ser usado diretamente como combustível, sem qualquer tratamento prévio, o que não acontece no caso da nafta produzida a altas temperaturas (Saiote, 2012).

O processo de síntese de Metanol apresenta, normalmente, como resultado o metanol, sintetizado a partir do gás de síntese, que pode ser utilizado diretamente como combustível nos motores de ignição por faísca. Este composto químico possui um elevado número de octanas e é menos poluente, quando comparado com a gasolina reformulada (onde houve substituição de compostos prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente, por outros menos prejudiciais). Entretanto, apesar destes benefícios, o metanol possui uma baixa densidade energética (metade da gasolina), uma elevada afinidade com a água, um grau elevado de toxicidade e é um composto corrosivo (Saiote, 2012).

A partir da síntese do metanol podem também ser produzidos outros combustíveis, como a gasolina, através do processo Mobil MTG ou, quando se recorre à desidratação catalítica do metanol, através do processo DME. (Saiote, 2012).

Fundição de Ferro

O minério de ferro, quando fundido, serve como matéria prima para diversas aplicações em diferentes áreas. Entretanto, na natureza, o ferro ocorre espontaneamente na forma oxidada, pelo que há necessidade do uso de agentes redutores com elevadas afinidades químicas com o oxigénio para que o ferro obtido esteja no estado elementar. Neste processo o agente redutor normalmente utilizado é o coque, que, quando gaseificado em

alto-forno, produz um gás rico em CO, o qual apresenta um elevado potencial de conversão em CO₂ quando em contato com óxidos de ferro (Saiote, 2012).

Os plásticos têm potencial para serem incorporados no processo de fundição de ferro, dado apresentarem, na sua constituição, carbono, que funciona como substituto dos agentes redutores convencionais.

Os plásticos, depois de passarem por um tratamento prévio que consiste em remover contaminantes, uniformizar a matéria e reduzir o volume, são introduzidos em alto forno, com ar quente, para produzir o gás de síntese por meio da gaseificação.

A utilização do *syngas* na fundição de ferro revela-se com benefícios acrescidos, quando comparado a gás produzido pela gaseificação do coque, visto que o aumento de hidrogénio livre no interior do alto forno proporciona um maior potencial reductor da atmosfera. Quando o processo de fundição do ferro termina, o gás de síntese é recolhido no topo do forno e reutilizado como combustível. Contudo, apesar das vantagens da introdução de plásticos na redução do ferro, apenas se pode substituir até 40% do coque utilizado. Este facto deve-se à influência que a presença de coque tem na circulação de gases, líquidos e sólidos no interior do forno, pelo que não pode ser adaptado pelos plásticos (Saiote, 2012).

Fabrico de Coque

Este processo adequa-se à reciclagem química de resíduos de plásticos, pelo que o processo de carbonização do carvão ocorre sob temperaturas elevadas numa atmosfera redutora.

Tal como acontece na reciclagem de resíduos de plásticos, através da fundição de ferro, há necessidade de um tratamento prévio dos mesmos para remover os contaminantes, para reduzir o volume e para homogeneizar o material, que posteriormente se mistura com carvão e se coloca no interior da fornalha, como mostra a **Figura 17** (Saiote, 2012).

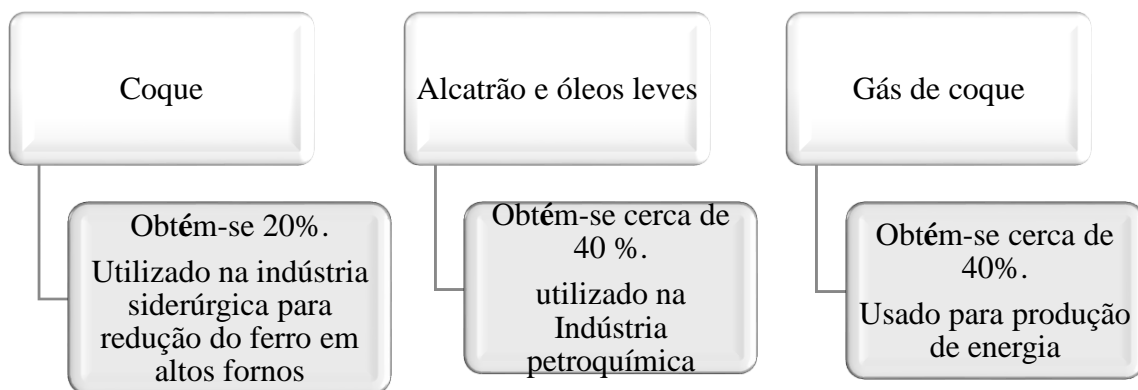


Figura 17 - Produtos do fabrico de coque, por meio de resíduos sólidos de plásticos

Adaptada de Saiote (2012)

Desta forma, os plásticos são carbonizados com o carvão a temperaturas na ordem dos 1100°C, originando produtos que serão posteriormente utilizados como matérias-primas em diversas áreas da indústria. Entretanto, a introdução de polímeros na produção de coque pode criar problemas ao nível da qualidade do coque produzido, a qual é afetada negativamente se a massa de plásticos adicionada for superior a 1% da massa do carvão (Saiote, 2012).

Pirólise

A pirólise é um processo químico que se usa na degradação dos materiais poliméricos na reciclagem química, por meio de aquecimento, com a ausência de oxigénio. (Grigore, 2017). Este é um processo termoquímico, que recorre a uma tecnologia capaz de eliminar resíduos de plásticos que são difíceis de despolimerizar, que não são reciclados mecanicamente ou reprocessados, mas incinerados ou depositados em aterros sanitários como o PE, PP, PS, embalagens multicamadas reforçadas com fibra compósitos e resíduos de demolição. (Ragaert, Delva, & Geem, 2017)

A maior parte das embalagens de alimentos requer uma camada de barreira para proteger contra o oxigénio. O álcool etileno-vinílico (EVOH) é comumente utilizado porque é mais eficaz no bloqueio do oxigénio do que o PE, o PET ou o náilon. Sempre que o EVOH não é suficiente, recorre-se à incorporação de uma barreira de filme metalizado.

Quando a despolimerização e a reciclagem mecânica são insuficientes, há necessidade de recorrer a métodos mais eficazes como a pirólise. (Ragaert, Delva, & Geem, 2017)

Ao contrário dos outros métodos de valorização do material plástico acima descritos, a pirólise dispensa tratamento prévio dos resíduos de plásticos, porque lida com material altamente contaminado como os de origem automobilística, como as misturas altamente heterogêneas, sem comprometer, quando recorre a grandes volumes de resíduos, o processo e a sua viabilidade econômica. (Ragaert, Delva, & Geem, 2017).

Este processo ocorre em temperaturas moderadas a altas (500 ° C) a pressão de 1-2 atm com a ausência de oxigênio. As altas temperaturas permitem romper a macroestrutura do polímero para formar moléculas menores. Os produtos de pirólise podem ser decompostos em três frações: gás, líquido e sólido resíduo (Ragaert, Delva, & Geem, 2017).

O óleo de pirólise bruto é refinado e usado como combustível alternativo ao óleo para aquecimento e aplicativos de geração de energia. As propriedades físicas e químicas do óleo de pirólise (densidade, viscosidade dinâmica, valor calorífico e composição química) são medidas e comparadas com o combustível diesel padrão. O óleo combustível de pirólise tratado pode ser usado como alternativa ao combustível diesel no motor de ignição por compressão (Ghenai, Alamara, & Inayat, 2019).

Outro produto da pirólise atmosférica de resíduos de plásticos são as nanopartículas de carbono quase esféricas, que consistem em conchas grafíticas cêntricas, conhecidas como cebolas de carbono, que são obtidas pela pirólise de resíduos de plásticos como o PP, PET, PVC, PS, PC, HDPE, LDPE realizada em forno mufla sob condições estáticas. A formação e a pureza das cebolas de carbono dependem muito dos tipos de resíduos de plásticos, bem como do volume da câmara de aquecimento (Sawant, Somani, Panda, & Bajaj, 2013).

A pirólise apresenta reações complexas que acontecem porque o processo ocorre na presença de diferentes polímeros que, por sua vez, dão origem a espectros de produtos completamente diferentes, resultantes do percurso de decomposição dominante, bem como da presença de algumas impurezas, podendo condicionar o produto obtido a uma perda substancial do seu valor.

A presença de PVC no fluxo é uma dificuldade na pirólise, pois apresenta diferença de densidade significativa em relação a outros tipos de plásticos. Esta diferença impossibilita a total conversão dos plásticos, levando à permanência de uma pequena fração na mistura que vai resultar em imperfeições na separação. Então, deve proceder-se à remoção do HCL (ácido clorídrico) contido nos produtos, pois a sua presença impõe severas restrições de aplicação. As diferentes frações do produto irão também conter alguns traços de enxofre ou outros elementos, pois a maioria dos plásticos contém anti-chama ou aditivos antioxidantes.

A destilação é a única técnica que pode ser usada para purificar os monómeros obtidos e os líquidos formados, sendo que as especificações rígidas sobre a pureza dos monómeros implicam a implementação de grandes torres de destilação, com altas funções de resfriamento (Ragaert, Delva, & Geem, 2017).

Uma especificação normalmente usada indica que a quantidade de cloro não deve exceder 10 ppm. Para se alcançar esta especificação, a pirólise a baixa temperatura (300°C) é um desafio para os resíduos que contenham PVC. Num reator de pré-pirólise, os plásticos são derretidos e a degradação do PVC ocorre enquanto outros tipos de plásticos permanecem quase inalterados e obtém-se a remoção de 98% do cloro. O cloreto restante no efluente pode ser neutralizado por meio de reação por adição de CaCO_3 , CaO , NaHCO_3 , $\text{Na}_2(\text{CO}_3)_2$ ou NH_3 (Ragaert, Delva, & Geem, 2017).

De entre os mecanismos de pirólise, como os reatores de leito fluidizado borbulhante, os reatores de tanque agitado e os reatores de parafuso / sem-fim, os reatores de leito fluidizado são considerados como a opção mais favorável para o processo de pirólise de plásticos, dado apresentarem uniformidade do produto e terem maiores taxas de conversão. No entanto, um novo conceito de reator disruptivo foi introduzido, entretanto, fazendo uso de um leito giratório, o chamado vórtice gás-sólido reator numa geometria estática (GSVR-SG) ou reator de vórtice. Este novo conceito de reator disruptivo permite melhorar significativamente certos processos que sofrem de calor convectivo ou limitações de transferência de massa entre as fases e apresenta capacidade de trabalhar com diferentes agentes de fluidização, como o vapor ou o hidrogénio. A alta aceleração centrífuga (maior do que 30 g) produz velocidades de deslizamento muito maiores, calor e massa mais intensos na transferência entre fases. Este novo conceito de tecnologia

GSVR-SG ainda se encontra no nível de análises de avaliação de fluxo de frio, experimentação e modelagem (Ragaert, Delva, & Geem, 2017).

A reciclagem química para obtenção de nanotubos de carbono é uma rota favorável, uma vez que apresenta propriedades térmicas e elétricas que lhe proporcionam uma vida útil longa. Os nanotubos de carbono são geralmente produzidos, usando-se fontes de carbono refinadas, como tolueno, naftaleno, metano, etano. Podem também ser fabricados a partir de hidrocarbonetos não convencionais e plásticos, os quais são fontes de carbono altamente refinadas, o que os torna uma excelente fonte de matéria-prima para o crescimento de nanotubos de carbono (CNTs).

O crescimento de CNTs a partir de plásticos foi alcançado, usando-se a pirólise de polímeros, como PP, PE, PET, que são aquecidos num reator de leito fluidizante a gás sólido e que atravessam para um local com catalisador, a fim de completar a reação. (Hedayati, Barnett, Swan, & White, 2019)

Hidrocracking

O *Hidrocracking* é um outro método que pode ser usado para solucionar problemas relacionados com os resíduos de plásticos e que consiste na reação dos resíduos de plásticos com hidrogénio em autoclave, com variação de temperatura de 350-450 graus celsius, com pressão a 15 MPA na presença de um catalisador. Pode ser realizado por processos térmicos e catalíticos (Saiote, 2012; Hauli, Wijaya, & Syoufian, 2020).

O *Hidrocracking* térmico requer temperaturas muito altas, enquanto o *Hidrocracking* catalítico é realizado na presença de um catalisador a uma temperatura relativamente mais baixa. Normalmente, utilizam-se catalisadores compostos por metais de transição como Pt, Ni, Mo e Fe, que são suportados por sólidos ácidos como a alumina, a sílica-alumina amorfa, os zeólitos e a zircónia sulfatada. Estes catalisadores podem ser usados, não apenas no processo de *Hidrocracking* catalítico, como também no de *Cracking* – que consiste na liquefação de polímeros, através da quebra das ligações entre parte dos monómeros constituintes da estrutura polimérica, permitindo obtenção de produtos

líquidos que poderão ser utilizados como matéria-prima na indústria petroquímica ou como combustível. (Saiote, 2012; Hauli, Wijaya, & Syoufian, 2020)

O *Hidrocracking* produz compostos altamente saturados, evita a presença de olefinas na fração líquida, sendo vantajoso em relação aos processos de *cracking* que não utilizam hidrogénio, devido à possibilidade de utilizar a mistura de hidrocarbonetos líquidos como combustível, sem ser necessário recorrer a um pré-tratamento. Além disso, o hidrogénio promove a reação de heteroátomo como o Cl, N e S, que podem estar presentes nos resíduos de plásticos.

Porém, o facto de o hidrogénio ter um custo elevado e de haver necessidade de altas pressões na sua operação, torna esta opção de valorização de resíduos de plásticos bastante dispendiosa (Saiote, 2012).

Craqueamento catalítico de fluido (FCC)

O craqueamento catalítico ou despolimerização de resíduos de plásticos consiste na decomposição térmica de compostos orgânicos por meio de um catalisador e na ausência de ar, permitindo a produção de hidrocarbonetos de peso molecular inferior ao peso molecular da matéria prima.

Além disso, o uso de catalisador permite condições de reação menos rigorosas, reduzindo o consumo de energia do processo geral e, como tal, afetando o custo operacional total.

(Marczak, 2019). Para que este processo ocorra com sucesso, os plásticos residuais usados como matéria prima devem ser o PE, o PP e o PS.

Este método de craqueamento catalítico apresenta a vantagem de os produtos poderem ser direcionados para combustível, *commodity*, e para produtos químicos, dependendo das condições do processo.

O craqueamento catalítico aumenta o rendimento da gasolina. Dois tipos diferentes de craqueamento catalítico podem ser distinguidos: o craqueamento de fase líquida e o craqueamento de fase de vapor.

No processo de craqueamento de fase líquida, o catalisador entra em contacto direto com o polímero fundido, pelo que ajuda a converter os oligómeros parcialmente degradados.

No processo de craqueamento de fase de vapor, os vapores formados durante o mesmo são colocados em contacto com o catalisador. O uso de catalisadores sólidos, como sílica-alumina, ZSM-5, zeólitos e materiais mesoporosos, nos processos acima identificados, foi testado e é possível.

Entre as técnicas de reciclagem, a única aceitável, de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável, é a reciclagem química, pois permite a formação dos monómeros de que o polímero é feito (Grigore, 2017).

Os produtos obtidos por meio da reciclagem química podem ser submetidos a processos de purificação e podem tornar-se semelhantes aos produtos das indústrias petroquímicas. Desta forma, existe um importante mercado para a reciclagem de plásticos, em especial de PET, uma vez que a maior parte das suas aplicações se concentra na indústria de embalagens de produtos alimentícios. Como a reciclagem mecânica tradicional não garante uma completa retirada de todas as impurezas que possam associar-se a um polímero, durante a sua vida útil, a utilização dos plásticos em contacto direto com os alimentos é proibida por lei. Em alguns casos, nomeadamente quando se comprova a eficácia do processo para retirar impurezas contidas nos plásticos, são concedidas autorizações especiais. De entre os processos que permitem a obtenção dessas autorizações, destacam-se os processos de reciclagem química, assim como o processo de técnicas de super lavagem e de injeção de multicamadas (camada de reciclados entre duas camadas de material virgem, as quais terão contacto com o alimento). (Schwantes, 2006)

3.4. Valorização Energética ou Reciclagem Quaternária

Este método refere-se à recuperação do conteúdo energético do plástico, pois este apresenta um elevado poder calorífico (Marczak, 2019), com valores de aquecimento superiores a 40 MJ / kg, devido à elevada concentração de carbono e de hidrogénio e ao baixo teor de cinzas.

Um kg de resíduos de plásticos tem o mesmo valor de aquecimento que um litro de óleo combustível. A energia adquirida a partir de plásticos é convertida em forma de calor, de vapor ou de eletricidade.

As indústrias com fornos de cimento que recorrem a processos de combustão em leito fluidizante (indústria de papel) e as fábricas a carvão utilizam energia recuperada através de resíduos de plásticos misturados para substituir diretamente os combustíveis fósseis (Devasahayam, Raju, & Hussain, 2019).

O benefício ambiental que resulta da utilização energética dos resíduos consiste na redução dos recursos naturais não renováveis. (Marczak, 2019) A recuperação de energia continua a ser uma opção adequada para os resíduos de plásticos que são técnica e economicamente difíceis de reciclar (Devasahayam, Raju, & Hussain, 2019).

Segundo Devasahayam, Raju, & Hussain (2019) “A valorização energética apresenta algumas vantagens relativamente aos outros tipos de reciclagem”:

1. Redução da massa de resíduos em 90%;
2. Destruição das substâncias potencialmente perigosas na massa de resíduos;
3. A fração inorgânica dos resíduos é essencialmente mineralizada por incineração de uma escória inerte, que pode ser utilizada como matéria-prima na construção rodoviária;
4. Opção viável para a reciclagem de substâncias poliméricas mistas ou fortemente poluídas;
5. Melhor e mais segura opção para lidar com resíduos de plásticos perigosos, como os resíduos de plásticos de medicamentos e hospitalares ou as embalagens de mercadorias perigosas.

A inceneração é a maneira mais eficaz de reduzir o volume de materiais orgânicos que envolvem a recuperação de energia e é uma boa solução porque gera energia considerável a partir de polímeros. Contudo, esta opção não é ecologicamente aceitável devido ao risco para a saúde pública, pois liberta substâncias tóxicas que são transportadas pelo ar, como as dioxinas, os metais pesados, os polímeros que contêm cloro, o carbono tóxico e os radicais livres à base de oxigénio). (Grigore, 2017)

3.4.1. Incineração

A incineração e a co-incineração de resíduos são regulamentadas pela Diretiva 2000/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de dezembro. Esta diretiva tem como objetivo prevenir ou, na medida do possível, reduzir ao mínimo os efeitos negativos no ambiente, em especial a poluição resultante das emissões para a atmosfera, para o solo e para as águas superficiais e subterrâneas, bem como prevenir os riscos para a saúde humana. Este objetivo deve ser atingido através da implementação de condições de funcionamento rigorosas e de requisitos técnicos, através do estabelecimento de valores-limite de emissão pelas instalações de incineração e de co-incineração de resíduos na Comunidade, e também através da observância dos requisitos da Diretiva 75/442/CEE.

Uma instalação de incineração é, de acordo com a Diretiva 2000/76/CE, qualquer unidade e equipamento técnico fixo ou móvel, dedicado ao tratamento térmico de resíduos, com ou sem recuperação de energia térmica gerada pela combustão. Esta definição inclui a incineração de resíduos por oxidação e outros processos de tratamentos térmicos, como a pirólise, a gaseificação ou processos de plasma, na medida em que as substâncias resultantes do tratamento são subsequentemente incineradas.

Embora a incineração de resíduos seja, em geral, mal-aceite pela sociedade, nos anos 80, as tecnologias de incineração de resíduos já permitiam o processamento dos mesmos com baixas emissões, bom rendimento energético e alto desempenho.

A resistência na aceitação da valorização energética de resíduos e, em particular, de resíduos de plásticos em conjunto com RSU, passa pelo receio de poluição ambiental e pelo receio de que esta operação de gestão comprometa o cumprimento das metas de reutilização e reciclagem estabelecidas.

O desenvolvimento de tecnologias de incineração de resíduos, em conjunto com sistemas de limpeza de gases altamente eficientes, permite atingir eficiências de mais de 99% na remoção da maioria das substâncias perigosas que podem ser encontradas nos fluxos de resíduos. Isto é válido para os poluentes gasosos, para os metais pesados e para as dioxinas e furanos, com origem nos resíduos (Letras, 2008).

3.4.2. Coíncineração

Uma instalação de coíncineração, de acordo com a Diretiva 2000/76/CE é uma instalação fixa ou móvel que tem como principal finalidade a produção de energia ou de materiais e que utiliza resíduos como combustível regular ou adicional, ou na qual os resíduos são sujeitos a tratamento térmico com vista à respetiva eliminação. Caso a coíncineração se der de forma a que o objetivo principal da instalação deixe de ser a geração de energia ou a produção de materiais, para ser o tratamento térmico dos resíduos, a instalação será considerada instalação de incineração.

A utilização de resíduos como combustível auxiliar em unidades de coíncineração, em particular, em cimenteiras, requer um cumprimento de critérios de qualidade mais exigentes do que na incineração. Além dos requisitos gerais, tais como a garantia de disponibilidade e os critérios económicos, os combustíveis têm de assegurar que o funcionamento dos fornos e a qualidade do clínquer não são comprometidos. Estes fatores são muito relevantes porque o processo de combustão envolve o contacto direto, térmico e material, entre o combustível e os produtos de combustão. Em geral, os requisitos técnicos para a admissão de combustíveis alternativos incluem:

- poder calorífico tão elevado quanto possível;
- baixa produção de cinzas com composição homogénea;
- preparação correta para queima;
- formato transportável e doseável. (Letras, 2008)

4. METODOLOGIA

4.1. Delineamento

✓ Tipo de Pesquisa

Na realização do estudo apresentado, utilizou-se a metodologia centrada na pesquisa quantitativa. Segundo Silva, Lopes, & Junior (2014), a pesquisa quantitativa usa-se quando se conhece as dimensões de um objeto e as suas características, pois torna-se possível quantificar a ocorrência de um fenómeno por meio da construção de escala de atitudes e enumerar as variáveis de forma a que o instrumento complete as possíveis dimensões do objeto.

Para a obtenção de uma análise mais profunda, recorreu-se a dados primários e a dados secundários. Os dados primários foram obtidos pelo investigador, uma vez que não há dados disponíveis para responder às perguntas, sendo estes coletados especificamente para o presente trabalho. Desta forma, por meio da plataforma *google forms*, aplicou-se o questionário aos utentes do ISEL, distribuído por meio da *internet*, especificamente por *e-mail*, como forma de evitar custos e de impedir o contacto presencial, devido à situação pandémica em evidência, observando-se assim as medidas de biossegurança exigidas pela Direção Geral de Saúde (DGS).

Os dados secundários foram coletados por intermédio da pesquisa bibliográfica, a saber, artigos científicos, teses, relatórios obtidos em *websites* oficiais, específicos e especializados para assuntos referentes ao ambiente, com foco no tema tratado na presente dissertação. Foram usadas, ainda, outras fontes consideradas credíveis e recentes, julgadas importantes para o enriquecimento do trabalho ora desenvolvido.

De entre as limitações do presente trabalho, menciona-se o fenómeno pandémico da COVID-19, vivido globalmente, que não possibilitou uma amostra maior por estar restringida a obtenção de dados *on-line*. Outra limitação prende-se com o facto de a pesquisa obedecer a um carácter transversal, sendo realizada num único momento da realidade, limitando os resultados ao momento estudado. Não obstante, a amostra atendeu às recomendações estatísticas, possibilitando uma análise representativa da população do ISEL.

Sobre os questionários aponta-se uma possível falta de espontaneidade nas respostas dos inquiridos, pois estes puderam marcar aleatoriamente a resposta que consideraram correta, que nem sempre parece corresponder à prática diária dos mesmos.

4.2. Contexto Metodológico

Um questionário é uma perspectiva metodológica quantitativa constituído por uma série de questões sobre um determinado tema. Permite obter informação de natureza diversa e medir variáveis como atitudes, percepções, opiniões. O seu uso é vantajoso pois permite rapidez na obtenção dos dados e baixo custo, enquanto que algumas desvantagens são que devem ser curtos, podem gerar não respostas, a taxa de retorno pode ser baixa, maior risco de vieses na recolha, tratamento e análises dos dados. (Rodrigues 2021)

O questionário deve ser constituído por introdução, layout atrativo, uma boa aparência estética, uma verificação final do questionário. A introdução deve obedecer os seguintes requisitos um pedido de cooperação no preenchimento do questionário, razão da aplicação do questionário, Uma apresentação curta da natureza geral do questionário, O nome da Instituição, Uma “declaração” formal da confidencialidade das respostas, Uma “declaração” formal da natureza anónima do questionário, Consentimento informado (Rodrigues 2021).

As perguntas usadas no questionário devem as que apresentem resultados que interessem diretamente ao problema da pesquisa. Essas Perguntas podem ser abertas ou fechadas. Perguntas abertas não sugerem qualquer tipo de resposta e são dadas pelas palavras do respondente. Perguntas fechadas oferecem ao respondente algum tipo de resposta deve optar por uma das que lhe foram apresentadas (Rodrigues 2021). Neste trabalho apenas usou-se perguntas fechadas, pois o resultado pretendido é uma análise estatística. Desta feita usou-se perguntas com duas alternativas (sim e não), escolha múltipla e em escalas.

✓ Pergunta da Pesquisa:

Pretende-se encontrar resposta as seguintes perguntas de investigação:

- A falta de informação é a responsável pelo descarte incorreto de resíduos de plásticos e microplásticos?

- Uma vez informados, a preocupação e responsabilidade, em torno dos resíduos de plásticos e microplásticos, é maior?

- Como os utentes do ISEL avaliam a valorização dos resíduos de plásticos e microplásticos?

✓ **Hipóteses da Investigação:**

H0: A falta de informação não influencia diretamente o uso indiscriminado de plásticos e consequentemente o despejo destes resíduos na natureza.

H1: A falta de informação influencia diretamente o uso indiscriminado de plásticos e consequentemente o despejo destes resíduos na natureza.

✓ **Seleção das variáveis e da amostra**

No presente trabalho foram adotadas duas variáveis: Ordinal (faixa etária, função no ISEL, nível de escolaridade) e Nominal (género, resíduos de plásticos e resíduos de microplásticos), sendo estas variáveis dispostas num questionário com três grupos:

1) Perguntas referentes ao estatuto socioeconómico-demográfico da população inquirida.

2) Perguntas referentes à valorização dos resíduos de plásticos.

3) Perguntas referentes à perceção da presença dos microplásticos.

✓ **População e Amostra**

Foram aplicados questionários à população do ISEL, recorrendo-se à amostragem não-probabilística por conveniência. Este tipo de amostragem é utilizado quando os respondentes são escolhidos porque são facilmente acessíveis. O método de amostragem não probabilística por conveniência refere-se à recolha de informação de forma ocasional junto de elementos que se encontrem nos locais onde os dados estão a ser recolhidos (Vieira, 2008).

O uso deste tipo de amostragem decorre especificamente da pandemia COVID -19 que, a nível global, assola a população. Com as atividades letivas presenciais encerradas, foi

impossível uma abordagem pessoal e aleatória da população, pelo que o grupo a que se teve acesso e que se mostrou disponível para responder é constituído por professores, alunos do Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente (MEQA), alunos da Licenciatura em Engenharia Electrónica, Telecomunicações e Computadores (LEETC), alunos do Mestrado em Engenharia Civil, entre outros.

O questionário final foi enviado apenas depois de ser aplicado a um grupo de teste e permitiu identificar imprecisões, bem como aplicar as possíveis correções relativas à extensão do questionário e às formulações incorretas. As respostas dadas por este grupo de teste não foram consideradas como amostra para a presente dissertação.

No início do questionário, apresenta-se uma curta introdução explicativa para facilitar a compreensão e o preenchimento do mesmo, bem como o seu objetivo e a declaração de confiabilidade.

Procurou-se usar uma linguagem simples para facilitar o entendimento, e as perguntas foram elaboradas de forma clara e sucinta para não provocar desinteresse aos utentes do ISEL. A taxa de respostas encontrada é de 26,8%, conforme **Figura 19**, situando-se abaixo da taxa de respostas encontrada pela Universidade do Porto no inquérito de satisfação, realizado em 2012, que foi de 38% (UP, 2012). Entretanto, Hill & Hill, 1998 apontam como taxas de respostas 30% para questionários que não contenham perguntas sensíveis e 10% caso haja perguntas sensíveis.

$$\text{Taxa de Resposta} = \frac{\text{Número de Respostas Obtidas}}{\text{Número de Inquéritos Enviados}} \times 100\%$$
$$\text{Taxa de Resposta} = \frac{73}{272} \times 100\% \qquad \text{Taxa de Resposta} = 26,8\%$$

Figura 18 - Taxa de Respostas do Inquérito

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Dados Sociodemográficos

Neste capítulo, são apresentados os resultados das variáveis numéricas definidas no capítulo anterior, pelo que se procedeu à análise descritiva dos resultados obtidos, sendo o objetivo do questionário perceber os hábitos de utilização de objetos de plásticos que posteriormente dão origem aos resíduos de plásticos e microplásticos.

No total de respostas, na realização do questionário, obteve-se 42% do género masculino e 58% do género feminino, conforme indica a Figura 19. Martins (2020), no seu estudo sobre “Poluição por plástico. A crise ambiental e as políticas europeias e nacionais”, obteve 26,6% para o género masculino e 71,4% para o género feminino. Também Sá (2019), no seu estudo “Extensão do ciclo de vida das embalagens”, obteve 31,20% para o género masculino e 68,80% para o género feminino. Pereira (2014), no seu estudo “Perceção do consumidor Português relativamente ao consumo de bens alimentares em contato com embalagens plásticas”, obteve 28% para o género masculino e 72% para o género feminino. Estes estudos revelam diferenças consideráveis em relação ao objeto de análise do presente estudo, e uma semelhança de maioria absoluta para o género feminino face ao masculino. Entretanto, Esteves (2012), no seu estudo “A Importância da Embalagem na Decisão de Compra”, obteve 53,95% para o género masculino e 46,05% para o género feminino, apresentando dados que diferem do presente trabalho pela maioria absoluta pertencer ao género masculino.

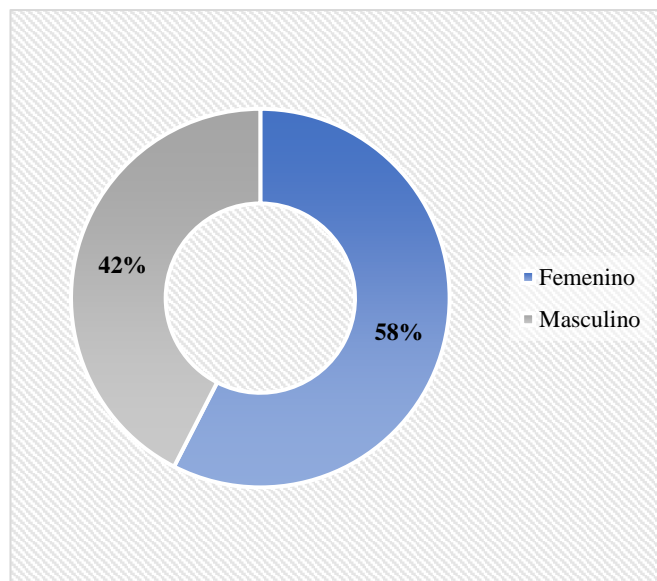


Figura 19 - Distribuição percentual referente ao género dos inquiridos

No que diz respeito à faixa etária dos inquiridos, quer do género masculino quer do feminino, percebe-se que o maior número de respostas se situa na faixa etária de 17-26 anos, correspondendo a uma percentagem de 45%. De modo semelhante, Martins (2020) obteve 0,6% para <18 anos, 31,5% para a idade 18-24 anos. Já Esteves (2012) apresentou um valor percentual de 57,9% para a idade dos 18-29 anos, Sá (2019) verificou que apenas 1 inquirido tinha menos de 18 anos, 5,23% tinham idades entre os 18-30 anos, e Pereira (2014) obteve 8% para a idade de 18-24 anos, dados que diferem do presente trabalho pela forma como foram organizadas as faixas etárias.

Nesta dissertação, obteve-se uma percentagem de 16% para a faixa etária dos 27-36 anos. Martins (2020) obteve 10,7% para a idade de 25-34 anos, Esteves (2012) apresentou um resultado de 23% para a idade de 30-39 anos, Felipe (2014) obteve 20% para a idade de 26-35 anos, e Pereira (2014) teve um resultado de 17% para a idade de 24-30 anos.

Neste estudo, obteve-se 14% de respostas para as idades 37-46 e 47-56, estando em conformidade com Felipe (2014) que obteve 18% para a idade de 36-45 e 14% para >46 anos, contrariamente a Esteves (2012) que obteve 11,2% para a idade de 40-49 anos e 6,6% para a idade de 50-59 anos; porém Martins (2020) no seu estudo obteve 19,6% para a idade de 35-44 anos e 20,8% para a idade de 45-54 anos, e Pereira (2014) obteve 17% para a idade de 36-42, 14% para a idade de 42-48 e 16% para a idade de 48-54 anos, dados que estão acima dos que foram encontrados no trabalho ora apresentado.

Entretanto, Sá (2019), englobando duas faixas etárias deste trabalho, obteve 87,21% para uma larga faixa de 31-65 anos. Por último, obteve-se neste trabalho, a percentagem de 11% na idade de >56 anos, sendo este o grupo com menor expressão de respostas conforme a **Figura 20**.

Estes dados apresentam uma diferença razoável com os que Martins (2020) encontrou para a idade de ≥ 55 anos com 16,7%, contrariamente a 1,3% dos inquiridos com mais de 60 anos apresentados por Esteves (2012), 6,98% dos inquiridos com mais de 65 anos apresentados por Sá (2019) e 5% dos inquiridos com idades compreendidas entre 54-60 e 3% para 60-66 anos, apresentados por Pereira (2014).

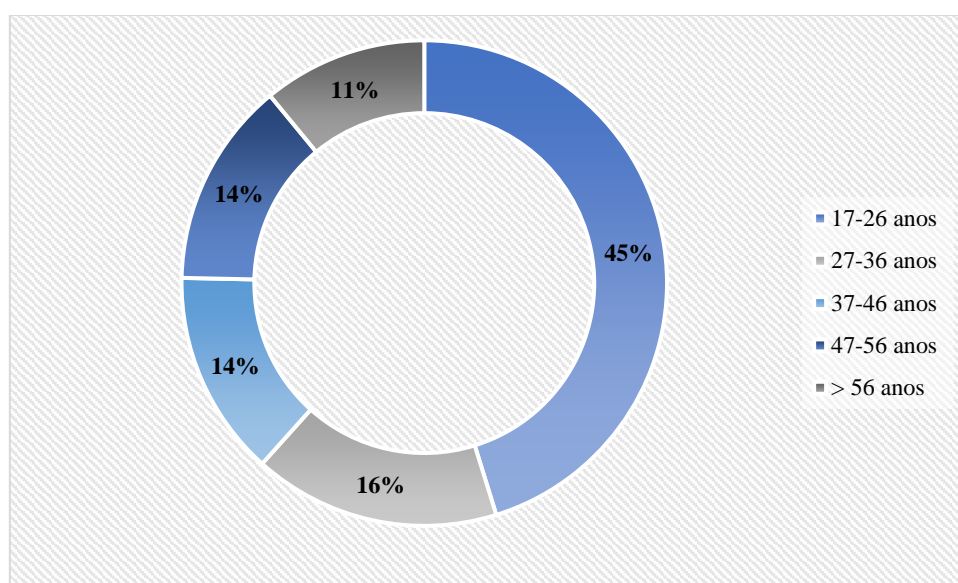


Figura 20 - Distribuição percentual da faixa etária dos inquiridos

Conforme se observa na amostra, mais de metade dos inquiridos, correspondente a 77%, são estudantes, contrariamente aos 14,9% de Martins (2020), e 23% são docentes, categoria não considerada por Martins (2020), que obteve 6% e 56,6% para as categorias de trabalhador estudante e empregado por conta de outrem, respetivamente. Para a opção “Funcionário” não se observou qualquer percentagem, como ilustra a **Figura 21**. Os estudos de Esteves (2012), Felipe (2014) e Sá (2019) não consideraram a função.

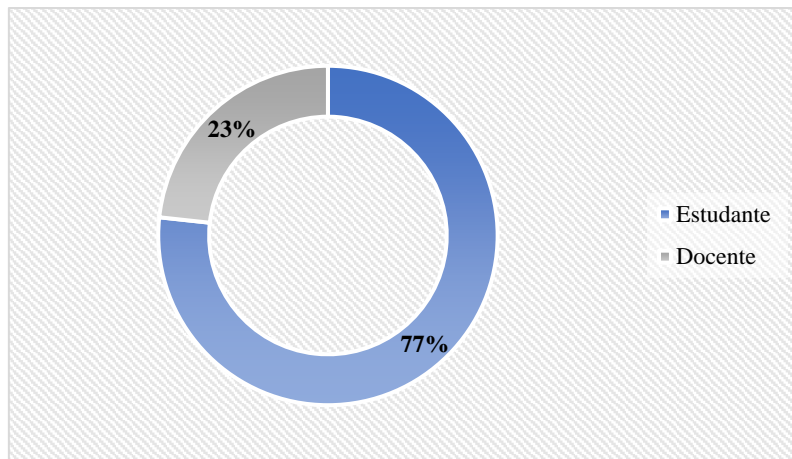


Figura 21 - Distribuição percentual da função dos inquiridos

A **Figura 22** apresenta a distribuição percentual dos inquiridos de acordo com o grau académico, podendo-se constatar o seguinte:

- 45% tem a licenciatura concluída, aproximando-se do resultado de Martins (2020) - 55,4%, e do de Pereira (2014) - 38%;
- 19% tem o ensino secundário, sendo 22,6% o resultado encontrado por Martins (2020) e 12% o resultado de Pereira (2014);
- 19% tem mestrado, sendo 17,3% o resultado encontrado por Martins (2020) e 17% o apresentado por Pereira (2014);
- 15% tem doutoramento, enquanto o resultado de Martins (2020) é 0,6% e o de Pereira (2014) 8%;
- Apenas 1% tem curso técnico profissional de análises laboratoriais nível 4, possibilidade colocada na opção “outro” da questão submetida. Martins (2020) não disponibilizou a possibilidade “outro” para os inquiridos, porém, ainda considerou o ensino primário – 1º ciclo com 1,2%, ensino básico – 2º ciclo com 1,2,% e o ensino básico – 3º ciclo com 1,8%. Pereira (2014) considerou o ensino básico com 1% dos inquiridos.

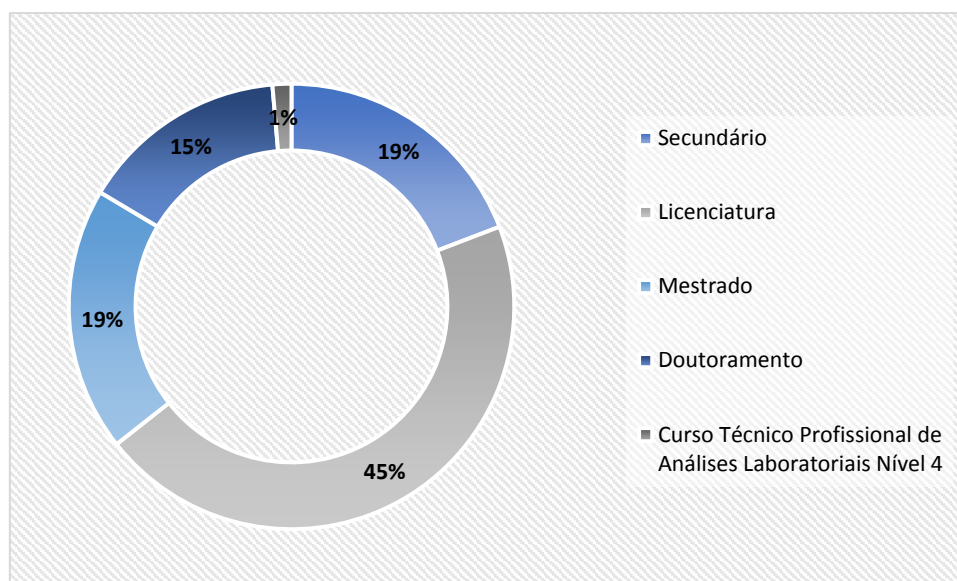


Figura 22 - Distribuição Percentual do grau académico dos inquiridos

5.2. Dados Referentes Às Respostas Para Os Resíduos De Plásticos

Para a pergunta “No seu dia a dia considera importante a tipologia de embalagem (ex. plástico, papel, metal, etc.) utilizada nos produtos que adquire?” apenas 11% respondeu que não considerava importante a tipologia de embalagem utilizada nos produtos que adquire. A maioria, 89%, respondeu que a questão da tipologia das embalagens tem grande relevância, e consequentemente, a resposta à questão foi sim (**Figura 23**). À semelhança destes resultados, Esteves (2012), ao submeter os inquiridos à avaliação dos aspetos de uma garrafa de água (design, fator ecológico e funcionalidade), obteve maiores percentagens de respostas com tendência positiva (concordo, concordo totalmente) para “funcionalidade”, seguido do “fator ecológico” e por último o “design”. O “fator ecológico” foi considerado a opção mais pertinente na escolha da embalagem de água, o que pressupõe uma preocupação com a tipologia de embalagens mais voltadas para a sustentabilidade. Os resultados da dissertação que estamos a apresentar assemelham-se aos de Martins (2020), quando na questão “opta por comprar produtos com menos plásticos ou com embalagens que possam ser recicladas” obteve 44% de respostas na opção “Ocasionalmente” e 18% na opção “Sempre”; também se aproximam dos resultados de Pereira (2014) na pergunta “No momento da compra, perante uma

embalagem de produto alimentar, reflete sobre a qualidade e segurança alimentar desse produto?” onde constatou que 88% respondeu sim e 12% não.

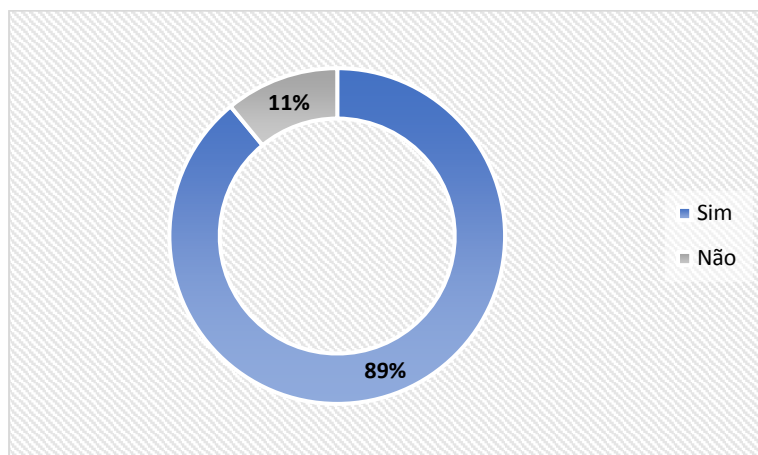


Figura 23 – Respostas dos inquiridos em relação à importância que dão à tipologia de embalagens

O mesmo modelo de pergunta dicotômica foi utilizado para que os inquiridos pudessem expressar o seu grau de descontentamento em relação à falta de opção em determinados produtos, cuja embalagem tem que necessariamente ser de plásticos, não havendo a possibilidade de escolha. A percentagem de respostas atingiu 92% para os que sentem que há uma imposição voltada para o consumo de plásticos e apenas 8% considerou que não percebe tal imposição (**Figura 24**). Estes resultados são idênticos aos de Felipe (2014) que, submetendo os inquiridos à questão de avaliação do “grau de importância de algumas características de uma embalagem alimentar”, obteve resultados que revelam que aqueles dão maior importância a embalagens cuja conservação dos produtos seja eficaz e conforme o tipo de materiais, influenciando desta forma, a decisão de compra em detrimento de outras características como o rótulo, o tamanho e o formato. De forma semelhante, Pereira (2014), na pergunta “Quando compra uma embalagem que está em contacto com alimentos, qual a sua preferência?” obteve “vidro” como preferencial por parte dos inquiridos, com 80%, seguido de “indiferente”, com 65%, e “plásticos” com 54%.

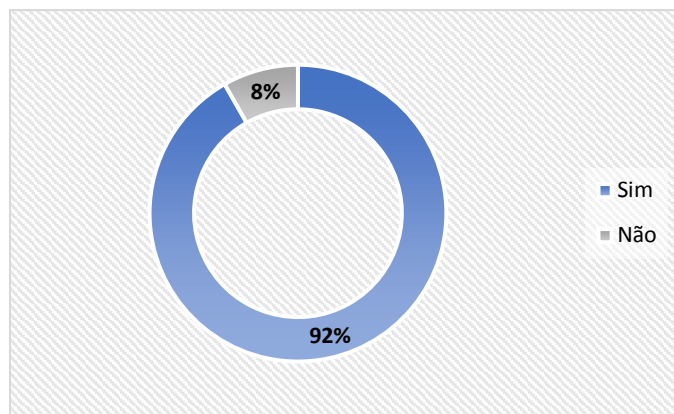


Figura 24 – Respostas dos inquiridos referente à falta de opção em relação a embalagens que necessariamente têm que ser de plásticos

Em relação aos plásticos de uso único, observa-se na Figura 25, que mais de metade dos inquiridos raramente os utilizam, pois, numa escala de 1-5, a opção assinalada pelos mesmos foi a 2, com 43 respostas. Foram obtidas 13 respostas para a opção 1 (Nunca); 8 respostas para a opção 3, bem como para a opção 4 e para a opção 5 (sempre), 1 resposta, por conseguinte a menos favorável. Sob o mesmo ponto de vista, Martins (2020) submeteu os inquiridos à questão “Que itens de plástico consome mais? Escolha TRÊS opções”, tendo constatado que copos, louça descartável e palhinhas são os itens que menos são usados pelos inquiridos, estando em conformidade com os resultados apresentados no presente trabalho.

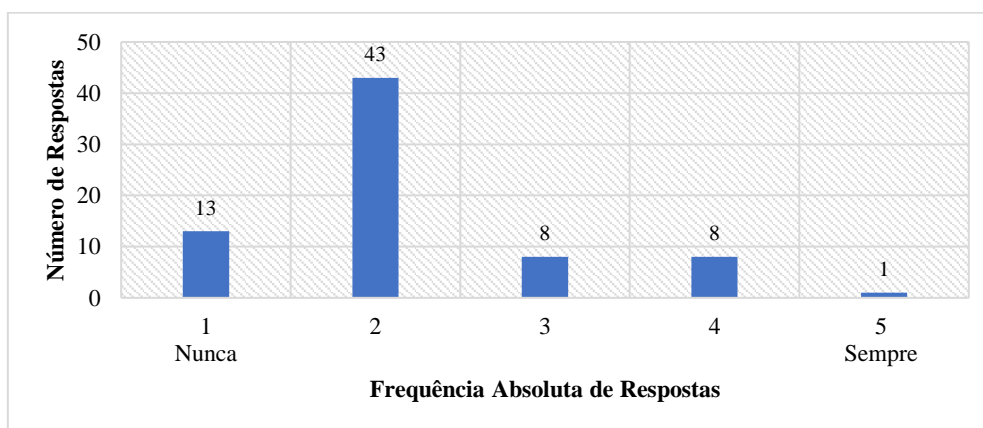


Figura 25 – Frequência absoluta das respostas obtidas em relação à utilização de plásticos de uso único

A **Figura 26** exibe os dados que avaliam a frequência do uso de sacos de plásticos nas compras, sendo que, perante a afirmação “leva consigo um saco de plástico reutilizável“, 8% responde “Nunca”, 11% “Raramente”, 16% “Às vezes”, 40% “Muitas vezes” e 25% “Sempre”.

Para a afirmação “leva consigo um saco de outro material (ex.: tecido, papel, outro)” as respostas obtidas foram: 12% “Nunca”, 12% “Raramente”, 14% “Às vezes”, 27% “Muitas vezes” e 34% “Sempre”.

Outra afirmação exposta aos inquiridos foi “compra um saco de plástico“, sendo a opção “Raramente” mais assinalada, com 45%, seguida de “Nunca”, com 33%, “Às vezes”, com 18%, “Muitas vezes”, com 3% e “Sempre”, com apenas 1%.

A quarta afirmação tinha como objetivo perceber se os inquiridos “compram um saco de outro material”, sendo as respostas obtidas de “Raramente” - 33%, seguida de “Às vezes” - 29%, “Nunca” - 25%, “Muitas vezes” - 12% e “Sempre” - 1%.

O tema referente aos sacos de plásticos para compras é igualmente abordado por Martins (2020) na questão “Que itens de plástico consome mais? Escolha TRÊS opções”, com a qual constatou que os sacos de plásticos estão entre os itens de plásticos mais usados pelos inquiridos, com 97 respostas, e na questão “Opta por comprar produtos com menos plásticos ou com embalagens que possam ser recicladas?” obteve 18% para a opção “Sempre”, 44% para a opção “Ocasionalmente”, 13% para “Raramente”, 24% para

“Nunca” e 1% para “Sem opinião”, podendo-se constatar uma semelhança elevada com o presente trabalho.

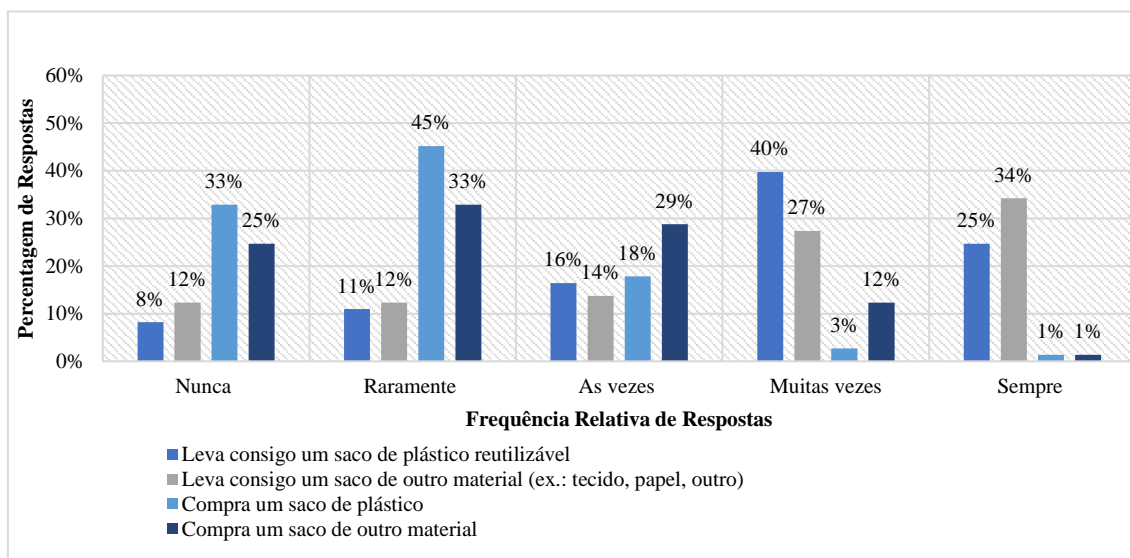


Figura 26 – Frequência relativa referente ao comportamento dos inquiridos em relação à ida às compras

A escala de Likert foi utilizada para avaliar o uso dos utensílios de plásticos, tendo 16 dos inquiridos respondido “Raramente” para “copos de bebida de máquina (ex.: água, café, chá, etc.)”; 20 responderam “garrafas de PET”; 27 selecionaram “sacos de asas”; 27 optaram por “sacos de filme fino plástico (Ex.: sacos sem asas para legumes e frutas)” e 23 responderam “take away”.

Responderam “Às vezes” na opção “copos de bebida de máquina (ex.: água, café, chá, etc.)” – 27; na opção “garrafas de PET” – 20; na opção “sacos de asas” – 28; na opção “sacos de filme fino plástico (Ex.: sacos sem asas para legumes e frutas)” - 19 e na opção “take away” - 26.

Com menos respostas, 1 inquirido respondeu “Sempre” para a opção “copos de bebida de máquina (ex.: água, café, chá, etc.)” ; 7 selecionaram a opção “garrafas de PET” ; 2 marcaram a opção “sacos de asas” ; 7 escolheram a opção “sacos de filme fino plástico (Ex.: sacos sem asas para legumes e frutas)” e finalmente 1 selecionou a opção “take away”.

A opção “Muitas vezes” apresenta uma frequência variável para as afirmações propostas. Assim, a opção “copos de bebida de máquina (ex.: água, café, chá, etc.)” obteve 9

respostas; a opção “garrafas de PET” – 14; a opção “sacos de asas” – 8; a opção “sacos de filme fino plástico (Ex.: sacos sem asas para legumes e frutas)” - 23 e a opção “*take away*” - 10.

Finalmente, a opção “Nunca” apresenta versatilidade nas respostas. Desta forma, obteve-se 20 respostas na opção “copos de bebida de máquina (ex.: água, café, chá, etc)”; 5 na opção “garrafas de PET”; 8 na opção “sacos de asas”; 6 na opção “sacos de filme fino plástico (Ex.: sacos sem asas para legumes e frutas)” e 13 na opção “*take away*” (Erro! A origem da referência não foi encontrada.).

De novo, o estudo de Martins (2020) é usado para relacionar com a questão dos utensílios de plásticos “Que itens de plásticos consome mais? Escolha TRÊS opções”, a qual revela que os utensílios mais usados pelos inquiridos são “embalagens” com 133 sinalizações, nas quais se inclui sacos de filme de plásticos (sacos sem asas para legumes e frutas), *take away*, produtos de higiene pessoal; “garrafas” com 97, “copos” com 8, “palhinhas” com 6 e “outro” com 7. Estes resultados aproximam-se com os do presente trabalho.

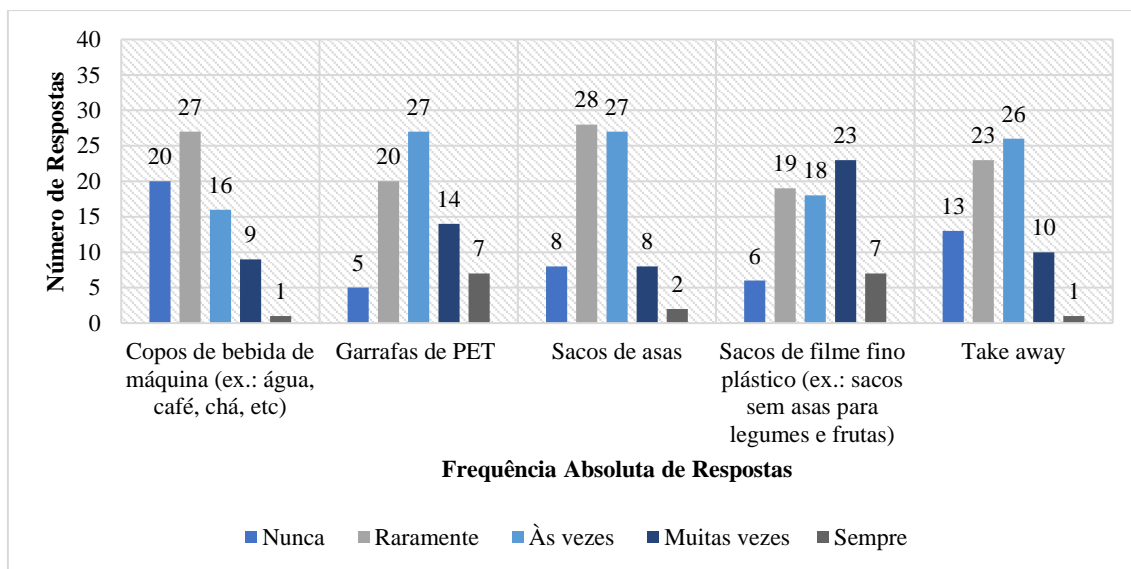


Figura 27 - Frequência absoluta de respostas do uso de utensílios de plásticos

No que corresponde à reutilização de embalagens de plásticos, os resultados apresentados na **Figura 28** realçam o “Frasco de Doces” como a embalagem de plásticos mais reutilizada, com 55 respostas para as opções “Às vezes”, “Muitas vezes”, “Sempre”, 11, 18, 26, respetivamente. Já as respostas não passam de 18 para as opções “Nunca” e “Raramente”, sendo 4 e 14 respetivamente. A seguir, observa-se que mais de metade das

respostas, 49, reutilizam “Às vezes”, “Muitas vezes” ou “Sempre” “Garrafas de PET”, enquanto que apenas 24 “Nunca” e “Raramente” reutilizam. Em relação a “Outras Embalagens”, os inquiridos mostraram que reutilizam “Às vezes” - 11, “Muitas vezes” - 18, Sempre - 26, ao passo que apenas 4 responderam “Nunca” e 14 “Raramente”.

As embalagens menos reutilizadas pelos inquiridos são os “Copos de Gelado” com menos de metade das respostas, 23, para as opções “Às vezes”, “Muitas vezes”, “Sempre” - 5, 9, 9, respetivamente; ao passo que mais de metade, 50, respondeu que “Nunca” e “Raramente” reutiliza - 37 e 13 respetivamente.

Os “Copos de Iogurtes” são embalagens que os inquiridos reutilizam com pouca frequência, sendo menos de metade das respostas, 26, assinaladas em “Às vezes”, “Muitas vezes”, “Sempre” - 5, 8, 13, respetivamente, enquanto que mais de metade, 47, respondeu que “Nunca” e “Raramente” reutiliza, 38 e 9 respetivamente.

Com os “Copos de Plásticos”, a frequência de reutilização face ao número de respostas tende para menos de metade, 27, assinaladas em “Às vezes”, “Muitas vezes”, “Sempre” - 9, 6, 12, respetivamente, ao passo que mais de metade, 46, respondeu que “Nunca” e “Raramente” reutiliza - 33 e 13 respetivamente.

Num estudo semelhante, Sá (2019) solicitou aos inquiridos que apontassem a frequência com que reutilizam os diferentes tipos de embalagens, tendo obtido como resultado que as embalagens de plásticos são as menos reutilizadas, ocupando a sexta posição de preferência, entre as nove dispostas. Os resultados de Sá (2019) estão em conformidade com os resultados obtidos em sede deste trabalho, com a diferença de que nesta dissertação, algumas embalagens de plásticos estão discriminadas e especificadas.

Esteves (2012), Felipe (2014) e Martins (2020) não consideraram a reutilização de embalagens de plásticos.

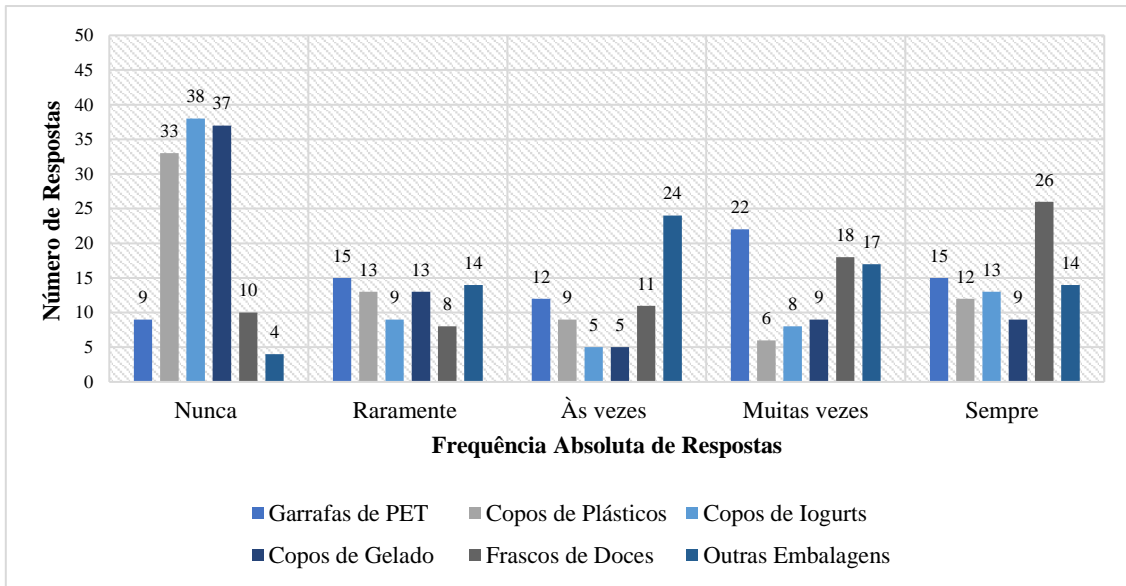


Figura 28 – Frequência absoluta das embalagens de plásticos que são reutilizadas

Quando perguntado onde os inquiridos depositam os seus resíduos de plásticos, a resposta, expressa na **Figura 29**, revela que 89% os coloca no contentor amarelo, ao passo que 11% recorre ao contentor de resíduos indiferenciados (lixo comum), supondo-se então que a separação de resíduos seja feita por mais de metade da amostra. Estes resultados assemelham-se aos resultados de Pereira (2014) que na pergunta “costuma seleccionar e separar embalagens alimentares em plástico para reciclagem?” alcançou 75% para a opção “Sim” e 9% para a opção “Não”, sendo que o seu estudo apresentava também a opção “Às vezes” que obteve 15%.

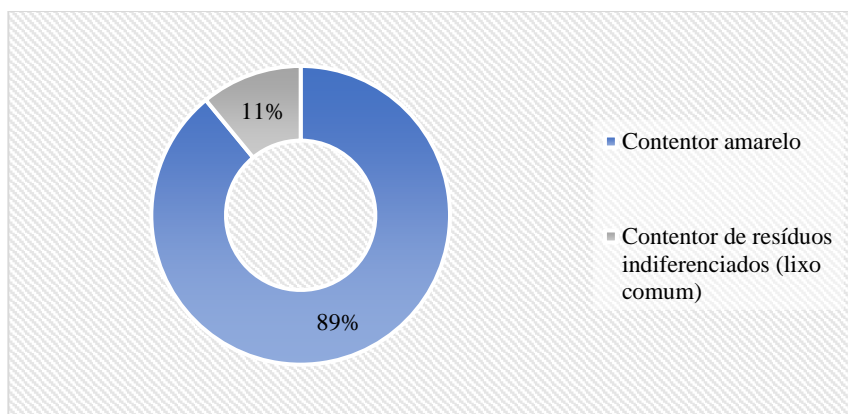


Figura 29 – Distribuição Percentual do local onde os resíduos de plásticos são depositados

No que concerne à literacia face à eliminação dos resíduos de plásticos, este estudo indica que os inquiridos se mostram cientes no que tange à questão ora colocada, representando a **Figura 30** a percentagem do conhecimento em relação à durabilidade do tempo de decomposição dos plásticos. Perante a afirmação “O plástico demora mais de 300 anos para se decompor por isso não deve ser depositado em aterro sanitário”, 78% da amostra sinaliza a opção “Concordo totalmente” ao passo que 11% “Concordo parcialmente”, 8% “Não concordo nem discordo” e 3% “Discordo totalmente”.

Na mesma figura, está expressa a opinião dos inquiridos para a afirmação “É indiferente a forma como são descartados os resíduos de plásticos” onde as opções “Concordo totalmente”, “Concordo parcialmente” e “Não concordo nem discordo” representam cada uma 1% das respostas da amostra. A opção “Discordo parcialmente” obteve 8% e “Discordo totalmente” 89%.

Na afirmação “Para uma eliminação eficaz, todos e quaisquer resíduos de plásticos devem ser incinerados”, submetida aos inquiridos, observa-se opiniões diversas, sendo a opção “Concordo totalmente” respondida por 5%, “Concordo parcialmente” por 12%, “Não concordo nem discordo” por 32%, “Discordo parcialmente” por 23% e “Discordo totalmente” por 27%.

Perante a afirmação “Reciclar os resíduos de plásticos é a melhor forma de os valorizar”, os inquiridos responderam de forma correspondente para as opções “Concordo totalmente” - 64% e “Concordo parcialmente” - 32%, porém 1% respondeu de forma antagónica “Não concordo nem discordo”, “Discordo parcialmente” e “Discordo totalmente”.

A afirmação “Parar totalmente com a produção de plásticos” divide a opinião dos inquiridos, sendo que apenas a opção “Concordo totalmente” obteve 10%. As restantes opções apresentaram resultados muito próximos e divididos em “Concordo parcialmente”, com 27%, “Não concordo nem discordo”, com 23%, “Discordo parcialmente”, com 22% e “Discordo totalmente”, com 18%.

Em relação às questões de literacia a que os inquiridos foram expostos, observa-se que os resultados do presente estudo coincidem com as respostas que Pereira (2014) encontrou quando o objeto de análise da questão era o grau de conhecimento sobre os plásticos e

sobre tudo o que com eles se relaciona, tendo obtido resposta afirmativa da maior parte da amostra às seguintes questões expostas: “Sabe se existe em Portugal um regulamento relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contacto com alimentos?”; “Tem conhecimento de que existem restrições ao material que produz a embalagem que irá entrar em contacto com alimentos?”; “Tem conhecimento de que existem materiais plásticos que poderão oferecer risco para a saúde, caso os limites de mitigação dos seus constituintes, permitidos por lei, sejam ultrapassados?” com 65%, 83% e 88% respetivamente.

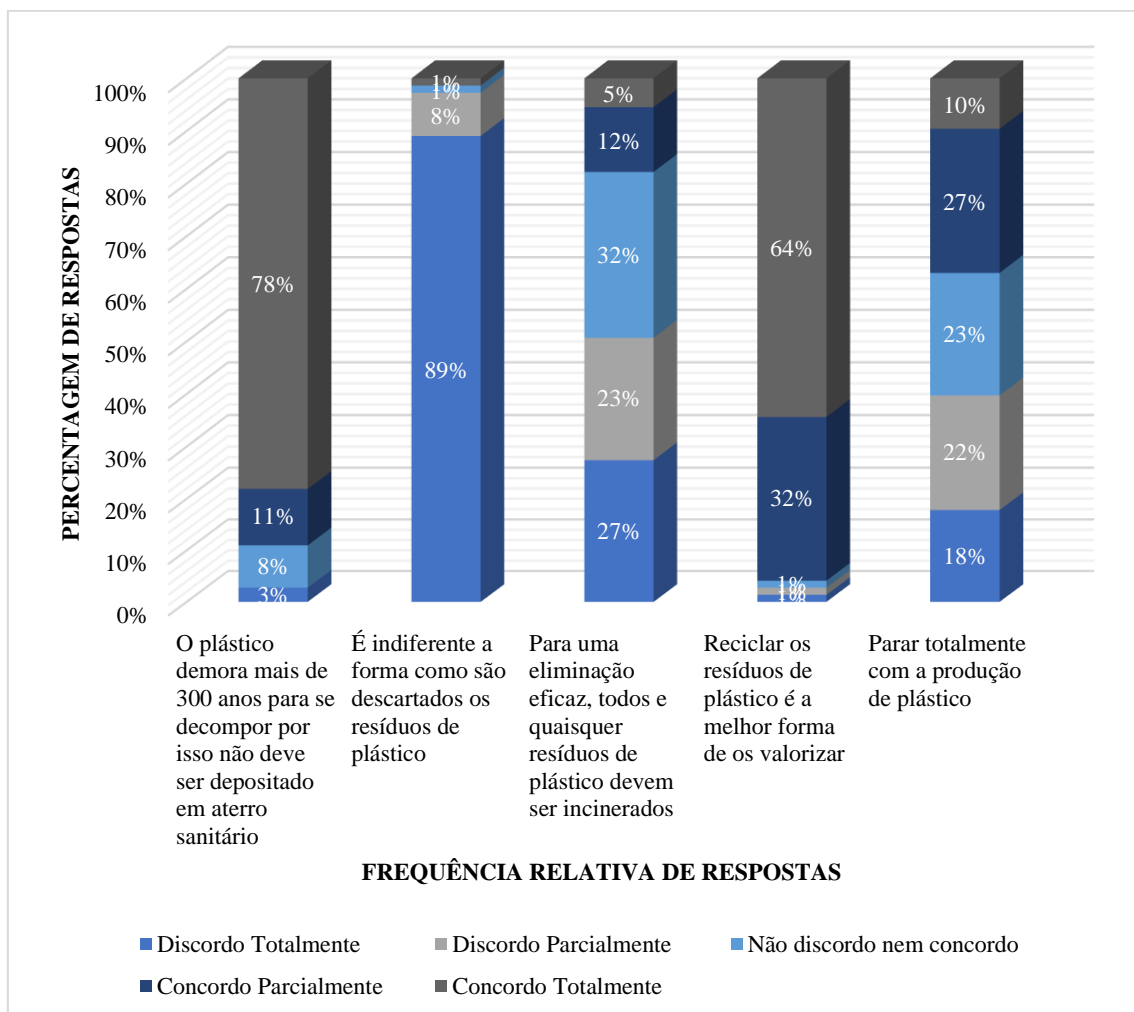


Figura 30 – Frequência relativa de respostas em relação à eliminação dos resíduos de plásticos
 Procurou-se perceber a opinião dos inquiridos sobre diversas ações diárias, expondo-lhes afirmações, através das quais foi possível compreender as noções que têm das consequências de algumas destas ações (**Figura 31**). Desta forma, para a afirmação “Comprar online aumenta a produção de resíduos de plásticos”, foram atingidas

percentagens de respostas de 8% para a opção “Discordo totalmente”, 11% para “Discordo parcialmente”, 26% para “Não concordo nem discordo”, 25% para “Concordo parcialmente” e 30% para “Concordo totalmente”.

Os inquiridos foram ainda confrontados com a afirmação “A melhor estratégia para reduzir os resíduos de plásticos é dar incentivos” na qual se obteve 4% para a opção “Discordo totalmente”, 1% para “Discordo parcialmente”, 4% para “Não concordo nem discordo”. Ao contrário, 44% responderam “Concordo parcialmente” e 47% “Concordo totalmente”.

Para a afirmação “É necessário aplicar coimas mais elevadas para reduzir o uso indiscriminado dos plásticos” foram obtidas respostas que atingiram 4% para a opção “Discordo totalmente”, 14% para “Discordo parcialmente”, 10% para “Não concordo nem discordo”, 42% para “Concordo parcialmente” e 30% para “Concordo totalmente”.

Para a afirmação “As campanhas de sensibilização ajudam a reduzir a produção de plásticos”, 3% dos inquiridos responderam “Discordo totalmente”, 7% “Discordo parcialmente”, 18% “Não concordo nem discordo”, 40% e 33% “Concordo parcialmente” e “Concordo totalmente” respetivamente.

Estes dados apresentam um paralelismo com a pesquisa de Martins (2020), pois quando questionados os inquiridos sobre “quais as medidas apontadas como mais eficientes para a diminuição da poluição por plástico”, e estando disponíveis sete opções, observa-se que a escolha mais acentuada foi a “utilização de alternativas biodegradáveis por parte das empresas”, seguida de “aplicação mais rigorosa das leis europeias existentes (recolha de resíduos, reciclagem, responsabilidade por parte do consumidor, etc.)”, o que revela uma necessidade legal mais rígida para melhoria da gestão dos resíduos de plásticos.

Foram ainda contempladas mais três opções - “reunir esforços para alterar os comportamentos que causam poluição e desperdício”, “aplicação de novas medidas, exemplo: metas de redução de plásticos; compensação pela utilização de alternativas biodegradáveis; etc.”, “disponibilizar mais informação à população, exemplo: campanha nacional de informação pública”, - cujos resultados não foram tão expressivos quanto os das duas opções anteriores. Para além destas, foram também apresentadas mais duas opções, cuja relevância demonstra que os inquiridos não são indiferentes às questões

ambientais, pois as opções “Não são precisas novas medidas” e “Sem opinião” foram inexpressivas.

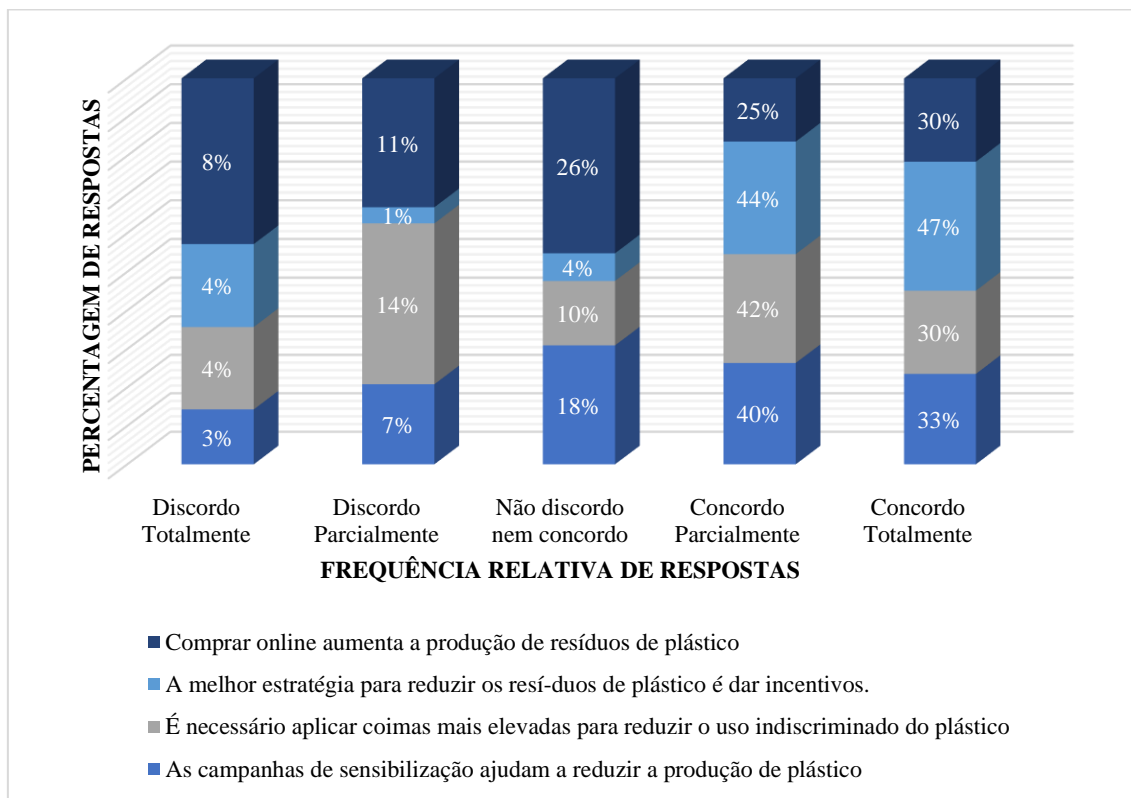


Figura 31 – Frequência relativa das respostas dos inquiridos em relação às suas opiniões quanto às ações que podem aumentar ou diminuir a produção de resíduos de plásticos

5.3. Dados Referentes às Respostas para os Resíduos de Microplásticos

Para uma investigação mais completa, foi colocado aos inquiridos mais um grupo de perguntas referentes aos microplásticos.

Para se saber a opinião dos inquiridos referente aos microplásticos, usou-se a escala de *Likert* onde o grau de consciência foi expresso em “Extremamente consciente” com cerca de 44%, “Muito consciente” com 36%, “Um pouco consciente” com 16%, “Nada consciente” com 3% e “Nem um pouco consciente” com 1%, como mostra a **Figura 32**. Os resultados assemelham-se aos dados de Pereira (2014) que, quando perguntou aos inquiridos “No momento de compra, reflete sobre o impacto negativo (ambiente, saúde...) que a embalagem em plástico lhe poderá proporcionar?”, obteve 19% para a opção “Sim, mas compro na mesma”, 37% “Sim, por vezes não compro”, 20% “Sim,

procuro outra alternativa” e 25% para a opção “Não”, demonstrando consciência em relação aos impactos negativos causados pelos plásticos.

Da mesma forma, Martins (2020) alcançou respostas semelhantes às da presente dissertação, ao questionar os inquiridos sobre “como avalia o seu grau de conhecimento relativamente aos impactos resultantes do consumo de plástico?”, tendo obtido uma maioria de percentagens que tendencialmente aponta para um grau de consciência elevado no que se refere à questão colocada, dado que, para as opções dispostas, atingiu 57,7% para a opção 3 (que corresponderá a “Suficientemente informado”) e 32,7% para a opção 5 “Muito informado”.

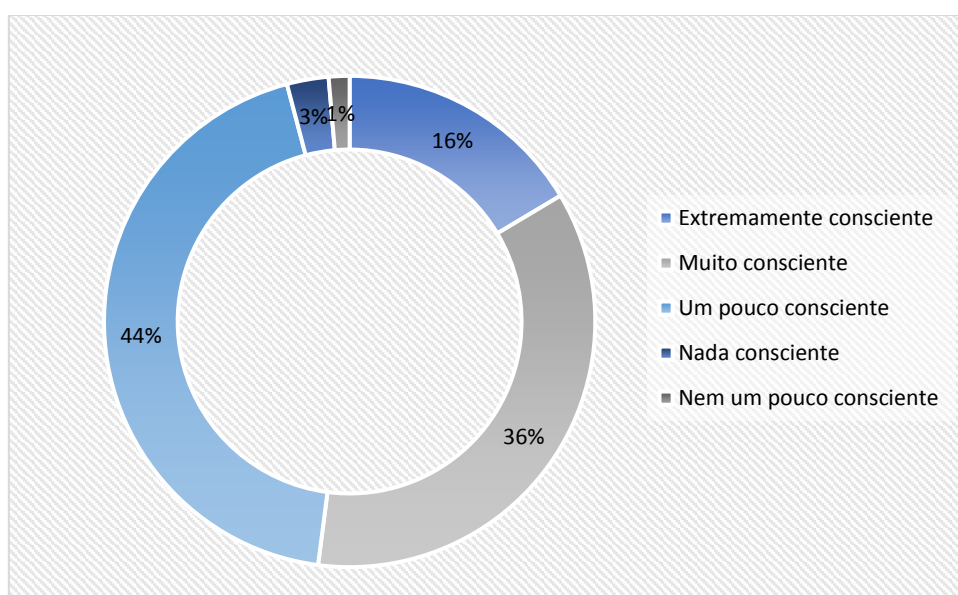


Figura 32 - Expressão do grau de consciência da presença dos microplásticos no dia a dia

Quando perguntado aos inquiridos “ Qual é a probabilidade de trocar os produtos de higiene pessoal e doméstica que contêm microplásticos, por um outro?”, observa-se, na **Figura 33**, respostas de frequência absoluta, sendo a tendência desta variável em escala gradual de forma crescente, tendo-se obtido 3 respostas para a opção “Pouco provável”(1); 5 respostas para a opção 2; 17 respostas para a opção 3; 25 respostas para a opção 4 e 27 respostas para a opção “Muito provável”(5), que é maioritária.

Ao avaliar a flexibilidade dos inquiridos na aceitação de produtos mais sustentáveis, Pereira (2014) submeteu os mesmos à questão “No momento da compra, perante uma embalagem de produto alimentar, reflete sobre a qualidade e segurança alimentar desse

produto?” , tendo obtido 88% de respostas “Sim”, o que revela preocupação por parte dos inquiridos com a segurança e qualidade do conteúdo de uma determinada embalagem, independentemente do produto, dados que se encontram em conformidade com a presente dissertação, embora nesta questão se aborde os microplásticos. Os resultados comparativos com o estudo de Pereira (2014) seriam mais conclusivos se o objeto de análise fosse o mesmo, permitindo uma confrontação mais segura.

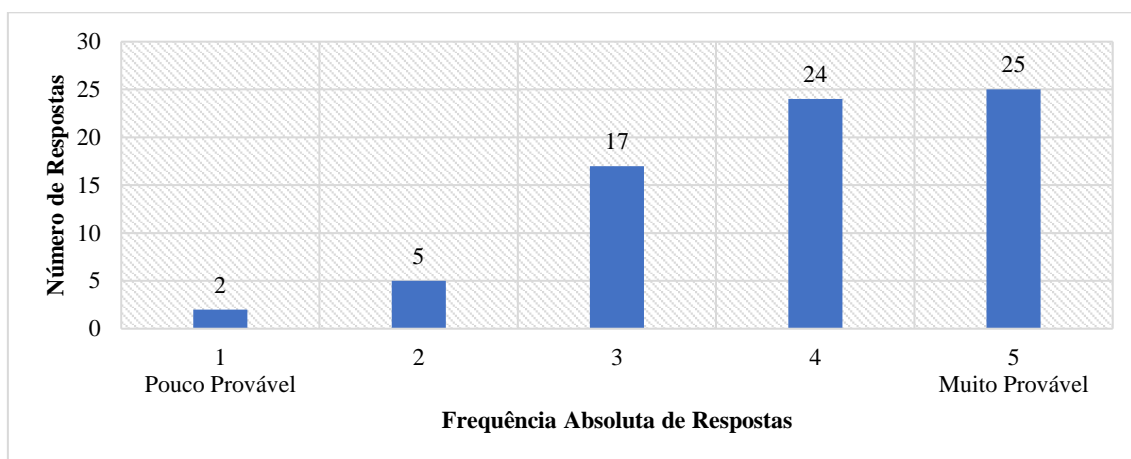


Figura 33 - Probabilidade de trocar produtos de higiene pessoal e doméstica que eventualmente tenham microplásticos por outros que não tenham

Os microplásticos despertam preocupações que advêm dos seus diferenciados impactos, razão pela qual, com o intuito de se perceber o impacto visual, se perguntou aos inquiridos “Alguma vez já viu microplásticos (pedaços de plásticos com dimensão <5 mm) na praia?” , tendo-se reunido os dados expressos na **Figura 34**, segundo os quais a maior taxa de respostas foi de 28 para a opção “Nunca reparei”, seguida de 22 para “Vi poucos”, contrariamente às 16 respostas que afirmaram “Vi muitos”. Apenas 7 inquiridos responderam “Não vi” microplásticos na praia. Da mesma maneira, quando Martins (2020) submeteu os inquiridos à pergunta “Na sua opinião quais das seguintes opções representam as principais consequências da poluição por plástico, escolha TRÊS opções”: “Perigo para a vida animal (espécies emaranhadas, sufocadas, etc)” – 157 respostas; “Perigo para a saúde humana” – 144 respostas; “Impacto nas comunidades piscícolas” – 123 respostas; “Impacto estético nas comunidades costeiras” – 19 respostas; “Custos de limpezas das costas afetadas” – 23 respostas; “Sem opinião” – 0 respostas, observando-se, assim, que as questões cuja frequência de respostas foi baixa são as três

últimas citadas, o que revela uma certa indiferença relativamente ao impacto visual que eventualmente os plásticos e microplásticos possam causar ou venham a causar, estabelecendo desta forma, um paralelismo com o presente estudo no que se refere às respostas encontradas.

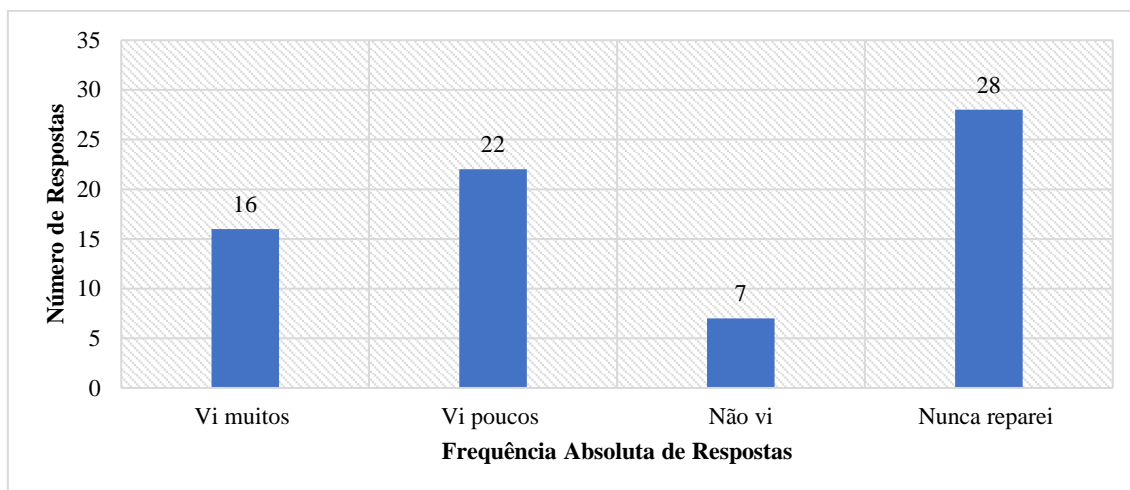


Figura 34 - Respostas dos inquiridos em relação à observação de microplásticos na praia

Tal como nas perguntas referentes aos resíduos de plásticos, os inquiridos foram submetidos a afirmações para expressarem a sua opinião em termos de concordância, cujas respostas compõem as percentagens expressas na **Figura 35**. Assim, para a afirmação “Os microplásticos causam mais impactos ambientais negativos do que os plásticos tradicionais” as respostas declaradas pelos inquiridos são de 4% para “Discordo parcialmente”; 15% “Não Concordo nem discordo”; 21% “Concordo parcialmente” e 60% “Concordo totalmente”.

Para a afirmação “Proibir a comercialização de produtos de higiene pessoal e doméstica que contenham microplásticos” alcançou-se 1% para “Discordo totalmente”; 7% para “Discordo parcialmente”; 16% “Não concordo nem discordo”; 32% “Concordo parcialmente” e 44% “Concordo totalmente”.

De seguida, os inquiridos reagiram à afirmação “Os microplásticos estão presentes em inúmeros produtos de consumo” onde o maior grau de concordância foi para a opção “Concordo totalmente” com 66%; “Concordo parcialmente” com 27%; “Não Concordo

nem discordo” com 4%; “Discordo parcialmente” com 3% e “Discordo totalmente” sem respostas.

Os inquiridos puderam ainda expressar a sua opinião em relação ao enunciado “Pretendo mudar os meus hábitos de consumo para minimizar os impactos ambientais”, podendo afirmar-se que a maioria das respostas revela preocupações ambientais. Assim, a opção “Concordo totalmente” obteve 37% das respostas; “Concordo parcialmente” - 27%; “Não concordo nem discordo” - 32%, contrariamente a “Discordo parcialmente”, com 3% e “Discordo totalmente”, com 1%.

Finalmente, para a afirmação “Colocar filtros à saída das máquinas de lavar roupa para reter as micropartículas plásticas” atingiu-se 64% na opção “Concordo totalmente”; 21% em “Concordo parcialmente” e 15% em “Não concordo nem discordo”, tendo as outras opções disponíveis, “Discordo parcialmente” e “Discordo totalmente”, sido rejeitadas.

Da mesma forma, Pereira (2014) perguntou aos inquiridos “Tem conhecimento de que existem materiais plásticos que poderão oferecer risco para a saúde, caso os limites de mitigação dos seus constituintes, permitidos por lei, sejam ultrapassados?”, tendo obtido 88% de respostas positivas. Ainda perguntou “Sabe que, após a reciclagem de 5 garrafas de sumo em plástico, pode obter-se material recuperado suficiente para produzir uma t-shirt do tamanho XL, 10 garrafas de sumo permitem fabricar um par de calças, 25 garrafas de sumo fornecem material para uma camisola e que se podem produzir cobertores com fibras resultantes dessa reciclagem?”, obtendo as seguintes respostas: “sim, tenho conhecimento” - 22%, “Sim, tenho alguma noção disso” - 50% e “Não” - 28%, o que pressupõe um nível considerável de conhecimento.

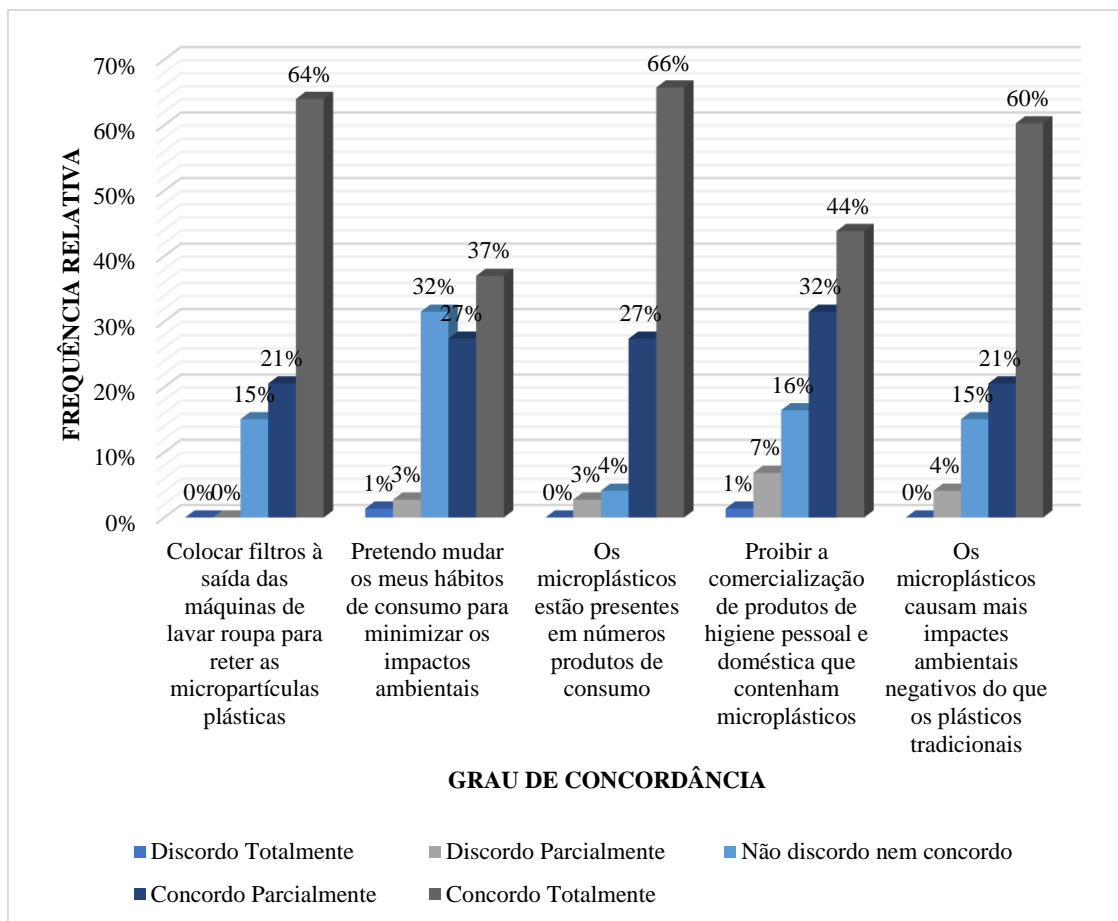


Figura 35 - Frequência relativa de respostas em termos de literacia para os microplásticos

Quando perguntado aos inquiridos “Que ações estaria disposto a fazer para reduzir o impacto negativo que os microplásticos causam?” com a obrigatoriedade de assinalar pelo menos 1 ação, observa-se na **Figura 36** que a maior percentagem foi para a ação “Deixar de usar produtos de plástico, como palhinhas, copos descartáveis, etc.” com 55 respostas. A ação pela qual os inquiridos demonstraram menos interesse foi “Substituir esfoliantes sintéticos por naturais (ex. borra de café, mel, etc.)” com 33 respostas. O número de respostas subiu gradualmente para 34 na opção “Trocar roupas de tecido sintético por roupas de algodão”, para 38 em “Participar numa atividade comunitária de limpeza”, para 44 em “Procurar mais informação a respeito destes materiais” e para 54 em “Mudar os hábitos de compra (ex.: preferir produtos que estejam em embalagens de vidro, papel ou que não tenham embalagens)”.

De forma semelhante, Martins (2020), ao avaliar as medidas apontadas como mais eficientes para a diminuição da poluição por plástico, obteve maioria de respostas para a opção “Utilização de alternativas biodegradáveis por parte das empresas”, imputando

responsabilidade às organizações, o que indica uma gestão de resíduos voltada para o Princípio da responsabilidade alargada do produtor . A opção que ficou em quarto lugar, entre as 7 possíveis, foi “Reunir esforços para alterar os comportamentos que causam poluição e desperdício” , pressupondo a intensificação da educação ambiental, contida na meta 4.7 do 4º Objetivo do Desenvolvimento Sustentável “Garantir o acesso à educação inclusiva, de qualidade e equitativa, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos” e “Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram os conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive por meio da educação para o desenvolvimento e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de género, promoção de uma cultura de paz, cidadania global e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável” (INE, 2022), de forma que as pessoas estejam acessíveis para fazer substituições nas suas práticas diárias.

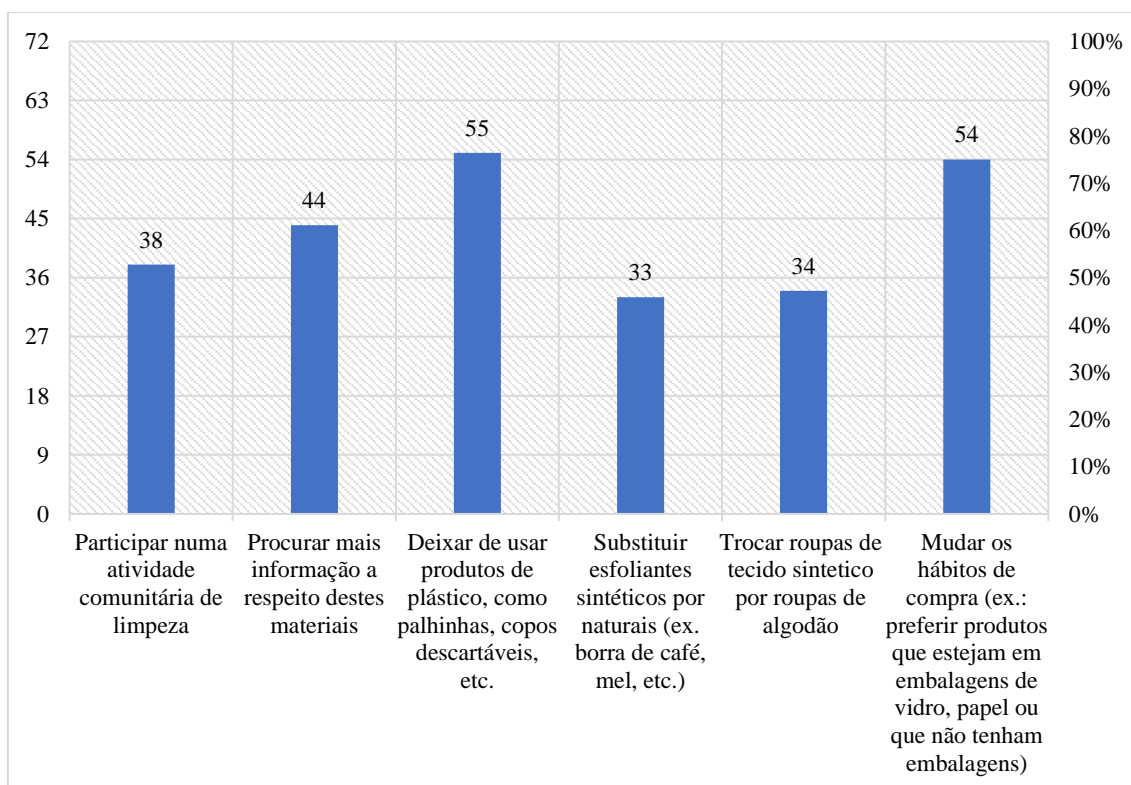


Figura 36 - Ações que os inquiridos se dispõem a fazer para reduzir o impacto negativo que os microplásticos causam

Perante a pergunta cujo resultado das respostas consta na **Figura 37**, fica evidente o grau elevado de informação que os inquiridos possuem, pois 99% respondeu “sim”, em relação aos impactos negativos que os microplásticos causam, ao passo que apenas 1% respondeu “não”. De forma similar, Martins (2020), quando perguntou aos entrevistados “Na sua opinião, quais das seguintes opções representam as principais consequências da poluição por plástico? Escolha até três opções.”: “Perigo para a vida animal (espécies emaranhadas sufocadas, etc.)” – 157 respostas; “Perigo para a saúde humana” – 144; “Impactos nas comunidades piscícolas” – 123 respostas; “Impacto estético nas comunidades costeiras” – 19 respostas; “Custo de limpeza das costas afetadas” – 23 respostas e “Sem opinião” – 0 respostas, teve a possibilidade de notar o interesse dos inquiridos, pois todas as opções mereceram atenção ao serem assinaladas, com exceção da última, o que exprime a consciência que os inquiridos têm dos impactos que, de alguma forma, os plásticos e os microplásticos - enquanto produto ou matéria prima dos plásticos - causam no ambiente.

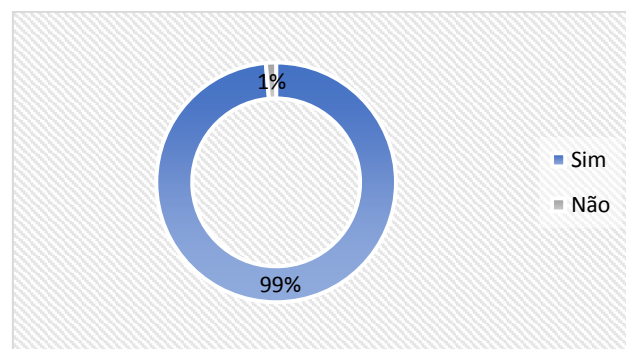


Figura 37 - Respostas referentes à pergunta: Os microplásticos têm impactos negativos sobre a saúde do homem e dos outros seres vivos?

Os resultados observados na **Figura 38** são referentes a uma lista de 8 produtos, submetida aos inquiridos para assinalarem quais, na sua perceção, podem conter microplásticos, com a obrigatoriedade de assinalarem pelo menos 1, tendo sido a opção “sal” a menos assinalada, com 19 respostas e a mais assinalada a opção “produtos cosméticos”, com 55 respostas. De forma semelhante, Martins (2020) submeteu os inquiridos às afirmações “Na sua opinião, optaria por mais produtos livres de plástico se...” onde constatou que 34% dos mesmos responderam “O preço fosse equivalente aos produtos tradicionais (produtos feitos de plástico)” o que demonstra que o custo pesa na decisão de compra quando o assunto é sustentabilidade; 30% respondeu “Fossem mais fáceis de encontrar”

o que comprova que os produtos sustentáveis não se encontram facilmente no mercado; 16% responderam “Houvesse mais oferta/diversidade” o que evidencia a importância que os inquiridos dão à diversificação. Outras opções como “Os produtos fossem tão bons em qualidade e desempenho como os outros”, “Houvesse mais informação sobre quais são esses produtos/marcas”, “Nenhuma das anteriores”, “Sentisse que também são melhores para mim”, “Outra” obtiveram 8%, 7%, 2%, 2% e 1% respetivamente.

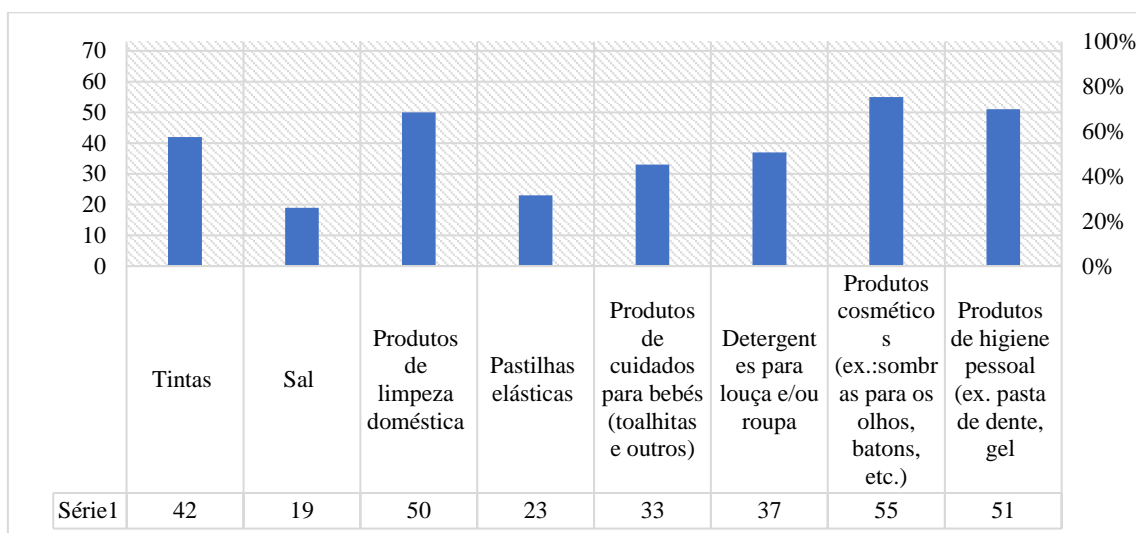


Figura 38 - Produtos que contêm microplásticos vs respostas dos inquiridos

Por último, os inquiridos puderam expressar-se em relação a medidas de redução dos impactos ambientais da proliferação dos microplásticos, à escala global, tendo sido obtidas as respostas exibidas na **Figura 39**, que revelam uma certa unanimidade entre duas alternativas: “Apostando na substituição destes materiais não biodegradáveis, por bioplásticos, por biomassa e que se decompõem ao longo do tempo” e “Valorizando-os materialmente estes materiais, através de eventuais processos de reciclagem” com 67 e 56 respostas respetivamente. Entre estas alternativas, ficaram as afirmações “Encaminhando-os para a incineração”, com 14 respostas, “Transformando-os em macroplásticos e, posteriormente, depositando-os em aterro”, com 6 respostas e “Depositando-os diretamente em aterro, sem qualquer tratamento prévio”, com 1 resposta.

Em relação às medidas de redução dos impactos ambientais, os dados do presente trabalho são semelhantes aos de Martins (2020), quando perguntou aos inquiridos “Na sua opinião, que medidas são mais eficientes para diminuir a poluição por plástico, especialmente no

ambiente marinho? Escolha TRÊS opções”, onde a opinião mais acentuada foi “utilização de alternativas biodegradáveis por parte das empresas”, com 122 expressões, seguida de “Aplicação mais rigorosa das leis europeias existentes (recolha de resíduos, reciclagem, responsabilidade do consumidor, etc)”, com 115 expressões. Outras opções como “Aplicação de novas medidas, exemplo: metas de redução de plástico, compensação pela utilização de alternativas biodegradáveis, etc.”; “Reunir esforços para alterar os comportamentos que causam poluição e desperdício”; “Disponibilizar mais informação à população, exemplo: campanha nacional de informação pública” foram destacadas com 85, 84 e 50 respostas, respetivamente. De forma oposta, as opções “Sem opinião”; “Não são precisas novas medidas” ficaram sem expressão, com 2 e 1 sinalizações por parte dos inquiridos, observando-se, de forma clara, que estes se preocupam com medidas para reduzir os impactos causados pela poluição por plásticos e microplásticos.

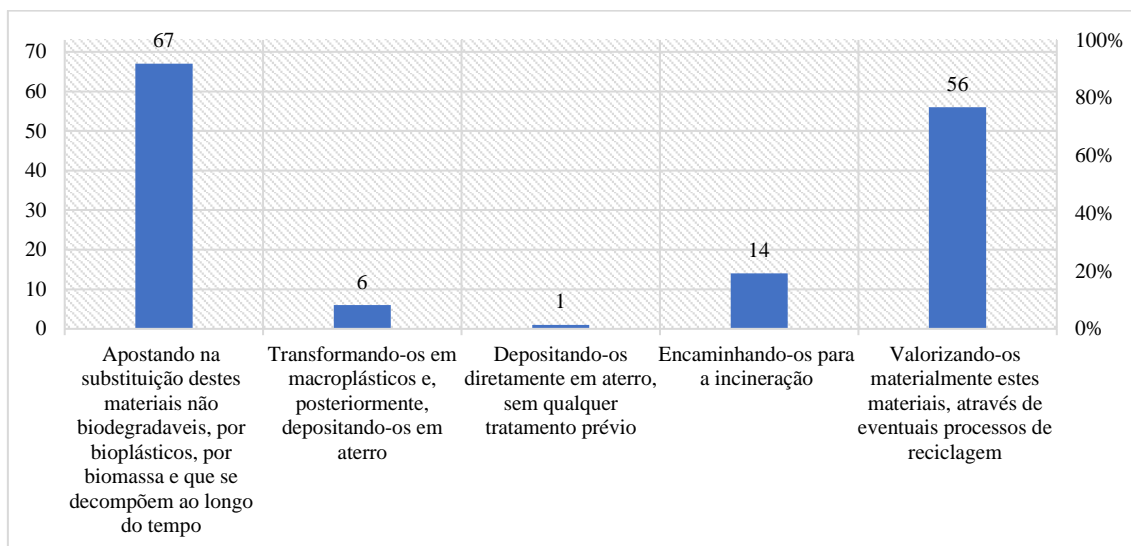


Figura 39 - Opinião dos inquiridos no que concerne à redução dos impactos ambientais da proliferação dos microplásticos, à escala global

6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O ciclo de vida dos plásticos consiste na sua história, desde a fase de extração de matérias primas, produção, distribuição, consumo até à fase de descarte do resíduo, sendo nesta fase que se centra o presente estudo, dado que a mesma constitui um problema diário tanto para as entidades gestoras de resíduos, como para a população em geral. Perante esta realidade, torna-se cada vez mais premente a necessidade de encontrar técnicas e métodos de valorização deste material, de forma a causar menor impacto negativo ao ambiente.

O estudo ora apresentado permitiu obter informações referentes aos hábitos de utilização dos utensílios de plásticos que posteriormente dão origem aos resíduos de plásticos e eventualmente de microplásticos, no ISEL.

Os resultados obtidos no presente trabalho revelam que os utentes do ISEL possuem um grau de informação considerável relativamente aos resíduos de plásticos e microplásticos, bem como conhecimento relativo às técnicas ou métodos de valorização. Nesta perspetiva, a amostra apresenta uma grande abertura para a aceitação de condutas e consequente realização de ações positivas no que se refere à deposição dos mesmos. Acredita-se que a proteção do ambiente foi o fator mais motivante para as respostas dos inquiridos, podendo, assim, afirmar-se que existe uma certa preocupação, que pode facilitar a indução a um comportamento de consciencialização voltada para a sustentabilidade ambiental.

Nas respostas dos inquiridos constata-se preocupação e responsabilidade com os impactos ambientais que os resíduos exercem sobre o ambiente, tendo uma minoria demonstrado conhecer os processos técnicos que os mesmos sofrem, tanto a nível de reciclagem quanto da produção a partir do material virgem. Contudo, os inquiridos demonstram disponibilidade de mudança de hábitos de consumo.

Reconhece-se a existência de uma certa limitação no presente estudo, decorrente do facto de o mesmo se basear exclusivamente em respostas de utentes do ISEL, dado o contexto limitativo da pandemia da COVID - 19.

Como perspectiva futura sugere-se uma investigação mais aprofundada quer ao nível da perceção quer ao nível do comportamento dos inquiridos, articule o conhecimento e a expressão do pensamento à ação, articulação essa que nem sempre corresponde à prática diária. Entretanto, sugere-se que se possam desenvolver novos estudos nesse sentido, contribuindo desta forma para a compreensão das atitudes em termos de consciencialização e sustentabilidade ambiental relativas aos resíduos de plásticos e microplásticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addamo, A. M., Laroche, P., & Hanke, G. (2017). Top marine beach litter items in Europe. *Publications Office of the European Union*. ISBN: 978-92-79-87711-7, doi:10.2760/496717, JRC108181
- Advisors, D. (2019). Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização. *World Wildlife Fund (WWF)*. ISBN: 978-2-940529-93-3
- Ak, N. (2012). Waste management: Some energy recovery processes. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(2), 1181-1188. <https://www.researchgate.net/publication/286716691>
- Aleixo, A. M. (2018). *Microplásticos em águas residuais domésticas. Emissão de microfibras poliméricas devido a lavagem mecânica*. [Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa]. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997259078/Tese_Margari_da_Mastbaum_Aleixo.pdf
- Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., & ElMetwally, A. E. (2016). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.001>
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>
- Alves, C. V. (2018). *Caracterização do lixo marinho ingerido por peixes da costa de Peniche - contributo para a definição de espécies indicadoras no âmbito da DQEM*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/36739>
- Ambrogi, V., Carfagna, C., Cerruti, P., & Marturano, V. (2017). Additives in polymers. Em B. Tylkowski, W. Karolina, & R. Jastrzab. Carlos F. Jasso-Gastinel, José M. Kenny(eds,) *Modification of Polymer Properties* (pp. 87-108). William Andrew

- APA (2020a). Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em: 02 de março de 2021. obtido em: https://apambiente.pt/sites/default/files/2021-06/Guia%20de%20Classifica%C3%A7%C3%A3o_vers%C3%A3o%202.0_20200107.pdf
- APA (2020b). Agência Portuguesa do Ambiente Acedido em 08 de abril de 2021. Obtido em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=1578>
- APA (2021). Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 20 de março de 2022. Obtido em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/MTR/Plasticos_Documento%20de%20apoio_v2.pdf
- APA (2022a) Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 10 de dezembro de 2022. Obtido em: <https://rmsl.apambiente.pt/content/quais-são-os-impactos-causados-pelo-lixo-marinho?language=pt-pt>
- APA (2022b). Agência Portuguesa do Ambiente (2022b). Acedido em 18 de dezembro de 2022. Obtido em: <https://rmsl.apambiente.pt/content/pl%C3%A1sticos-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-%C3%BAnica-puu?language=pt-pt>
- APA (2022c). Agência Portuguesa do Ambiente. Acedido em 20 de dezembro de 2022. Obtido em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/FluxosEspecificosResiduos/ERE/FAQ_ERE_2021_V1.3.pdf
- Bano, S., Iqbal, T., Ramzan, N., & Farooq, U. (2021). Study of surface mechanical characteristics of ABS/PC blends using nanoindentation. *Processes*, 9(4), 637. <https://doi.org/10.3390/pr9040637>
- Bentes, V. L. (2008). *Hidrólise básica de resíduos polimérico de PET pós- consumo e degradação catalítica dos monômeros de partida*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas].

<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/3325/1/Dissertacao%20Vera%20Lucia%20Imbiriba%20Bentes.pdf>

- Bezergianni, S., Dimitriadis, A., Faussone, G-C., & Karonis, D. (2017). Alternative diesel from waste plastics. *Energies*, 10(11), 1750. <https://doi.org/10.3390/en10111750>
- Bobulski, J., & Piatkowski, J. (2017). *PET waste classification method and plastic waste database – WaDaBa* [Conference Paper]. International Conference on Image Processing and Communications. Bydgoszcz. Doi:10.1007/978-3-319-68720-9_8
- Bonifazi, G., Capobianco, G., & Serrant, S. (2018). A hierarchical classification approach for recognition of low-density (LDPE) and high-density polyethylene (HDPE) in mixed plastic waste based on short-wave infrared (SWIR) hyperspectral imaging. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 198, 115-122. doi: 10.1016/j.saa.2018.03.006.
- Boucher, J., & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. *International Union for Conservation of Nature*. ISBN: 978-2-8317-1827-9, <https://doi.org/10.2305/IU CN.CH.2017.01.en>
- Boyle, K., & Örmeci, B. (2020). Microplastics and nanoplastics in the freshwater and terrestrial environment: a review. *Water*, 12(9), 2633. <https://doi.org/10.3390/w12092633>
- Brems, A., Baeyens, J., & Dewil, R. (2012). Recycling and recovery of post-consumer plastic solid waste in a european context. *Thermal Science*, 16(3), 669-685. doi:10.2298/TSCI120111121B
- Butter, P. L. (2003). *Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento compartilhado dos resíduos sólidos industriais no sistema de gestão ambiental da empresa*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85427>

- Cabral, G. F. (2018). *Análise modal do Polioximetileno e sua aplicação em eixos de transmissão veiculares*, [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/180649>
- Cabral, J. P., C. (2013). *Preparação e caracterização dos resíduos de espumas de poliuretano do setor do calçado para reciclagem química*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança]. <http://hdl.handle.net/10198/9309>
- Caixeta, D., Caixeta, F., & Filho, F. M. (2018). Nano e microplásticos nos ecossistemas: impactos ambientais e efeitos sobre os organismos. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 15(27), 19-34. doi:10.18677/encibio_2018a92
- Caldas, F. (2021). *Literacia para o oceano em Portugal: Estado atual e perspetivas futuras*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/51841>
- Calero, M., Martín-Lara, M. Á., Godoy, V., Quesada, L., Martínez, D., Peula, F., & Soto, J. M. (2018). Characterization of plastic materials present in municipal solid waste: preliminary study for their mechanical recycling. *Detritus*, 4, 104-112. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13732>
- Cangemi, J. M., Santos, A. M., & Neto, S. C. (2009). Poliuretano: De travesseiros a preservativos, um polímero versátil. *Química da Nova Escola*, 31(3), 159-164. Obtido em 28 de janeiro de 2021, de http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/02-QS-3608.pdf
- Capela, C. A. (2010). *Processamento de plásticos e materiais compósitos: Comportamento mecânico de componentes em serviço*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Leiria.] <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/2690>
- Caputo, P., Porto, M., Loise, V., Teltayev, B., & C. Oliviero Rossi, C. O. (2019). Analysis of mechanical performance of bitumen modified with waste plastic and rubber additives by rheology and self diffusion NMR experiments. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 21(3), 235–239. <https://doi.org/10.18321/ectj864>

- Cardoso, R. A. (2015). *Polímeros para estabilização de suspensões e hidrofobização de superfícies*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra]. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/29007?locale=pt>
- Carvalho, C. L., & Rosa, D. S. (2008). Gestão e caracterização dos resíduos plásticos domésticos recicláveis oriundos de posto de entrega voluntária. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, 24(1) 43-48. Obtido em 14 de agosto de 2021 de <https://www.researchgate.net/publication/237391112>
- Ceron, L. P., Einloft, S. M., Ligabue, R. A., & Lopes, N. F. (2010). Comportamento mecânico à tração da resina epóxi DGEBA/poliaminoamida e amina para diferentes formulações da razão estequiométrica. *V Mostra de Pesquisa da Pós-Graduação PUCRS*, 575-577. Obtido em 2 de fevereiro de 2021. de <https://www.researchgate.net/publication/281845489>
- Comissão Europeia (2018). Anexos da comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Uma estratégia europeia para os plásticos na economia circular. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0028>
- Constituição da República Portuguesa. (1976). <https://dre.pt/legislacao-consolidada/-/lc/34520775/view>
- Costa, J. P., Duarte, A. C., & Santos, T. R. (2019). Plásticos no ambiente. *Recursos Hídricos*, 40(1), 11-18. Doi 10.5894/rh40n1-d1
- Costa, J. P., Santos, T. R., & Duarte, A. C. (2020). The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOLSTU\(2020\)658279](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOLSTU(2020)658279)
- Coutinho, F. M., & Delpech, M. C. (1999). Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 9(1), 41-48. Obtido em 6 de outubro de 2021 de <https://www.scielo.br/j/po/a/fd4VVGJtbg3w98RS5VzQV7Zr/?format=pdf&lang=pt>

- Cunico, M. W., Kai, D. A., Cavalheiro, P. M., & Carvalho, J. (2018). Development and characterisation of 3D printing finishing process applying recycled plastic waste. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(1), 37-52. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1521248>
- Davallo, M., Pasdar, H., & Mohseni, M. (2010). Mechanical properties of unsaturated polyester resin. *International Journal of ChemTech Research*, 2(4), 2113-2117. Obtido em 29 de janeiro de 2021 https://www.researchgate.net/publication/267225891_Mechanical_Properties_of_Unsaturated_Polyester_Resin
- De, L. C. (2020). Single use plastics - its impacts and sustentability. *Research Today*, 2(6), pp. 428-431. Obtido em 20 de maio de 2021 de <https://biospub.com/index.php/biorestoday/article/view/222>
- Decreto-Lei n° 152/97 do Ministério do Ambiente. (1997). Diário da República: I Série A, n.º 139/97. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-1997-365343>
- Decreto-Lei n.º 102-D/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Diário da República: I Série, n.º 239/2020, 1º Suplemento, . <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012>
- Decreto-Lei n° 178/2006 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). Diário da República: I Série, n° 171/2006. <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/178/2006/09/05/p/dre/pt/html>
- Decreto-Lei n.º 73/2011 do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2011). Diário da República: I Série, n.º 116/2011. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/73-2011-670034>
- Decreto-Lei n.º 78/2021 da Presidência do Conselho de Ministros. (2021). Diário da República: I Série, n.º 187/2021. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/78-2021-171871496>

- Devasahayam, S., Raju, G. B., & Hussain, C. M. (2019). Utilization and recycling of end of life plastics for sustainable and clean industrial processes including the iron and steel industry. *Materials science for energy technologies*, 2, 634-646. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.08.002>
- Dholakiya, B. (2012). Unsaturated polyester resin for specialty applications. Em *H. E. Saleh, Polyester* (pp.167-202). ISBN: 978-953-51-6239-1. <https://doi.org/10.5772/48479>
- Dias, D. L. (2020). Microplásticos. Mundo da Educação. <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/microplasticos.htm>
- Diretiva 1994/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. (1994). Jornal Oficial nº L 365 de 31/12/1994 p. 0010 – 0023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=celex:31994L0062>
- Diretiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. (2000). Jornal Oficial nº L 332 de 28/12/2000 p. 0091. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0076:20081211:PT:PDF>
- Drzyzga, O., & Prieto, A. (2018). Plastic waste management, a matter for the 'community'. *Microbial Biotechnology*, 12, (1) 66-68. doi:10.1111/1751-7915.13328
- Escobar, N., & Britz, W. (2021). Metrics on the sustainability of region-specific bioplastics production, considering global land use change effects. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105345. doi:10.1016/j.resconrec.2020.105345
- Esteves, L. C. (2012). *A importância da embalagem na decisão de compra*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Português de Administração de Marketing. Aveiro, Portugal.] <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/7710>
- European Chemicals Agency. (2019). ECHA proposes to restrict intentionally added microplastics. <https://echa.europa.eu/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>

- European Commission. (2022). Environment. https://ec.europa.eu/environment/topics/plastics/microplastics_en#law
- Europeanbioplastics. (2015). Energy recovery. www.european-bioplastics.org
- Eyerer, P. (2015). Plastics: classification, characterization, and economic. Em *P. Eyerer, Polymers - Opportunities and risks I* (pp.1-17). https://doi.org/10.1007/978-3-540-88417-0_1
- Faraca, G., & Astrup, T. (2019). Plastic waste from recycling centres: Characterisation and evaluation of plastic recyclability. *Waste Management*, 95, 388-398. doi:10.1016/j.wasman.2019.06.038
- Faria, F. P., & Pacheco, E. B. (2011). A reciclagem de plástico a partir de conceitos de produção mais limpa. *Gepros. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, 6 (3), 93-107. <https://doi.org/10.15675/gepros.v0i3.534>
- Farias, F. E. (2007). *Produção de hidrocarbonetos através da síntese de fischer-tropsch utilizando catalisador de Fe/K*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará]. <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/15750>
- Farmer, T. J., Castle, R. L., Clark, J. H., & Macquarrie, D. J. (2015). Synthesis of unsaturated polyester resins from various bio-derived platform molecules. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 (7), 14912-14932. Doi:10.3390/ijms160714912
- Fernandes, I. P. (2008). *Dispersões aquosas de poliuretano e poliuretano - ureia. concepção do produto e metodologias de caracterização*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança]. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/2153>
- Ferreira, J. C. (2004). *Estudo da degradabilidade de poliestireno modificado quimicamente*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. <https://hdl.handle.net/1822/2835>

- Filipe, R. B. (2014). *Condicionantes da embalagem no processo de decisão de compra - Um estudo do sector alimentar*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Gestão]. <http://hdl.handle.net/10400.26/9410>
- Fox, J. (2008). Analysis of polymer additives in the packaging industry. *Packaging Science*. <https://www.iopp.org/files/public/foxfloridaadditives.pdf>
- Freixa, F. D. (2016). *Design de produtos com reciclagem PET. A problemática dos plásticos*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. https://sigarra.up.pt/fbaup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=166342
- Frias, J. P. (2010). *Microplásticos: o presente envenenado*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10362/3609>
- García, A. M., Oliván, L. M., Flores, H. I., & Reyes, N. S. (2019). Historical findings on presence of pollutants in water bodies in latin america and their ecotoxicological impact. Em L. M. Oliván, *Pollution of water bodies in Latin America* (pp 1-22). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27296-8>
- GESAMP, (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment*. International Maritime Organization. ISSN 1020-4873
- Ghenai, C., Alamara, K., & Inayat, A. (2019). Solar assisted pyrolysis of plastic waste: pyrolysis oil characterization and grid-tied solar pv power system design. *Energy procedia*, 159, 123-129, doi: 10.1016/j.egy.pro.2018.12.029
- Gonçalves, A. M. (2013). *Estudo de viabilidade económica da reciclagem de poliuretanos e seu impacto ambiental*. [Dissertação de mestrado, Instituto Mauá de Tecnologia]. <https://maua.br/files/dissertacoes/estudo-viabilidade-economica-reciclagem-poliuretanos-280901.pdf>
- Graulich, K., Köhler, A., Löw, C., Sutter, J., Watson, D., Mehlhart, G., & Fogh, L. (2021). Impact of COVID-19 on single-use plastics and the environment in Europe. *European Environment Agency*. Obtido em 18 de fevereiro de 2022, de <https://www.eea.europa.eu/publications/impacts-of-covid-19-on>

- Grigore, M. E. (2017). Methods of recycling, proprieties and applications of recycled thermoplastic polymers. *Recycling*, 2 (4), 24. <https://doi.org/10.3390/recycling2040024>
- Groh, K. J., Backhaus, T., Almroth, B. C., Geueke, B., Inostroza, P. A., Lennquist, A., Munckea, J. (2018). Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of the Total Environment*, 651 (2), 3253–3268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015>
- Hauli, L., Wijaya, K., & Syoufian, A. (2020). Fuel production from LDPE-based plastic waste over chromium supported on sulfated zirconia. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20, (2), 422. <https://doi.org/10.22146/ijc.45694>
- Hedayati, A., Barnett, C., Swan, G., & White, A. O. (2019). Chemical recycling of consumer-grade black plastic into electrically conductive carbon nanotubes. *Journal of Carbon Research*, 5 (2) 32. <https://doi.org/10.3390/c5020032>
- Herberz, T., Barlow, C. Y., & Finkbeiner, M. (2020). Sustainability assessment of a single-use plastics ban. *Sustainability*, 12 (9), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su12093746>
- Hill, M. M., & Hill, A. (1998). *A construção de um questionário* [Dinâmica working papper] Centro de estudos sobre a mudança socioeconómica – ISCTE, Lisboa. <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/469>
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the total environment*, 586, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- INE (2018). Objetivos do desenvolvimento sustentável. Agenda 2030. Indicadores para Portugal. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=332274994&PUBLICACOESmodo=2&xlang=pt, acessado em:

- Instituto Nacional de Estatística. (2022). Objetivos de desenvolvimento sustentável. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_perfsdg&objetivo=thumb4
- Ippolito, N. M., Cafiero, L., Tuffi, R., & Cipriotti, S. V. (2019). Characterization of the residue of a commingled post-consumer plastic waste treatment plant: a thermal, spectroscopic and pyrolysis kinetic study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 3323-3333. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09003-z>
- Jamradloedluk, J., & Lertsatitthanakorn, C. (2014). Characterization and utilization of char derived from fast pyrolysis of plastic wastes. *Procedia Engineering*, 69, 1437-1442. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.139>
- Jasso-Gastinel, C. F., Soltero-Martínez, J. F., & Mendizábal, E. (2017). 1 - Introduction: modifiable characteristics and applications. Em *D. Jackson Modification of polymer properties* (pp.1-21). William Andrew Publishing. ISBN: 9780323443531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44353-1.00001-4>
- Jesus, L. C. (2014). *Obtenção e caracterização de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo reforçados com celulose de bagaço de cana-de-açúcar*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília]. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/16651>
- Jorge, L. M. (2015). *A cadeia de reciclagem do plástico pós consumo na Região Metropolitana de Porto Alegre*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/134611>
- Jornal Oficial da União Europeia. (2006). Legislação. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bbf53843-a9b5-4837-adeb-65c49a1bbf44/language-pt>
- Kalcíková, G., Alic, B., Skalar, T., Bundschuh, M., & Gotvajn, A. Z. (2017). Wastewater treatment plant effluents as source of cosmetic polyethylene microbeads to freshwater. *Chemosphere*, 188, 25-31, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.131>

- Kesti, S., & Sharana, S. (2019). Physical and chemical characterization of low density polyethylene and high density polyethylene. *Journal of Advanced Scientific Research, 10* (3), 30-34. ISSN: 0976-9595
- Klein, R. (2011). *Laser welding of plastics: materials, processes and industrial applications* (1 ed.). Kannatey-Asibu, E. ISBN: 978-0-470-17798-3 <https://pt.pt1lib.org/book/1169299/00eca8>
- Kloss, R. (2007). *Síntese e caracterização de poliuretanos biodegradáveis à base de poli (&-caprolactona) diol*. [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná]. <https://educapes.capes.gov.br/handle/1884/16899>
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *Plos One, 13* (4), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Kurtela, A., & Antolović, N. (2019). The problem of plastic waste and microplastics in the seas and oceans: impact on marine organisms. *Croatian Journal of Fisheries, 77*, 51-56. <https://doi.org/10.2478/cjf-2019-0005>
- Lei n.º 52/2021 da Assembleia da República. (2021). Diário da República: I Série, n.º 154/2021. <https://dre.pt/dre/detalhe/lei/52-2021-169360995>
- Leite, M. C. (2019). *Estudos sobre polímeros sintéticos utilizados como suportes em obras de arte contemporânea. A Pintura de Daniel Vasconcelos Melim em membrana termoplástica*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10451/44826>
- Leonor, D. (2020). *Microplásticos em águas e sedimentos da costa algarvia*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10362/118698>
- Leslie, H. A. (2014). Review of microplastics in cosmetics scientific background on a potential source of plastic particulate marine litter to support decision-making. *Vrije Universiteit Amsterdam*. Obtido em 10 de fevereiro de 2022 de <https://research.vu.nl/en/publications/review-of-microplastics-in-cosmetics-scientific-background-on-a-p>

- Letras, L. (2008). *Reciclagem de plásticos: identificação de contaminantes e estratégias de valorização dos resíduos industriais*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. https://run.unl.pt/bitstream/10362/1398/1/Letras_2008.pdf
- Li, J., Liu, H., & Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Lopes, J. P. (2020). *Valorização de resíduos sólidos plásticos em nanomateriais de carbono*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança]. <http://hdl.handle.net/10198/22879>
- Luciani, V., Bonifazi, G., Remb, P., & Serranti, S. (2015). Upgrading of PVC rich wastes by magnetic density separation and hyperspectral imaging quality control. *Waste Management*, 45, 118-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.015>
- Magalhães, C. S. (2016). *A gestão de resíduos: princípios orientadores, deveres e respetiva responsabilidade ambiental*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/50565/1/ulfd0149630_tese.pdf
- Mancini, S. D., & Zanin, M. (2002). Influência de meios reacionais na hidrólise de PET pós-consumo. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 12, 34-40. <https://www.scielo.br/j/po/a/rtgDdp3nxYHJLptnZYScBpM/?format=pdf&lang=pt>
- Manrich, S. (2000). Estudos em reciclagem de resíduos plásticos urbanos para aplicações substitutivas de papel para escrita e impressão. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 10,(3), 170-178. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282000000300014>
- Marcelo, A. L. (2007). *Despolimerização do Polimetacrilato de Metilo utilizando como catalisadores argilas pilarizadas*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10362/1140>
- Marczak, H. (2019). Analysis of the energetic use of fuel fractions made of plastic waste. *Journal of Ecological Engineering*, 20, 100-106. <https://doi.org/10.12911/22998993/110766>

- Marques, A. F. (2016). *Manutenção e conservação de sinalização em autoestradas. Caso de estudo - A8 autoestrada oeste*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10400.21/6163>
- Martins, J. N., Freire, E., & Hemadipour, H. (2009). Applications and market of PVC for piping industry. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 19 (1), 58-62. doi:10.1590/S0104-14282009000100014
- Martins, J. V. (2011). *Caracterização de resíduos plásticos na Costa Portuguesa – será um microproblema?* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de ciências e tecnologias]. <http://hdl.handle.net/10362/5824>
- Martins, M. F. (2020). *Poluição por plástico. A crise ambiental e as políticas europeias e nacionais*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10362/111265>
- Milagres, K. I. (2015). *Formulação e caracterização de uma resina epóxi com memória de forma*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense.] <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Katia.pdf>
- Milios, D. (2018). Sustainability impact assessment of increased plastic recycling and future pathways of plastic waste management in Sweden. *Recycling*, 3 (3), 33. doi:10.3390/recycling3030033
- Monte, M. H., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de águas residuais - operações e processos de tratamento físico e químico*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Universidade de Beira Interior. ISBN 978-989-8360-32-8. <http://hdl.handle.net/10400.21/13925>
- Monteiro, D. A. (2012). *Sistema de reciclagem de garrafas de plástico para o Centro de Ciência Viva de Guimarães (CCVG)*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. <https://hdl.handle.net/1822/34035>

- Moreira, C. Q. (2007). A influência da umidade relativa na taxa de permeabilidade ao oxigênio de filmes hidrofílicos. *CETEA Informativo: Boletim De Tecnologia E Desenvolvimento De Embalagens*, 19 (3), 1 – 4. ISSN 0104 – 3781
- Munoz-Pineiro, M. A. (2018). Microplastics: focus on food and health. publications office of the European Union. Obtido em 08 de Março de 2021 de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC110629>
- Mustafa, N. S., Omer, M. A., Garlnabi, M. E., & Ismail, H. A. (2016). Reviewing of general polymer types, properties and application in medical field. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5 (8), 212-221. doi:10.21275/ART2016772
- Ngo, P. L., Pramanik, B. K., Shah, K., & Roychand, R. (2019). Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, 255 (2), 8. doi:10.1016/j.envpol.2019.113326
- Ngoc, C. H. (2017). Aminolysis of poly(ethylene terephthalate) waste bottle with tetra/hexamethylene diamine and characterization of alpha, ohmega-diamine products. *Science, Technology and Development*, 20, 100-113. Obtido em 20 de abril de 2021 de <https://www.researchgate.net/publication/322251884>
- Nwabue, F. I., Unah, U., & Itumoh, E. J. (2017). Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 233-245. doi:10.1016/j.eti.2017.02.008
- Ober, K. (2012). Introduction – applications of polymers. Em K. Matyjaszewski, & M. Möller, *Polymer Science: A Comprehensive Reference* (pp.1-8). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00199-0>
- Pacto Português Para Os Plásticos. (2021). Roadmap 2025. <https://pactoplasticos.pt/directus/public/uploads/pacto/originals/343fa79a-c758-4e8f-bf40-9537bd724061.pdf>

- Padsalgikar, A. (2017). *Plastics in medical devices for cardiovascular applications. (1st-edition)*. William Andrew. ISBN 978-0-323-35885-9 <https://www.elsevier.com/books/plastics-in-medical-devices-for-cardiovascular-applications/padsalgikar/>
- Panowicz, R., Konarzewski, M., Durejko, T., Szala, M., Łazińska, M., Czerwińska, M., & Prasula, P. (2021). Properties of polyethylene terephthalate (PET) after thermo-oxidative aging. *Materials*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.3390/ma14143833>
- Parente, R. A. (2006). *Elementos estruturais de plásticos reciclados*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19072006-095941/publico/2006ME_RicardoAParente.pdf
- Parlamento. (2020). Atividade parlamentar. <https://www.parlamento.pt/ActividadeParlamentar/Paginas/DetalheIniciativa.aspx?BID=42105>
- Parlamento Europeu. (2018). Microplásticos: origens, efeitos e soluções. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20181116STO19217/microplasticos-origens-efeitos-e-solucoes>
- Pereira, C. (2014). *Perceção do consumidor português relativamente ao consumo de bens alimentares em contato com embalagens plásticas*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Ciências da Saúde Egas Moniz]. <http://hdl.handle.net/10400.26/7864>
- Pereira, G. C. (2016). *Estrutura e propriedades mecânicas de poli(tereftalato de butileno) reforçado com fibras de vidro submetido a ensaios de envelhecimento termoquímico*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.] <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/172352>
- Pessôa, V. A. (2018). *Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos*. [Monografia de Licenciatura, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024679.pdf>

- Pineiro, M. A. (2018). Microplastics: focus on food and health. *Publications office of the European Union*. JRC110629, Obtido em 08 de Março de 2021 de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC110629>
- Piva, A. M., Neto, M. B., & Wiebeck, H. (1999). A Reciclagem de PVC no Brasil. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 9 (4), 195-200. <https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000400032>.
- Pizzi, A. (2003). Melamine – formaldehyde adhesives. Em A. Pizzi, & K. L. Mittal (2^a ed.), *Handbook of adhesive technology* (pp. 1-29). M. Dekker. Doi:10.1201/9780203912225.ch32
- PlasticsEurope. (2020). Plastics - the facts 2020 an analysis of European plastics production, demand and waste data. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- PlasticsEurope. (2021a). Plastics - the facts 2021. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
- PlasticsEurope. (2021b). About plastics. <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>
- PlasticsEurope. (2022). Plastics – the facts 2022. Disponível em <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>, consultado em: 05 de agosto de 2023.
- PORDATA. (2022). População residente com idade entre 16 e 89 anos: total e por nível de escolaridade completo mais elevado. <https://www.pordata.pt/db/portugal/ambiente+de+consulta/tabela>
- Quesada, L., Calero, M., Martín-Lara, M. A., Pérez, A., & Blázquez, G. (2019). Characterization of fuel produced by pyrolysis of plastic film obtained of municipal solid waste. *Energy*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115874>
- Rachid, N. A., & Gungor, N. D. (2020). Microplastics in our planet: source, distribution, effects and biodegradation. *Eskişehir Technical University Journal of Science and*

- Technology C- Life Sciences and Biotechnology*, 9(2), 284-303.
<https://doi.org/10.18036/estubtdc.656857>
- Ragaert, K., Delva, L., & Geem, K. V. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- Regulamento (UE) N°10 da Comissão. *Jornal Oficial da União Europeia* n° L 12 de 14/1/2011.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0010&from=FR>
- RDC (2020). Regulamento Delegado (UE) 2020/2174 da Comissão. (2020). *Jornal Oficial da União Europeia* n° L 433 de 19/10/ 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2174&from=PT>
- Resinex (2022). Tipos de polímeros. <https://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/abs.html>
- Rettinger, K., & Huber, B. (2016). Microplastic particles in cosmetic products – impact on the environment? *Sofwjournal*, 142, 28-32. Obtido em 20 de junho de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/311846313>
- Ribeiro, E. C. (2010). *Reciclagem química de espumas de poliuretano*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas].
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1360939>
- Rodrigues, C. M., Roque, C. A., & Macedo, J. M. (2008). *Sinalização rodoviária. manual do planeamento de acessibilidades e da gestão viária*. https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/Planeamento-Acessibilidades-Gestao-Viaria/Documents/12SinRodoviaria_AF.pdf
- Rodrigues, T. T. (2018). *Polímeros nas indústrias de embalagens*. [Monografia de Licenciatura, Universidade Federal de Uberlândia].
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/24082>
- Rojas, M. G. (2014). *Otimização da operação e manutenção de um sistema de separação de resíduos – Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da AMRPB*.

- [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu].
<http://hdl.handle.net/10400.19/2543>
- Rolim, A. M. (2000). *A reciclagem do plástico pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2397>
- Ruivinho, C. I. (2010). *Valorização dos resíduos de lentes oftálmicas orgânicas*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Algarve].
<http://hdl.handle.net/10400.1/1682>
- Russo, C. (2009). *Desconstrução de sistemas prediais de águas*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro]. <http://hdl.handle.net/10773/2395>
- Russo, M. A. T. (2003). *Tratamento de resíduos sólidos*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra]. http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/
- Sá, B. C. (2019). *Extensão do ciclo de vida das embalagens. Estratégia para o desenvolvimento e implementação dos conceitos de extensão do ciclo de vida das embalagens através da reutilização*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Europeia]. <http://hdl.handle.net/10400.26/32345>
- Saiote, R. M. (2012). *Estudo da pirólise catalítica de resíduos plásticos*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10451/9062>
- Santana, J. G. (2019). *Processamento e caracterização de filmes flexíveis de nanocompósitos de EVOGH/GO tratados por radiação ionizante*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo].
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-29032019-145257/en.php>
- Santos, L. R. (2009). *Avaliação da eficiência da separação de plásticos de resíduos sólidos urbanos por métodos de dissolução seletiva*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]. <https://hdl.handle.net/1822/10739>
- Sarkhel, R., Sengupta, S., Das, P., & Bhowal, A. (2019). Comparative biodegradation study of polymer from plastic bottle waste using novel isolated bacteria and fungi

- from marine source. *Journal of Polymer Research*, 27 (16).
<https://doi.org/10.1007/s10965-019-1973-4>
- Sawant, S. Y., Somani, R. S., Panda, A. B., & Bajaj, H. C. (2013). Formation and characterization of onions shaped carbon soot from plastic wastes. *Materials Letters*, 94, 132-135. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.12.035>
- Schwantes, D. (2006). *Reciclagem química de PET proveniente de filtros industriais pós-consumo*. [Tese de doutoramento, Universidade Federal de São Carlos].
<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/658>
- Segorbe, G. J. (2010). *Gestão de resíduos de construção, reabilitação e demolição de redes de drenagem de águas residuais*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro]. <http://hdl.handle.net/10773/4385>
- Silva, C. H. (2003). *Degradação de UHMWPE e de POM devido à ação tribológica contra aço inoxidável e alumina*. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. Doi:10.11606/T.3.2003.tde-24122013-114021
- Silva, D., Lopes, E. L., & Junior, S. S. (2014). Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições. *Revista de Gestão e Secretariado*, 5 (1), 1-18. Obtido em 10 de janeiro de 2022, de https://www.academia.edu/35215596/23_-_Silva_Lopes_e_Braga_Jr._RGS_2014_.pdf
- Silva, P. R., Assis, R., & Felisberti, M. I. (2006). *Reciclagem química de poliamidas através de glicólise*. [Comunicação]. Comunicação apresentada no XIV Congresso Interno de Iniciação Científica Unicamp 2006. Campinas. <https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xivcongresso/cdrom/pdfN/921.pdf>
- Silveira, D. (2022). Microplásticos: uma abordagem prática para produção de plástico biodegradável como estratégia de educação ambiental no ensino básico. *Brazilian Journal of Science*, 1(2), 82-89, ISSN: 2764-3417
- Singh, R. K., Ruj, B., Sadhukhan, A. K., & Gupta, P. (2019). Impact of fast and slow pyrolysis on the degradation of mixed plastic waste: Product yield analysis and

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21754/PlasticinCosmetics2015Factsheet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNEP (2016). Unep frontiers 2016 report: emerging issues of environmental concern. *United Nations Environment Programme*. ISBN 978-92-807-3553-6. Obtido em 20 de janeiro de 2021, de [https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/UNEP Frontiers 2016 report e merging issues of environmental concern.pdf](https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/UNEP_Frontiers_2016_report_emerging_issues_of_environmental_concern.pdf)

UNEP (2018). Legal limits on single-use plastics and microplastics: a global review of national laws and regulations. *United Nations Environment Programme*. Obtido em 08 de abril de 2020, de <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27113>

Universidade do Porto. (2012). Inquerito de satisfação. https://sigarra.up.pt/up/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=p%3%a1gina%20est%3%a1tica%20gen%3%a9rica%201644

Vagholkar, P. K. (2016). Nylon (chemistry, properties and uses). *International Journal of Scientific Research*, 5(9), 349-351. ISSN 2277-8179 <https://doi.org/10.36106/ijsr>

Vaz, S. L. (2012). *Caracterização e diagnóstico da situação relativa à gestão dos resíduos sólidos de origem agrícola no concelho de Vila Franca de Xira*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa]. <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5350/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20definitiva%20SV.pdf>

Vicente, J. S. (2005). *Características de visibilidade das marcas rodoviárias*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11921/2/Texto%20integral.pdf>

Villanova, J. C., Oréface, L. R., & Cunha, A. S. (2010). Aplicações farmacêuticas de polímeros. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 20 (1), 51-64. Obtido em 13 de junho de 2021 de <https://www.scielo.br/j/po/a/Hnm4dHq9jxZYhDXXf3G3g8M/?format=pdf&lang=pt>

- Wang, T., Zou, X., Li, B., Yao, Y., Zang, Z., Li, Y., Wang, W. (2018). Preliminary study of the source apportionment and diversity of microplastics: Taking floating microplastics in the South China Sea as an example. *Environmental Pollution*, 245, 965-974. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.110>
- Wassermann, A. I. (2006). *Processamento e características mecânicas de resíduos plásticos misturados*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17360/000714892.pdf?sequence=1>
- WBA. (2017). WBA fact sheet energy recover from waste. *World Bioenergy Association*. Obtido em 20 de março de 2021 de <http://www.worldbioenergy.org/uploads/Factsheet%20-%20Energy%20from%20Waste.pdf>
- Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. S. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11 (1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0897-7>
- WWF. (2019). Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização. *Word Wildlife Fund*, ISBN: 978-2-940529-93-3, obtido de https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic_report_02-2019.pdf
- WWF. (2021). Plastics: the costs to society, the environment and the economy. *Word Wildlife Fund* - Obtido em 13 de novembro de 2021, de https://wwflv.awsassets.panda.org/downloads/wwfintl_tcops.pdf
- Zhang, H., Pap, S., Taggart, M. A., Boyd, K. G., James, N. A., & Gibb, S. W. (2020). A review of the potential utilisation of plastic waste as adsorbent for removal of hazardous priority contaminants from aqueous environments. *Environmental Pollution*, 258, 113698. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113698>
- Zhou, G.-J., Li, X.-Y., & Leung, K. M. (2019). Retinoids and oestrogenic endocrine disrupting chemicals in saline sewage treatment plants: removal efficiencies and

ecological risks to marine organisms. *Environment International*, 127, 103-113.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.030>

Zweifel, H., Maier, R. D., & Schiller, M. (2009). *Plastics additives handbook*. (6th ed.)
Hanser Fachbuchverlag. ISBN: 9781569904305



ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Estudo da valorização material e/ou energética dos resíduos de plásticos e microplásticos

Sapalo, L., Santos, M. T., Puna, J. F.

Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa,
R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal
*ivoneiatecla@gmail.com



Resumo

Os plásticos possuem um conjunto de características que os tornam peculiares e únicos, pelo que a sua aplicação tornou-se tão versátil e comum. Apesar dos benefícios apresentados por estes materiais, quer a nível doméstico quer a nível industrial, a sua vasta utilização tem originado problemas de poluição significativos, nomeadamente nas águas e solos. Atualmente, uma grande parte dos resíduos domésticos e industriais são constituídos por plásticos. No presente trabalho pretende-se avaliar em termos técnico, económico e ambiental, as várias opções de valorização dos resíduos de plásticos, por meio de uma metodologia qualitativa, tendo por base a recolha de dados de diversas origens e a realização de inquéritos.

Palavras-chave: plásticos, microplásticos, reciclagem, valorização.

Introdução

Os resíduos de plástico tornaram-se ao longo do tempo num desafio de gestão, por causa da sua proliferação, resultante da incorreta deposição, provocando impactos negativo no meio ambiente. Atualmente, existe uma enorme variedade de plásticos, cujos símbolos são apresentados na Figura 1. Os microplásticos provêm de duas fontes principais: primária - são partículas pequenas (Figura 2), algumas invisíveis com formato esférico ou amorfio, fabricados intencionalmente para incorporarem produtos cosméticos e higiene pessoal; secundária - resultam do processo de desintegração dos resíduos de plásticos por degradação mecânica (erosão, abrasão), química (foto-oxidação, corrosão) e biológica (degradação por microorganismos), com tamanhos entre 100 nm a 5 mm [1]. Os microplásticos estão presentes nas águas residuais urbanas que são descarregadas nos meio recetores (Figuras 3 e 4) e nos resíduos, provocando assim graves problemas de poluição. Durante o ciclo de vida do plástico (Figura 5) A reciclagem é um dos métodos mais importantes de proteção ambiental, consistindo na transformação de materiais contidos nos resíduos em novas matérias-primas, aplicação como combustível ou valorização térmica [2, 3], e contribuindo para a economia circular.





Figura 2. Microplásticos primários [4]



Figura 3. Resíduos de plástico na praia [5]



Figura 4. Resíduos de plástico - Rio Tejo



Figura 5. Ciclo de vida dos plásticos/microplásticos.

Metodologia

A metodologia aplicada no presente trabalho teve por base uma pesquisa bibliográfica exaustiva, desde artigos científicos, a teses, *websites* oficiais e a consulta das entidades gestoras de resíduos, entre outros. O objetivo consiste em obter dados atuais relativamente à produção e ao consumo de plásticos e microplásticos, de modo a compreender melhor a atual panorâmica e os potenciais de reutilização. Posteriormente será realizado um inquérito com recurso a plataforma *google forms*, à comunidade do ISEL por forma a contribuir para a avaliação do conhecimento da gravidade da problemática dos plásticos, bem como na identificação de oportunidade de melhoria dos conhecimentos referentes a estes materiais.

Resultados

Atualmente são produzidos diversas tipologias de plástico (Figura 6). A produção de plásticos, a nível mundial, tem aumentado significativamente, passou de 230 milhões de ton, em 2009, para 368 milhões de ton, em 2019 [7]. Na Europa observa-se um ligeiro decréscimo na produção de plásticos (Figura 7).



Figura 6. Produção de plásticos por tipo de resina na EU em 2019 [7]



Figura 7. Produção de plásticos a nível mundial e, na Europa [7]

Conclusões

- ❖ Diminuição de plásticos de uso único, através da utilização de embalagens reutilizáveis. Substituição dos microplásticos em produtos cosméticos por abrasivos naturais, como as cascas de nozes, aveia, açúcar granulado, etc.
- ❖ O presente trabalho ainda se encontra em desenvolvimento.

Referências

[1] Costa, J. P.; Duarte, A. C.; Rocha-Santos, T. *Revista Recursos Hídricos*, 2019, 40, 11-18.
 [2] Al-Salem, S. M.; Lettieri, P.; Baeyens, J. *Waste Management* 2009, 29, 2625-2643.
 [3] Bobulski, J.; Piatkowski, J. T. *Conference Image Processing and Communications Challenges* 2017, 9, 57-64.
 [4] Sofia, A. *Plástico quase imperceptível detetado em tecidos humanos*, 2020. Acessado em: 05 de Maio de 2021. Obtido em: <https://ppware.sapo.pt/ciencia/plastico-quase-imperceptivel-detecado-em-tecidos-humanos/>.
 [5] Ambiente Sintonia. *Sabia que o mar está ameaçado pelo plástico?*, 2019. Acessado em: 05 de Maio de 2021. Obtido em: <https://ambiente.sintonia.pt/sabia-que-o-mar-esta-ameacado-pelo-plastico/>.
 [6] Letra, L. *Reciclagem de Plásticos: Identificação de contaminantes e estratégias de valorização dos resíduos industriais*, 2008. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia / Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Universidade de Lisboa.
 [7] PlasticsEurope. 2020. *Plastics - the Facts 2020*.

Anexo B. Inquérito sobre Resíduos de Plásticos e Microplásticos - ISEL

Seção 1 de 4

Resíduos de Plástico e Microplásticos

Com vista à realização do Trabalho de Final de Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente, do ISEL, com o tema: "Estudo da Valorização Material e/ou Energética dos Resíduos de Plástico e Microplásticos", pede-se a sua colaboração no preenchimento do presente inquérito, até dia 15 de julho, cujo tempo de resposta não durará mais do que 9 (nove) minutos.

Todas as perguntas são de preenchimento anónimo e, os dados recolhidos são utilizados unicamente para o fim referido.

Agradece-se, desde já, a sua valiosa contribuição.

Após a seção 1 Continuar para a próxima seção

Seção 2 de 4

Grupo I

Descrição (opcional)

1. Qual é o seu género? *

- Feminino
- Masculino
- Outro

2. Qual é a sua faixa etária? *

- 17-26 anos
- 27-36 anos
- 37-46 anos
- 47-56 anos
- >56 anos

3. Que função desempenha no ISEL? *

- Docente
- Estudante
- Funcionário
- Outros...

4. Qual é o seu nível de escolaridade? *

- Básico
- Secundário
- Licenciatura
- Mestrado
- Doutoramento
- Outros...

Seção 3 de 4

Grupo 2



Resíduos de plástico



1. No seu dia a dia considera importante a tipologia de embalagem (ex. plástico, papel, metal, etc.) utilizada nos produtos que adquire? *

- Sim
- Não

2. Sente que de alguma forma lhe é imposto o consumo de plástico (ex. produtos que não são fabricados com outro tipo de material) *

Sim

Não

⋮

3. Com que frequência utiliza plásticos de uso único (ex.: palhinhas, cotonetes, talheres descartáveis, etc.)? *

	1	2	3	4	5	
Nunca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sempre

4. Quando vai às compras: *

	Nunca	Raramente	Às vezes	Muitas vezes	Sempre
Leva consigo u...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Leva consigo u...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compra um sac...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compra um sac...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Que utensílios de plástico costuma usar com maior frequência? *

	Nunca	Raramente	Às vezes	Muitas vezes	Sempre
Copos de bebid...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Garrafas de PET	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sacos de asas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sacos de filme ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Take away	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Quais são as embalagens que reutiliza? *

	Nunca	Raramente	Às vezes	Muitas vezes	Sempre
Garrafas de PET	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Copos de plásti...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Copos de iogurte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Copos de gelado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Frascos de doce	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Outras embala...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Onde costuma depositar os resíduos de plástico? *

- Contentor de resíduos indiferenciados (lixo comum)
- Contentor amarelo

8. Sobre a eliminação do plástico, diga em que medida concorda com as afirmações seguintes: *

	Concordo total...	Concordo parci...	Não concordo, ...	Discordo parci...	Discordo total...
O plástico dem...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
É indiferente a f...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Para uma elimi...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reciclar os resí...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Parar totalment...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Em que medida concorda com as afirmações seguintes: *

	Concordo total...	Concordo parci...	Não discordo n...	Discordo parci...	Discordo total...
As campanhas ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
É necessário a...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A melhor estrat...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comprar online...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Grupo 3

Microplásticos

1. Em que medida está consciente da presença dos microplásticos no seu dia a dia ? *

- Extremamente consciente
- Muito consciente
- Um pouco consciente
- Nada consciente
- Nem um pouco consciente

2. Qual é a probabilidade de trocar os produtos de higiene pessoal e doméstica que contenham microplásticos, * por um outro?

	1	2	3	4	5	
Pouco provável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito provável

3. Alguma vez já viu microplásticos (pedaços de plástico com dimensão <5 mm) na praia? *

- Vi muitos
- Vi poucos
- Não vejo
- Nunca reparei

4. Qual é o seu grau de concordância com as afirmações seguintes: *

Concordo total... Concordo parci... Não discordo n... Discordo parci... Discordo total...

Os micropláctic...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Os micropláctic...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pretendo muda...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Proibir a comer...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Colocar filtros ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Que ações estaria disposto a fazer para reduzir o impacto negativo que os microplásticos causa: *

- Participar numa atividade comunitária de limpeza
- Procurar mais informação a respeito destes materiais
- Deixar de usar produtos de plástico, como palhinhas, copos descartáveis, etc.
- Substituir esfoliantes sintéticos por naturais (ex. borra de café, mel, etc.)
- Trocar roupas de tecido sintético por roupas de algodão
- Mudar os hábitos de compra (ex.: preferir produtos que estejam em embalagens de vidro, papel ou que nã...
- Outros...

6. Os microplásticos têm impactes negativos sobre a saúde do homem e dos outros seres vivos? *

- Sim
- Não

7. Assinale os produtos que contêm microplásticos *

- Tintas
- Sal
- Produtos de limpeza doméstica
- Pastilhas elásticas
- Produtos de cuidados para bebés (toalhitas e outros)
- Detergentes para roupa e/ou loiça
- Produtos cosméticos (ex. sobras para os olhos, batons, etc.)
- Produtos de higiene pessoal (ex. pasta de dente, gel de banho, etc.)

8. Na sua opinião, como é que se consegue reduzir os impactes ambientais da proliferação dos microplásticos, * à escala global?

- Apostando na substituição destes materiais não biodegradáveis, por bioplásticos, produzidos a partir de b...
- Transformando-os em macrolásticos e, posteriormente, depositando-os em aterro
- Depositando-os diretamente em aterro, sem qualquer tratamento prévio
- Encaminhando-os para incineração
- Valorizando materialmente estes materiais, através de eventuais processos de reciclagem