

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS

BRENDA RUANA BATISTA DOSSANTOS
FABÍOLA ANDRIELLE DOS SANTOS SENA
SABRINA FRANCISCA SOARES DA SILVA

**A POLUIÇÃO MICROPLÁSTICA E SEUS DIVERSOS
EFEITOS**

RECIFE/2023

**BRENDA RUANA BATISTA DOS SANTOS
FABÍOLA ANDRIELLE DOS SANTOS SENA
SABRINA FRANCISCA SOARES DA SILVA**

A POLUIÇÃO MICROPLÁSTICA E SEUS DIVERSOS EFEITOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC I do curso de bacharelado em
Ciências Biológicas do Centro Universitário
Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para
conclusão do curso.

Orientador(a): Dra. Lilian Flores

RECIFE

2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

S237p Santos, Brennda Ruana Batista dos.
A poluição micro plástica e seus diversos efeitos/ Brennda Ruana
Batista dos Santos; Fabíola Andrielle dos Santos Sena; Sabrina Francisca
Soares da Silva. - Recife: O Autor, 2023.
28 p.

Orientador(a): Dra. Lilian Flores.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Ciências Biológicas, 2023.

Inclui Referências.

1. Microplásticos. 2. Contaminação. 3. Meio Ambiente. 4. Saúde
Pública. I. Sena, Fabíola Andrielle dos Santos. II. Silva, Sabrina Francisca
Soares da. III. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 573

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar paciência, sabedoria e pela oportunidade concedida de poder realizar mais um sonho. Estendemos nossos agradecimentos aos nossos familiares por nos apoiar e nos auxiliar financeiramente. E não podemos esquecer das orientações vinda de nossos professores que nos ajudaram em todo o decorrer do trabalho.

RESUMO

Os microplásticos são fragmentos de aglomerados de polímeros na microescala sintética, apresentam uma escala típica entre 1 µm e 5 mm, embora não haja unanimidade na faixa de tamanho. Os microplásticos são considerados onipresentes nos ecossistemas, por serem encontrados em meios de alimentação, solos, na fauna e na flora. Além de que, por serem fragmentos finos a entrada no organismo dos seres vivos se torna mais fácil, causando assim uma biomagnificação na saúde humana. O estudo destaca a diversidade de fontes de microplásticos, provenientes não apenas de produtos de consumo diário, mas também de atividades industriais e da fragmentação de plásticos maiores. Os impactos abrangem desde ameaças à biodiversidade até riscos de contaminação na cadeia alimentar humana, especialmente em ecossistemas aquáticos. Este estudo aborda a problemática dos microplásticos, explorando sua origem diversificada e múltiplas vias de entrada nos ecossistemas. Destacam-se os impactos da poluição microplástica, incluindo ameaças à biodiversidade e possível contaminação na cadeia alimentar humana. A pesquisa consiste em uma revisão de literatura integrativa realizada nas plataformas PubMed, SciELO e Science Direct, abrangendo artigos publicados entre 2001 e 2023, em inglês e português. Além de evidenciar os efeitos negativos, o estudo propõe estratégias proativas para enfrentar o problema, como a promoção de plásticos biodegradáveis e políticas de gestão de resíduos. Conclui-se que uma ação global coordenada é imperativa diante da ameaça persistente da poluição microplástica, ressaltando sua importância para a preservação dos ecossistemas e a saúde humana a longo prazo. A contaminação por microplásticos exige não apenas ações imediatas, mas também mudanças fundamentais nos padrões de produção e descarte de plásticos. A pesquisa destaca a urgência de uma ação global coordenada para preservar ecossistemas e garantir a saúde humana a longo prazo, destacando a necessidade de políticas mais eficazes e o desenvolvimento contínuo de práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Microplásticos; Contaminação; Meio Ambiente; Saúde Pública.

ABSTRACT

Microplastics are fragments of polymer agglomerates on the synthetic microscale, with a typical scale between 1 μm and 5 mm, although there is no unanimity on the size range. Microplastics are considered ubiquitous in ecosystems, as they are found in food, soil, fauna and flora. Furthermore, because they are fine fragments, entry into the organism of living beings becomes easier, thus causing biomagnification in human health. The study highlights the diversity of sources of microplastics, coming not only from everyday consumer products, but also from industrial activities and the fragmentation of larger plastics. The impacts range from threats to biodiversity to risks of contamination in the human food chain, especially in aquatic ecosystems. This study addresses the issue of microplastics, exploring their diverse origin and multiple routes of entry into ecosystems. The impacts of microplastic pollution stand out, including threats to biodiversity and possible contamination in the human food chain. The research consists of an integrative literature review carried out on the PubMed, SciELO and Science Direct platforms, covering articles published between 2001 and 2023, in English and Portuguese. In addition to highlighting the negative effects, the study proposes proactive strategies to tackle the problem, such as the promotion of biodegradable plastics and waste management policies. It is concluded that coordinated global action is imperative in the face of the persistent threat of microplastic pollution, highlighting its importance for the preservation of ecosystems and long-term human health. Microplastic contamination requires not only immediate action, but also fundamental changes to plastic production and disposal patterns. The research highlights the urgency of coordinated global action to preserve ecosystems and ensure long-term human health, highlighting the need for more effective policies and the continued development of sustainable practices.

Keywords: Microplastics; Contamination; Environment; Public health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mudanças nas propriedades dos microplásticos após degradação	13
Figura 2	Ameaça potencial à saúde humana devido à exposição ambiental a MPs.....	14
Figura 3	Ciclo de vida desde a origem até o descarte dos microplásticos.....	17
Figura 4	Percentual da produção de plástico em alguns países e continentes... ..	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distintos tipos de polímeros, valores em porcentagem e produtos destinados de cada polímero descrito	11
Tabela 2	Cepas de microrganismos isolados, com objetivo de degradar os microplásticos: PE – polietileno; PP – polipropileno; PS – poliestireno; PUR – poliuretano; PET – tereftalato de polietileno; PBSA – polibutileno succinato-co-adipato.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO₂	dióxido de carbono
CH₄	metano
HTC	hipertermofílica
MP's	microplásticos
PBSA	polibutileno succinato-co-adipato
PE	polietileno
PET	tereftalato de polietileno
PP	polipropileno
PS	poliestireno
PUR	poliuretano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS... ..	9
2.1 Objetivo geral.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 Morfologia e ocorrência dos microplásticos	10
3.1.1 Efeitos do microplástico na saúde humana	14
3.1.2 Efeitos do microplástico no meio ambiente.....	15
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	26
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A fabricação de plástico no mundo apresenta anualmente uma faixa de crescimento de 5%. Em 2020, apresentou uma média de 367 milhões de toneladas e 10% desses plásticos são encontrados nos oceanos (Bottari Mancuso; Porcino, 2022). Segundo Babel e Tetsuwan (2020), os microplásticos são pequenos fragmentos de plásticos e possuem uma dimensão inferior a 5mm. Esses fragmentos podem ser classificados em primário e secundário, sendo os microplásticos primários produzidos com espessura menor para benefício industrial e doméstico, usados como grão de resina puro e diversos outros produtos. Já os microplásticos secundários são os efeitos da divisão do plástico em sua forma maior. Os plásticos vão se fracionando ao longo dos anos no meio ambiente, através de uma sequência de fragmentação microplástica até chegar ao nanoplástico que são dispersos nos ambientes naturais (Shen et al., 2021). Com sua constante presença e seu descarte negligenciado a manutenção dos resíduos, demonstra que os microplásticos (MP's) são onipresentes nos ecossistemas e achados em diversos meios de comunicação, comida e líquidos (Akhbarizadeh et al., 2021).

O uso do plástico na vida cotidiana se dá pelo fato de ser mais econômico, mais firme em contato com água, além de ser produzido de várias formas e tamanhos, porém parece possuir efeitos maléficos à saúde humana. Sua utilização é decorrente de embalagens plásticas, como copos descartáveis e em meios para automóveis e aviões (Ng; Minasny; Mcbratney, 2020). De acordo com Danopoulos; Rotchell; Twiddy (2020), os meios de contato humano se relacionam ao consumo e ao ar absorvido, pois a presença de MP foi detectada nas fezes humanas. Possivelmente a água potável seja uma via para a entrada dos microplásticos nos humanos, e de acordo com o grau de exposição é possível examinar o risco do contaminante ambiental decorrente.

Os microplásticos são potencialmente danosos para a saúde humana, podendo entrar nas vias respiratórias e atingir o sistema circulatório por consequência a sua exposição. Também podem causar efeitos desfavoráveis por causa da poluição atmosférica. Por ser um objeto fragmentado e fino é considerado preocupante e um difícil tema global no decorrer dos anos (O'brien et al., 2023).

Jin (2021) demonstra que há um consumo exagerado de microplásticos presentes nas bebidas e nas comidas. Ele demonstrou também que adultos do sexo masculino podem ingerir 142 partículas em uma única refeição, um adulto do sexo feminino 126 partículas e crianças de ambos os sexos podem consumir cerca de 113 partículas. Anualmente, pode ocorrer o consumo de aproximadamente 39.000 a 52.000 partículas que estão localizadas em alimentos industrializados. Além de serem também encontrados no sal de mesa comercial (sal marinho), sal de poço e o sal-gema.

Desde 2015, a fabricação acumulativa dos plásticos teve uma avaliação com cerca de 7,8 bilhões de toneladas, dos quais 30% foram usados, entre 6 e 7% foram reutilizados, 8% foram cremados e 55% desprezados em aterros sanitários. Além de que o oceano resulta no último caminho para os plásticos, apresentando uma faixa de 8 milhões de toneladas por ano (Jung, 2022).

Dessa forma, este estudo visa categorizar os principais impactos causados pelos microplásticos sobre a biodiversidade e a saúde humana contribuindo com informações consideráveis através de uma revisão bibliográfica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Descrever os principais impactos dos microplásticos nos ambientes naturais e na saúde pública.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais agentes causadores da introdução de microplásticos nos ambientes naturais;
- Citar os principais impactos do microplásticos nos ecossistemas naturais;
- Elencar os principais vetores para o consumo de microplásticos por humanos;
- Indicar possíveis ações para diminuir os efeitos dos microplásticos no meio ambiente e na saúde pública.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Morfologia e ocorrência dos microplásticos

A grande produção em larga escala de plástico alcançou seu ápice em 1950 (Ritchie; Rose, 2018). Os plásticos ofertaram uma facilidade para a população, porém essa facilidade apresenta uma problemática ambiental. Desde 1970 acarreta um impacto nos ecossistemas marinhos por seus resíduos não obterem um descarte adequado (Wang *et al.*, 2020). Os microplásticos encontrados nos ecossistemas possuem tamanhos variados e diversos tipos de polímeros (Marchant *et al.*, 2023). Seu tamanho varia de 1 μm a 5 mm (Da Silva; Palma; Morgado, 2023). Os resíduos plásticos de tamanho pequeno, ou microplásticos, são classificados de acordo com o seu tamanho, como microplásticos levemente maiores, com tamanho variando entre 1 mm e 5 mm, microplásticos pequenos, com tamanho entre 1 mm e 1 μm , e nanoplásticos, com tamanho menor que 1 μm (Tirkey *et al.*, 2021).

De acordo com a tabela 1, o polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) são apresentados como os principais polímeros mais consumidos no mundo, ao qual, a mesma descreve os tipos distintos de polímeros, valores em porcentagem e produtos destinado de cada polímero descrito. Cerca de 300 milhões de toneladas foram produzidas até o ano de 2018, em que se distribuem em valores percentuais de produção de aproximadamente 26% na China, 20% na Europa com Noruega, União Europeia e a Suíça mais envolvidos, com 19% os EUA, Canadá e o México. Já no Brasil apresenta cerca de 2,4% dessa produção no mundo (Olivatto *et al.*, 2018).

Tabela 1: Distintos tipos de polímeros, valores em porcentagem e produtos destinados de cada polímero descrito.

Polímero	Identificação e simbologia	Percentual de consumo	Principais aplicações
Poli (tereftalato de etileno)	 PET	6,9	- Embalagens de água e refrigerantes; - Fibras têxteis.
Polietileno de alta densidade	 PEAD	14,6	- Embalagens; - Recipientes; - Contentores.
Policloreto de vinila	 PVC	13	- Embalagens de produtos de higiene; - Tubulações.
Polietileno de baixa densidade	 PEBD	9,5	- Embalagens; - Sacolas; - Brinquedos.
Polipropileno	 PP	19,4	- Embalagens; - Tubulações; - Carpete; - Recipientes de uso doméstico.
Poliestireno	 PS	5	- Embalagens de cosméticos; - Eletrodomésticos.
Outros	 OUTROS (PEDBL, EPS, EVA, Plásticos de engenharia, Plásticos reciclados)	31,6	- Embalagens flexíveis e filmes; - Embalagem de proteção e estofados; - Chinelos de dedo; - Enchimento de elementos estruturais em obras; - Isolante térmico.

Fonte: Adaptado de Olivatto *et al.*, 2018.

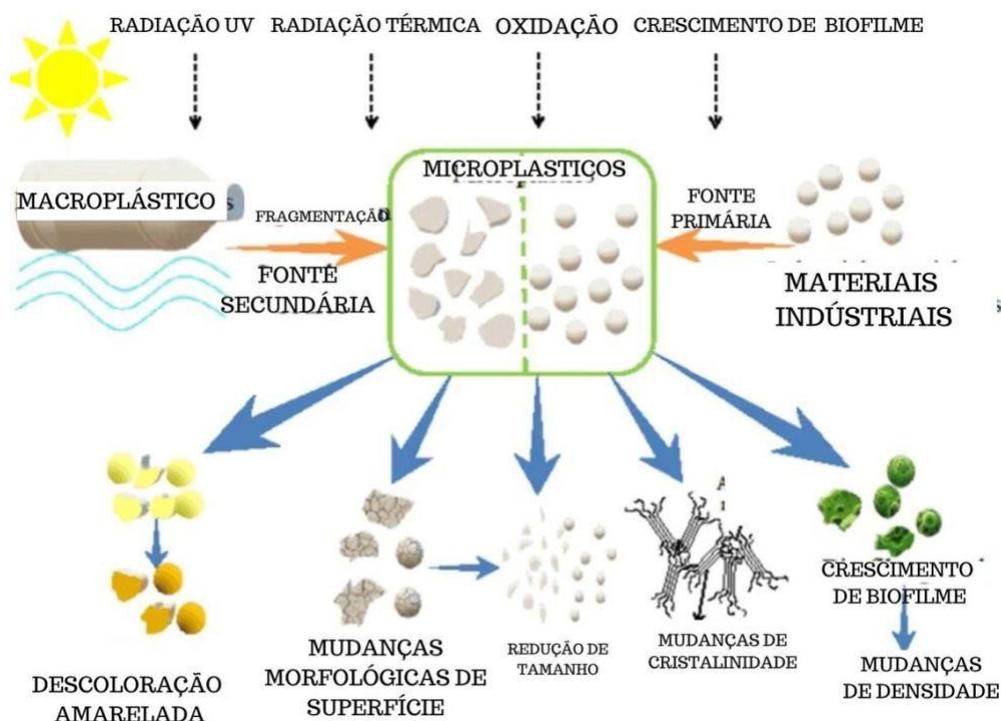
Embora a fabricação de plástico tenha uma alta produtividade, apenas para 14% dos despejos de plásticos há reciclagem e seu sobejante é queimado para restabelecer em forma de energia ou disperso em aterros (Liu *et al.*, 2023). Dentre as diversas formas de contaminação microplástica na biossistema que estão

tornando-se proeminentes, uma delas é as atividades antropogênicas, destacando-se a limpeza de tecidos e o uso de cosméticos de cuidados pessoais (Barboza *et al.*, 2018; De Falco *et al.*, 2019; Guerranti *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2021).

Com o perigo dos microplásticos para os humanos e para o meio ambiente, é necessário conhecer com mais minuciosidade os meios de ocorrência e sua destinação em diferentes medidas. Os MPs possuem resistência à biodegradação e são bastantes duradouros, sendo assim propensos a se aglomerar no ecossistema. A maior parte das áreas urbanas não realizam o descarte seletivo, portanto, as fábricas de plásticos têm a necessidade de criar projetos para a manipulação de itens plásticos descartados (Balcer; Mendoza; Vargas, 2021).

Uma identificação mais clara sobre o plástico em sua divisão é o microplástico apresentando uma medida menor que 5 mm e o macroplástico com uma medida maior que 5 mm, a deterioração resulta no fracionamento de macroplásticos e conduz a inserção dos microplásticos secundários no ambiente. Essa deterioração modifica as condições químicas, físicas, sua coloração, sua estrutura, seu tamanho, dimensão e sua estratificação. Os macroplásticos e os microplásticos sofrem um procedimento de desgaste e meteorização pelo contato com a luminosidade solar, desenvolvimento de placa bacteriana e oxidação. A degradação dos resíduos plásticos (figura 1) leva à sua fragmentação e resulta na formação de microplásticos, que são introduzidos nos ambientes. O microplástico primário é produzido com uma medida menor que 5 mm, já o microplástico secundário são macroplásticos deteriorados sujeitos a variações do ambiente, tanto os microplásticos primários quanto os secundários sofrem alterações em suas propriedades físicas e químicas devido à degradação, incluindo mudanças na cor, morfologia da superfície, cristalinidade, tamanho das partículas e densidade (Haque; Fan, 2023; Guo; Wang, 2019; Rincon-Rubio *et al.*, 2001).

Figura 1 - Mudanças nas propriedades dos microplásticos após degradação.



Fonte: (Guo; Wang, 2019).

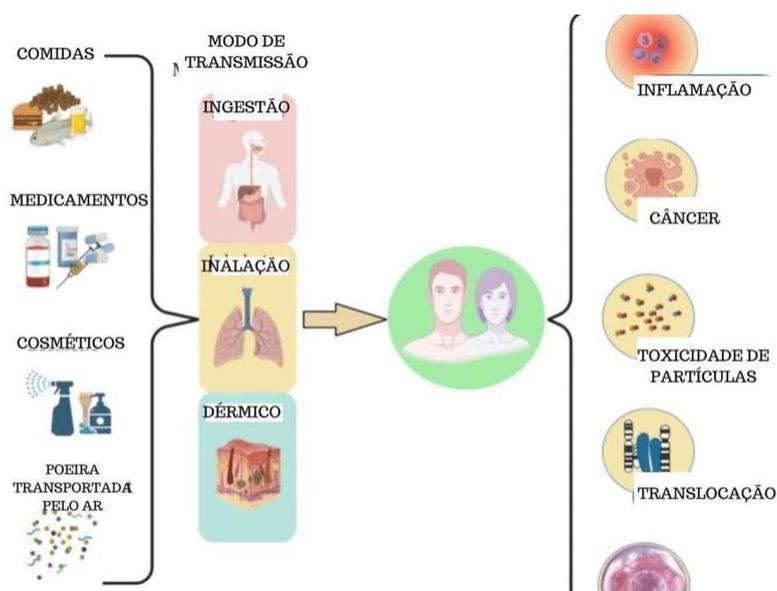
A biodegradação é atribuída ao desenvolvimento da digestão de algas, bactérias e de fungos que modificam o composto original, formando CO₂, CH₄ e água. Na biodegradação é preciso a ocorrência de uma certa temperatura e o processo de reciclagem de lixo orgânico precisa de determinadas espécies de plantas (COZZARINI; SCHMID; ZAMBELLO, 2021). Segundo Strady *et al.*, (2021), os MPs no meio ambiente estão sujeitos a deslocação, fragmentação, acumulação, aglomeração e incrustação biológica. Sua deslocação precisa de diversos meios coexistentes, sendo assim, as características dos fragmentos são: espessura, aspecto, dimensão e a amplitude. Além dos aspectos característicos ambientais, como a distribuição e circulação da água, vento, torrente, enchentes, condensação do vapor d'água entre outros, e as características químicas e físicas da água.

3.1.1 Efeitos do microplástico na saúde humana

Os microplásticos representam uma preocupação crescente para a saúde humana, já que podem entrar no corpo por meio da inalação e ingestão e causar efeitos prejudiciais. Há evidências de que partículas pequenas, como as encontradas em escapamentos de diesel, são capazes de atravessar membranas celulares e desencadear inflamação e estresse oxidativo, aumentando o risco de morte por doenças cardiovasculares, respiratórias ou câncer de pulmão (Legler; Vethaak, 2021). O ser humano também consome microplásticos por meio de sua alimentação advinda da fauna e flora que captam os microplásticos através da consequência da fragmentação dos plásticos (Han *et al.*, 2020). E os microplásticos identificados no aparelho digestivo de alguns peixes raramente são introduzidos na alimentação humana (Montagner *et al.*, 2021).

O deslocamento dos microplásticos do ambiente para o interior do organismo de um ser vivo apresenta dificuldade de ser expelido e acabam sendo acumulados, que por consequência pode ocorrer toxicidade aguda ou crônica de acordo com o nível do acúmulo (Kurniawan *et al.*, 2021). Com isso, é visto distintos efeitos da superexposição dos MPs na saúde humana, como mostrado na figura 2.

Figura 2 - Ameaça potencial à saúde humana devido à exposição ambiental a MP.



Fonte: (Khan; Jia, 2023).

Os microplásticos apresentam uma biomagnificação à saúde humana, devido às suas partículas, permitindo a absorção em tecidos e células. Na água potável já foi encontrado microplástico (Koelmans *et al.*, 2019), o aparecimento nos tecidos como pulmões, placentas e no sangue é assustador por causa das diversas complicações na saúde (Ragusa *et al.*, 2021).

A contaminação por partículas de MPs causada pelo tráfego de veículos está conectada ao crescimento da predisposição a distúrbios neurodegenerativos, por exemplo a doença de Alzheimer e a demência. As partículas de microplásticos possuem um efeito danoso no sistema nervoso, da mesma forma que foi apresentado por uma pesquisa in vivo, em que o impacto seria negativo na atividade neuronal (Liaquat *et al.*, 2022).

3.1.2 Efeitos do microplástico no meio ambiente

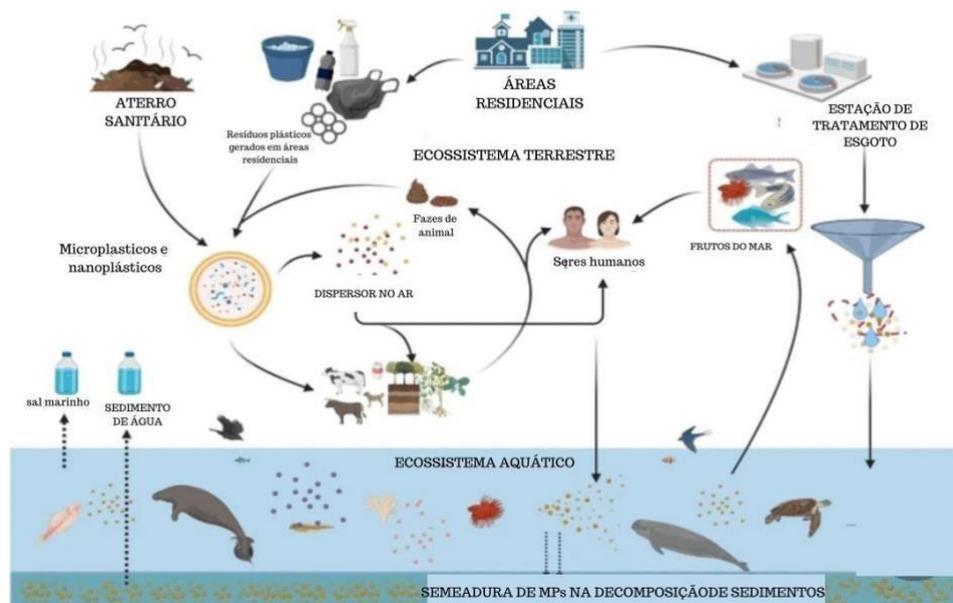
Os microplásticos são abundantes principalmente nos sistemas marinhos e costeiros, e os seus poluentes sintéticos interagem quimicamente com poluentes orgânicos e metais (Senevirathna; Thushari, 2020). Os plásticos são frequentemente encontrados no meio ambiente como resultado do descarte inadequado. Embora sejam úteis na produção de equipamentos médicos descartáveis e contribuam para o aumento da produção de diversos bens materiais, eles sofrem uma degradação lenta que é causada por processos foto oxidativos e termo oxidativos, bem como em menor grau por biodegradação, o que enfraquece a integridade do material e leva à fragmentação em pedaços menores que 5 mm, conhecidos como microplásticos secundários (Prata *et al.*, 2019).

Segundo Lewis; Clemente e Polidoro (2022), nos plásticos ocorre uma concentração ou uma infiltração com os compostos nocivos orgânicos que não absorvem água, como pesticidas organoclorados, bifenilos policlorados, hidrocarbonetos poli aromáticos e dieteras polibromados. Os microplásticos são detectados em algumas espécies de peixes e de crustáceos que estão na alimentação do humano. E esses fragmentos de microplásticos são identificados por estarem acumulados no organismo desses indivíduos (Smith *et al.*, 2018). A contaminação por microplástico apresenta risco ao ambiente estuarino, pois encontra-se geralmente próximo às áreas urbanas e com o crescimento da

sociedade leva a um aumento na poluição por plásticos nestes ambientes (Vermeiren *et al.*, 2023).

Segundo Emadian, Onay e Demirel (2017), é importante destacar que o processo de fragmentação é um fator significativo na geração de microplásticos secundários, ocorrendo na água. Esse processo envolve três mecanismos essenciais: biofragmentação, assimilação e biodeterioração que desempenham um papel importante e impactante na formação dos MPs. Essas vias de fragmentação são cruciais para compreender a origem e a disseminação dos MPs no ambiente. Os plásticos secundários sofrem uma fragmentação resultando em tamanhos menores, por processos físicos e químicos (Gewert, Plass; Maclood, 2015). Os microplásticos são amplamente encontrados no ambiente marinho (figura 3) devido a processos hidrodinâmicos e ao transporte pelo vento e correntes oceânicas. Essa prevalência tem despertado uma preocupação científica crescente ao longo das últimas décadas. Aproximadamente 70% dos detritos plásticos marinhos acabam depositados nos sedimentos, enquanto 15% flutuam em áreas costeiras e o restante permanece na superfície da água do mar. Devido ao seu tamanho diminuto, os (MPs) podem ser ingeridas acidentalmente por diversos organismos marinhos, incluindo peixes, mexilhões, zooplâncton, aves marinhas, entre outros (Cole *et al.*, 2013; Wieczerek *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2021).

Figura 3 - Ciclo de vida desde a origem até o descarte dos microplásticos.



Fonte: (Lamichhane *et al.*, 2023).

Com o crescimento industrial do século XX, a sociedade teve que lidar com as consequências dos plásticos e seus efeitos deletérios, sendo esses bioacumulativos, gerando carência de reciclagem e ausência de dados a respeito da sua distribuição geográfica, tornando-se uma consequência potencial ao meio ambiente (Saad *et al.*, 2022). Com prováveis ameaças à saúde, o risco ligado aos MPs envolve um contato com as substâncias danosas, sendo eles aditivos plásticos e produtos químicos tóxicos que ocorre uma absorção em fontes ambientais, da mesma forma que microrganismos patogênicos se agrupam aos plásticos na cadeia alimentar do ambiente aquático (Li *et al.*, 2023).

Cummins; Nag; Yuan (2022) relataram que na Europa, há uma faixa entre 80 a 85% de que fragmentos de resíduos no ambiente marinho são plásticos, no qual 50% desse montante são de uso único. Na Irlanda, a estimativa é que 73% dos peixes das profundezas engolem microplásticos, 90% das aves aquáticas estão sendo identificadas com plástico nos seus estômagos.

4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Este estudo trata-se de uma revisão de literatura integrativa. A pesquisa foi realizada a partir das plataformas: PubMed, SciELO, Science Direct. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: Microplásticos; Contaminação; Meio Ambiente; Saúde Pública, utilizando os operadores booleanos: AND e NOT com o intuito de criar variações das palavras-chave.

Obtivemos um total de 208 artigos analisados, porém apenas 72 artigos foram selecionados por possuírem uma delimitação de publicação entre os anos (2001 – 2023) e escritos nos idiomas inglês e português. Os critérios de inclusão para essa pesquisa foram estudos de evidências científicas com base no impacto que a exposição do microplástico pode acarretar à saúde humana, ao meio ambiente, sobre sua morfologia e seus caminhos de ocorrência. Os artigos pesquisados foram compostos por: revisões bibliográficas e artigos originais. Já os critérios de exclusão foram: artigos indisponíveis, trabalhos que não tinham a mesma linha de abordagem deste estudo, teses, dissertações, artigos relacionados a outro assunto e com publicações antecedentes a 2001.

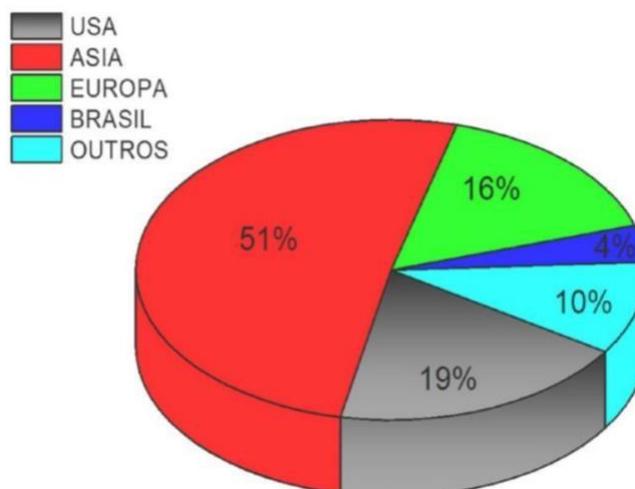
5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Principais meios que atuam na poluição microplástica nos ambientes naturais

Certamente, a produção e emissão de microplásticos envolvem diretamente empresas, consumidores e gestores. As empresas são responsáveis pela fabricação de produtos que contêm microplásticos, os consumidores ao comprarem e utilizarem esses produtos, e os gestores por administrarem resíduos e tomar decisões que afetam a gestão de plásticos (Garcia-Ael; Garcia-Vazquez; Topa, 2021). Hoje muitas empresas apresentam selo ecológicos, com a garantia de menor ou nenhum impacto ao meio ambiente. Assim, é inesperado que empresas ecológicas causem poluição microplástica, porém pesquisas recentes demonstraram que essas empresas podem também causar impacto por microplástico no meio ambiente (Stapleton *et al.*, 2023). Porém, em 2017, segundo o resultado dessa última atualização das estimativas globais relacionadas a fabricação e reciclagem dos plásticos, aproximadamente 6 milhões e 300 mil toneladas se referem a quantidade de plásticos produzidos e 9% se refere ao quantitativo de plásticos que tiveram um destino na reciclagem (Geyer *et al.*, 2017).

Segundo a pesquisa da PlasticsEurope, em 2019 a fabricação de plásticos em países da Europa apresenta cerca de 16% do total de plásticos que já foram usados em todo o mundo (figura 4). Já a produção plástica nos Estados Unidos foi de 19%, na Ásia 51% e no Brasil 4%. Visto que na Ásia o percentual é maior, a poluição plástica e conseqüentemente microplástica nos oceanos também será maior (Vargas *et al.*, 2022). Uma das fontes que facilitam a chegada desses MP's nos ambientes naturais é através da água, do vento e das correntes oceânicas ou de rios. Na área de agricultura há possibilidades de acontecer deposição dos microplásticos na terra por meio de irrigação ou revestimento com plástico (Zhu *et al.*, 2023).

Figura 4: percentual da produção de plástico em alguns países e continentes.



Fonte: (Vargas *et al.*, 2022).

5.1.1 Principais impactos causados pelos microplásticos em ecossistemas naturais

Nos ecossistemas naturais os resíduos sedimentados no solo da floresta de mangue resultaram no sufocamento radicular, o que conseqüentemente ocorreu morte de árvores (Vorsatz *et al.*, 2023). Os resíduos plásticos conseguem ficar estabelecidos no solo do mangue por vários anos e há registro de que uma parte do solo atribuída ao ano de 1930 mostrou presença de plásticos (Martin *et al.*, 2020).

Os efeitos que o acúmulo dos MP's causam nos ambientes naturais pode afetar o crescimento dos organismos retardando sua desenvoltura, em seres aquáticos o efeito é em estresse oxidativo, diminuição de apetite, interação com o material genético (genotóxico) e também pode causar morte (Hassan *et al.*, 2023).

A contaminação em ambientes naturais como na terra ocorre por meio de revestimento com plástico, em aterros, através do atrito dos pneus com o asfalto e através do ar. Na exposição de microplásticos em ambientes oceânicos, estuarinos e em rios traz um efeito maléfico. O transporte de microplásticos pode ser realocado

por diversas situações como vento, correntes de águas e também através da deposição desses detritos microplásticos no solo, o que acarreta em um impacto negativo nesses ecossistemas naturais (Li; Song; Cai, 2020; Uwamungu *et al.*, 2022).

5.1.2 Principais impactos dos microplásticos no consumo humano

Com resultados de alguns estudos foi apresentado que o microplástico pode ocasionar inflamação nos pulmões. A inalação dessas pequenas partículas plásticas acaba chegando nos pulmões, onde os agentes do sistema imunológico começam a agir no combate desse corpo estranho (Osman *et al.*, 2023; Jahandari, 2023). Segundo Vianello *et al.*, (2019), que realizou uma pesquisa para simular a inalação de microplásticos da atmosfera através de um boneco/modelo que apresentava uma semelhança com a respiração do humano, resultou na presença de microplásticos e o que apareceu em maior quantidade foi o poliéster com 59 a 92%, o polipropileno com 0,4 a 10%, polietileno com 5 a 28% e o nylon com 0 a 13%.

Outro estudo relata a presença de microplásticos em vários tipos de alimentos como por exemplo o sal e alimentos industrializados, além do consumo da água também. Em que afirmaram que não há confirmação dos danos que esses microplásticos causam no ser humano, mas afirmaram que há um impacto do microplástico na cadeia alimentar (Jin *et al.*, 2021).

5.1.3 Possíveis ações direcionadas à diminuição microplástica nos ambientes naturais e na saúde pública

A crise dos microplásticos é um problema complexo e envolve diversos intervenientes. Os principais atores incluem os consumidores que compram e usam produtos de plástico, as empresas que produzem plásticos e microplásticos, bem como as instalações de eliminação de resíduos e tratamento de águas residuais que podem ou não ter tecnologia adequada para impedir a entrada de microplásticos no meio ambiente. Por outro lado, os intervenientes indiretos, como os políticos, têm um papel fundamental. Eles alocam recursos públicos para tecnologias de tratamento de resíduos, elaboram e aplicam regulamentações para prevenir a poluição por plásticos. Isso pode incluir medidas como promover a economia circular e impor

restrições aos plásticos de uso único por meio de taxas e proibições. A abordagem holística para resolver a crise dos microplásticos requer a cooperação de todos esses intervenientes, diretos e indiretos, para mitigar os impactos ambientais e promover práticas mais sustentáveis na produção e consumo de plásticos (Garcia-Ael; Garcia-Vazquez; Topa, 2021).

Segundo Garcia-Ael; Garcia-Vazquez; Topa (2021), ações de controle para o impacto do microplástico estão sendo sancionadas. Há países com nenhum acesso ou acesso mínimo de fabricação dos MP's primários, porém existe um programa que consegue obter um resultado mais fidedigno diante desse contexto e pode consentir algumas soluções que é através do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Existe uma necessidade para que ocorra mudança nas empresas produtivas dos plásticos e que a maior parte dos plásticos descartados sejam reciclados em novos produtos. Já aqueles resíduos plásticos que não são reaproveitados podem virar matéria-prima ou virar energia, ou seja, a mobilização do consumo consciente deve ser repassada através das próprias empresas produtoras de plásticos, dando a iniciativa de um controle maior futuramente (Prata *et al.*, 2019).

Os MPs são altamente abundantes em ambientes de solo convencionais, como terras agrícolas, manguezais e aterros sanitários. Nos últimos anos, os pesquisadores isolaram microrganismos, incluindo bactérias e fungos, dessas regiões que possuem atividades de degradação em direção a MPs. A Tabela 2 fornece um resumo dessas cepas nativas com base em sua fonte e no tipo de polímero que elas degradam (Zhu *et al.*, 2023).

Tabela 2: Cepas de microrganismos isolados, com objetivo de degradar os microplásticos: PE – polietileno; PP – polipropileno; PS – poliestireno; PUR – poliuretano; PET – tereftalato de polietileno; PBSA – polibutileno succinato-co-adipato. Tabela retirada e adaptada do trabalho de Zhu et al., 2023.

Tipo de polímero	Microrganismo-chave	Fonte	Categoria	Método	Perda em massa	Referência
	<i>Bacillus sp. e Paenibacillus sp.</i>	Aterros sanitários	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	PE-MPs adicionados ao meio basal	14,1 % de peso seco (14 dias)	Park e Kim (2019)
PE	<i>Acidobactérias, Cloroflexi, Gemmatimonadetes e Bacteroidetes</i>	Campos de algodão	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	Amostragem local		Zhang et al. (2019b)
	<i>Pseudomonas</i> . cepa AKS31	Aterros sanitários	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	Filmes de PEBD colocados no meio mínimo	20.0 % (45 dias)	Roy et al. (2021)
	<i>Bacillus sp.</i> cepa 27 e <i>Rhodococcus sp.</i> cepa 36	Solo de mangue	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	PP-MPs adicionados ao meio Bushnell Haas (BH)	4,0 e 6,4 % (40 dias)	Auta et al. (2018)
PP	<i>Pseudomonas sp.</i> ADL15 e <i>Rhodococcus sp.</i> ADL36	Solos	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	PP-MPs adicionados ao meio Bushnell Haas (BH)	17,3 e 7,3% (40 dias)	Habib et al. (2020)
PS	<i>Bacillus cereus, Bacillus gottheilii, Staphylococcus globispora</i> , etc.	Solo de mangue	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	Remediação in situ	–	Auta et al. (2022)

Tipo de polímero	Microrganismo-chave	Fonte	Categoria	Método	Perda em massa	Referência
PUR	<i>Pseudomonas sp.</i> cepa AKS31	Aterros sanitários	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	Filmes PUR colocados no meio mínimo	10,0 % (10 dias)	Roy et al. (2021)
	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Bacillus gottheilii</i> , <i>Staphylococcus globispora</i> , etc.	Solo de mangue	Bactérias anaeróbicas aeróbicas ou facultativas	Remediação in situ	2.0 % (90 dias)	Auta et al. (2022)
PET	<i>Aspergillus tamarii</i> e <i>Penicillium crustum</i>	Solos	Fungos aeróbicos	Filmes PET colocados em caldo esterilizado YPSS (amido solúvel em fosfato de levedura)	–	Anbalagan et al. (2022)
PBSA	<i>Aspergillus terreus</i> HC e <i>Aspergillus fumigatus</i> L30	Terras agrícolas	Fungos aeróbicos	Filmes PBSA colocados no meio basal livre de carbono	42 e 26% (30 dias)	Chien et al. (2022)

Fonte: adaptado de Zhu et al., 2023.

Essa pesquisa revela que várias cepas bacterianas, como *Bacillus sp.* e *Rhodococcus sp.*, mostraram taxas de perda de peso de 4,0% e 6,4%, respectivamente, na degradação do polipropileno (PP) e poliestireno (PS) em ambientes de mangue. Além disso, estudos identificaram que *Bacillus sp.* e *Paenibacillus sp.* reduziram o peso seco em 14,7% do polietileno (PE) em sedimentos de aterros. Em condições extremas, como no solo antártico, *Pseudomonas sp.* e *Rhodococcus sp.* mostraram taxas de perda de peso de 17,3% e 7,3%, respectivamente, na degradação de resíduos de plástico. A aplicação da

tecnologia de compostagem hipertermofílica (HTC) resultou na degradação de 7,3% dos poliestirenos (PS) sob condições controladas, com a participação de bactérias como *Thermus*, *Bacillus* e *Geobacillus*. Acredita-se que, além das bactérias, os fungos desempenham um papel importante na degradação de microplásticos. A biodegradação é amplamente reconhecida como o principal mecanismo de degradação de MPs no solo, visto que os próprios MPs podem servir como fonte de carbono. Os fungos decompõem os MPs utilizando-os como fonte de carbono para sustentar seu próprio crescimento (Zhu *et al.*, 2023).

6 CONCLUSÃO

O presente estudo obteve por conclusão que ao adotarmos práticas mais eficazes de gestão de resíduos e ao apoiarmos políticas mais rigorosas, estaremos delineando um caminho em direção a um futuro mais salubre e higiênico. Uma ação decisiva neste momento pode interromper o ciclo de contaminação que ameaça a vida marinha e o equilíbrio ecológico. Desta maneira, concluímos esta pesquisa com uma nota de otimismo, porém ressaltamos a necessidade de haver mais estudos no quesito de consequências do microplástico na saúde humana. Além de uma posição mais rigorosa vinda de políticas públicas, já que a presença de microplásticos na poluição não constitui meramente um problema, mas sim um desafio que podemos enfrentar com coesão e determinação.

Ao explorarmos a complexa teia da poluição microplástica e seus efeitos abrangentes, é impossível não notar a urgência de uma mudança nos processos de produção e uso do plástico. Contudo, a promoção de plásticos biodegradáveis é um passo significativo, assim como a conscientização pública. Educar a sociedade sobre os perigos dos microplásticos é o início da mudança. Não se trata apenas de reduzir o uso de plásticos, mas de repensar nossa relação com o consumo e o descarte. Convidamos a todos a se tornarem agentes de mudança, a compartilharem conhecimentos e a agirem em prol de um futuro sustentável. Juntos, possuímos a capacidade de preservar a beleza e a diversidade biológica do nosso planeta para as gerações futuras. A responsabilidade está em nossas mãos, e o momento é propício.

REFERÊNCIAS

AUTA, H. S. et al., Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. **Marine pollution bulletin**, v. 127, p. 15-21, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X17309931> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

AUTA, H. S. et al., Enhanced microbial degradation of PET and PS microplastics under natural conditions in mangrove environment. **Journal of environmental management**, v. 304, p. 114273, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721023355> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

AKHBARIZADEH, R. et al., Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications. **Environmental Research**, V. 192, p. 110339. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120312366> Acesso em: 7 de maio de 2023.

ANBALAGAN, S. et al., Hydrolytic degradation of polyethylene terephthalate by cutinase enzyme derived from fungal biomass—molecular characterization. **BioInterface Res. Appl. Chem**, v. 12, p. 653-667, 2021. Disponível em: <https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2021/04/20695837121.653667.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

BARBOZA, L. G. A. et al., Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. **Marine pollution bulletin**, v. 133, p. 336-348, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1830376X> Acesso em: 2 de maio de 2023.

CHIEN, Hsiao-Lin et al., Biodegradation of PBSA films by elite aspergillus isolates and farmland soil. **Polymers**, v. 14, n. 7, p. 1320, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/7/1320> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

COLE, M. et al., Microplastic ingestion by zooplankton. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 12, p. 6646-6655, 2013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es400663F> Acesso em: 25 de maio de 2023.

DANOPOULOS, E.; TWIDDY, M.; ROTCHELL, JM., Microplastic contamination of drinking water: A systematic review. **PloS one**, v. 15, n. 7, p. e0236838, 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article/fileid=10.1371/journal.pone.0236838&type=printable> Acesso em: 7 de maio de 2023.

DE FALCO, F. et al., Novel finishing treatments of polyamide fabrics by electrofluidodynamic process to reduce microplastic release during washings. **Polymer Degradation and Stability**, v. 165, p. 110-116, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141391019301533> Acesso em: 7 de maio de 2023.

EMADIAN, S. M.; ONAY, T. T.; DEMIREL, B., Biodegradation of bioplastics in natural environments. **Waste management**, v. 59, p. 526-536, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1630561X?via%3Dihub> Acesso em: 13 de maio de 2023.

GARCIA-VAZQUEZ, E.; GARCIA-AEL, C.; TOPA, G., On the way to reduce marine microplastics pollution. Research landscape of psychosocial drivers. **Science of the Total Environment**, v. 799, p. 149384, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721044570?via%3Dihub> Acesso em 17 de setembro de 2023.

GEWERT, B.; PLASSMANN, M. M.; MACLOOD, M., Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 17, n. 9, p. 1513–1521, 2015. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/EM/C5EM00207A> Acesso em: 23 de maio de 2023.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L., Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1700782> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

GUERRANTI, C. et al., Microplastics in cosmetics: Environmental issues and needs for global bans. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 68, p. 75-79, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668918305635> Acesso em: 7 de maio de 2023.

GUO, X.; WANG, J., The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X19302036?via%3Dihub> Acesso em: 14 de maio de 2023.

GUO, Y. et al., Ignored microplastic sources from plastic bottle recycling. **Science of The Total Environment**, v. 838, p. 156038, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722031357> Acesso em: 5 de setembro de 2023.

HABIB, S. et al., Biodeterioration of untreated polypropylene microplastic particles by Antarctic bacteria. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 2616, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/11/2616> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

HAN, S. et al., Surface pattern analysis of microplastics and their impact on human-derived cells. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 2, n. 11, p. 4541-4550, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsapm.0c00645> Acesso em: 1 de maio de 2023.

HAQUE, F.; FAN, C., Fate of microplastics under the influence of climate change. **iScience**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004223017261> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

HASSAN, F. et al., Microplastic contamination in sewage sludge: Abundance, characteristics, and impacts on the environment and human health. **Environmental Technology & Innovation**, p. 103176, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423001724> Acesso em: 22 de setembro de 2023.

JAHANDARI, A., Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 12, p. 100346, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623001171> Acesso em 12 de setembro de 2023.

JIN, M. et al., Microplastics contamination in food and beverages: Direct exposure to humans. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 7, p. 2816-2837, 2021. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15802> Acesso em 12 de setembro de 2023.

JUNG, Y. S. et al., Characterization and regulation of microplastic pollution for protecting planetary and human health. **Environmental Pollution**, v, 315, p. 120442, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122016566> Acesso em: 17 de maio de 2023.

KHAN, A.; JIA, Z., Recent insights into uptake, toxicity, and molecular targets of microplastics and nanoplastics relevant to human health impacts. **iScience**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004223001384> Acesso em: 17 de maio de 2023.

KOELMANS, A. A. et al., Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. **Water research**, v. 155, p. 410-422, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135419301794> Acesso em: 17 de maio de 2023.

KURNIAWAN, S. B. et al., Microplastic pollution in the environment: Insights into emerging sources and potential threats. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101790, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421004387?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023

LAMICHHANE, G. et al., Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, n. 4, p. 4673-4694, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04261-1#Fig1> Acesso em: 17 de maio de 2023.

LIAQUAT, A. et al., Microplastics in freshly fallen snow: How may it adversely impact human health and exacerbate the COVID-19 crisis?. **Annals of Medicine and Surgery**, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2049080122010366> Acesso em: 17 de maio de 2023.

LI, J.; SONG, Y.; CAI, Y., Focus topics on microplastics in soil: analytical methods, occurrence, transport, and ecological risks. **Environmental Pollution**, v. 257, p. 113570, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119335882> Acesso em: 17 de setembro de 2023.

LI, X. et al., From marine to freshwater environment: A review of the ecotoxicological effects of microplastics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 251, p. 114564, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323000684> Acesso em: 13 de maio de 2023.

LIU, Y. et al., An overview of microplastics in oysters: analysis, hazards, and depuration. **Food Chemistry**, p. 136153, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814623007719> Acesso em: 9 de maio de 2023.

MARCHANT, D. J. et al., Contrasting the effects of microplastic types, concentrations and nutrient enrichment on freshwater communities and ecosystem functioning. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 255, p. 114834, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765132300338X?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023.

MARTIN, C. et al., Exponential increase of plastic burial in mangrove sediments as a major plastic sink. **Science advances**, v. 6, n. 44, p. eaaz5593, 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaz5593> Acesso em: 13 de setembro de 2023.

MENDOZA, L. M. R.; VARGAS, D. L.; BALCER, M., Microplastics occurrence and fate in the environment. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 32, p. 100523, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223621000791> Acesso em: 25 de maio de 2023.

MONTAGNER, C. C. et al., Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, v. 44, p. 10, 1328-1352, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VJ58TBjHVqDZsvWLckcFbTQ/#> Acesso em: 13 de maio de 2023.

MORGADO, V.; PALMA, C.; DA SILVA, R. JN B., Determination of microplastic contamination levels and trends in vast oceanic sediment areas with uncertainty. **Science of The Total Environment**, p. 163612, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723022313> Acesso em: 2 de maio de 2023.

NG, W.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A., Convolutional Neural Network for soil microplastic contamination screening using infrared spectroscopy. **Science of the Total Environment**, volume 702, p.134723, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971934714X?via%3Dihub> Acesso em: 28 de fevereiro.

O'BRIEN, S. et al., There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 189, p. 110036, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723008094?via%3Dihub> Acesso em: 7 de março de 2023.

OLIVATTO, G. P. et al., Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 2018. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v10n6a16.pdf> Acesso em: 25 de outubro de 2023.

OSMAN, A. I. et al., Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 4, p. 2129-2169, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01593-3> Acesso em: 12 de setembro de 2023.

PARK, S. Y.; KIM, C. G., Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. **Chemosphere**, v. 222, p. 527-533, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519301754> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

POLIDORO, B.; LEWIS, T.; CLEMENT, C., A screening-level human health risk assessment for microplastics and organic contaminants in near-shore marine environments in American Samoa. **Heliyon**, v. 8, n. 3, p. e09101, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022003899> Acesso em: 11 de maio de 2023.

PORCINO, N.; BOTTARI, T.; MANCUSO, M., Is Wild Marine Biota Affected by Microplastics? **Animals**, v. 13, n. 1, p. 147, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/1/147> Acesso em: 28 de fevereiro.

PRATA, J. C. et al., Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 13, p. 2411, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390%2Fijerph16132411> Acesso em: 28 de setembro de 2023.

PRATA, J. C. et al., Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. **Science of the total environment**, v. 702, p. 134455, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719344468?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023.

RAGUSA, A. et al., Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment international**, v. 146, p. 106274, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322297> Acesso em: 17 de maio de 2023.

RINCON-RUBIO, L. M. et al., A general solution of the closed-loop kinetic scheme for the thermal oxidation of polypropylene. **Polymer Degradation and Stability**, v. 74, n. 1, p. 177-188, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141391001001549> Acesso em: 25 de maio de 2023.

RITCHIE, H.; ROSER, M., Plastic pollution. **Our World in Data**, 2018. Disponível em: https://ourworldindata.org/plastic-pollution?utm_source=newsletter Acesso em: 12 de maio 2013.

ROY, R. et al., Isolation of a soil bacterium for remediation of polyurethane and low-density polyethylene: a promising tool towards sustainable cleanup of the environment. **3 Biotech**, v. 11, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-020-02592-9> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

SAAD, D. et al., Microplastics in freshwater environment: the first evaluation in sediment of the Vaal River, South Africa. **Heliyon**, v. 8, n. 10, p. e11118, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022024069> Acesso em: 13 de maio de 2023.

SCHMID, C.; COZZARINI, L.; ZAMBELLO, E., Microplastic's story. **Marine pollution bulletin**, v. 162, p. 111820, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20309383?via%3Dihub> Acesso em: 17 de maio de 2023.

SHEN, et al., Neglected microplastics pollution in global COVID-19: Disposable surgical masks. **Science of the Total Environment**, v. 790, p. 148130, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8164515/> Acesso em: 7 de março de 2023.

SILVA, A. L. P. et al., Microplastics in landfill leachates: The need for reconnaissance studies and remediation technologies. **Case Studies Chemical Environmental Engineering**, v. 3, 100072, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016420300700?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023.

SMITH, M. et al., Microplastics in seafood and the implications for human health. **Current environmental health reports**, v. 5, p. 375-386, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-018-0206-z#citeas> Acesso em: 11 de maio de 2023.

STAPLETON, M. J. et al., Evaluating the generation of microplastics from an unlikely source: The unintentional consequence of the current plastic recycling process. **Science of The Total Environment**, p. 166090, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723047150> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

STRADY, E. et al., Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam. **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, p. 111870, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20309887> Acesso em: 13 de maio de 2023.

SUZUKI, G. et al., Mechanical recycling of plastic waste as a point source of microplastic pollution. **Environmental Pollution**, v. 303, p. 119114, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122003281> Acesso em: 5 de setembro de 2023.

TADSUWAN, K.; BABEL, S., Microplastic contamination in a conventional wastewater treatment plant in Thailand. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 5, p. 754-761, 2021. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X20982055> Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

TIRKEY, A.; UPADHYAY, B. S. L., Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics, **Marine Pollution Bulletin**, v.170, p. 112604, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X2100638X?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023.

THUSHARI, G. G. N.; SENEVIRATHNA, J. D. M., Plastic pollution in the marine environment. **Heliyon**, v. 6, n. 8, p. e04709, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32923712/> Acesso em: 1 de maio de 2023.

UWAMUNGU, J. Y. et al., Microplastic contamination in soil agro-ecosystems: a review. **Environmental Advances**, p. 100273, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765722001089> Acesso em: 17 de setembro de 2023.

VERMEIREN, P. et al., Microplastic distribution among estuarine sedimentary habitats utilized by intertidal crabs. **Science of the Total Environment**, v. 866, p. 161400, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723000153> Acesso em: 11 de maio de 2023.

VETHAAK, A. D.; LEGLER, J., Microplastics and human health. **Science**, v. 371, n. 6530, p. 672-674, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33574197/> Acesso em: 2 de maio de 2023.

VIANELLO, A. et al., Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 8670, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45054-w> Acesso em: 12 de setembro de 2023.

VORSATZ, D. L. et al., Anthropogenic debris pollution in peri-urban mangroves of South China: Spatial, seasonal, and environmental drivers in Hong Kong, **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, n. 115495, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X23009293> Acesso em: 12 de setembro de 2023.

WANG, Y. et al., Occurrence and distribution of microplastics in surface sediments from the Gulf of Thailand. **Marine Pollution Bulletin**, v. 152, p. 110916, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20300345?via%3Dihub> Acesso em: 2 de maio de 2023.

WIECZEREK, A. M. et al., Microplastic ingestion by gelatinous zooplankton may lower efficiency of the biological pump. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 9, p. 5387-5395, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.8b07174> Acesso em: 25 de maio de 2023.

YANG, H.; CHEN, G.; WANG, J., Microplastics in the marine environment: sources, fates. **Impact Microb Degrad Toxics** v. 9, n.2, p.41, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/9/2/41> Acesso em: 25 de maio de 2023.

YUAN, Z.; NAG, R.; CUMMINS, E., Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment-From marine to food systems. **Science of The Total Environment**, p. 153730, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722008221> Acesso em: 17 de maio de 2023.

ZHANG, M. et al., Microplastics from mulching film is a distinct habitat for bacteria in farmland soil. **Science of the Total Environment**, v. 688, p. 470-478, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719326762> Acesso em: 26 de outubro de 2023.

ZHAO, K. et al., Separation and characterization of microplastic and nanoplastic particles in marine environment. **Environmental Pollution**, v. 297, p. 118773, março de 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121023551?via%3Dihub> Acesso em: 1 de maio de 2023.

ZHU, J. et al., Microplastics in the soil environment: Focusing on the sources, its transformation and change in morphology. **Science of the Total Environment**, p. 165291, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723039141> Acesso em: 17 de setembro de 2023.