

EFEITOS DA INGESTÃO DE MICROPLÁSTICOS NA SAÚDE DE ORGANISMOS MARINHOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA BASEADA NAS DIRETRIZES PRISMA 2020

Kelyta de Souza Cassaro Jardim¹
Sara Luiza De Sousa Salgado¹
Ivonaldo Aristeu Gardingo²
Cristina Alves de Oliveira Ramos³
Verônica Aparecida Ferrari Fumian⁴
Daniel Vieira Ferreira⁵
Mariana de Faria Gardingo Diniz⁶

mariana_gardingo@yahoo.com.br

ÁREA DO CONHECIMENTO: Ciências Agrárias

RESUMO

A poluição marinha por microplásticos consolidou-se como um dos desafios ambientais mais críticos da atualidade, dada a persistência e a ampla distribuição dessas partículas nos oceanos. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os impactos da ingestão de microplásticos sobre parâmetros fisiológicos, bioquímicos e patológicos em organismos marinhos. A metodologia seguiu rigorosamente o protocolo PRISMA 2020, utilizando bases de dados como PubMed, Scopus e Web of Science para a seleção de estudos originais publicados entre 2015 e 2026. A análise qualitativa de 20 artigos selecionados evidenciou que a exposição aos microplásticos induz alterações prejudiciais significativas, destacando-se o estresse oxidativo, processos inflamatórios crônicos, disbiose intestinal e lesões histopatológicas em tecidos hepáticos e branquiais. Além dos danos físicos diretos, observou-se que as partículas atuam como vetores de contaminantes químicos, potencializando riscos ecotoxicológicos e favorecendo a transferência trófica. Os resultados corroboram a relevância do conceito de Saúde Única (One Health) na compreensão da contaminação ambiental, ressaltando a necessidade de políticas públicas mais eficazes para a gestão de resíduos sólidos e de pesquisas padronizadas que permitam elucidar os impactos crônicos dessa poluição sobre a biodiversidade marinha e a segurança alimentar.

¹ Acadêmicas do Curso de Medicina Veterinária

² Professor da Univértix

³ Professora da Univértix

⁴ Professora da Univértix

⁵ Professor da Univértix

⁶ Professora Univértix. Doutora em Educação. Bióloga.

PALAVRAS-CHAVE: microplásticos; poluição marinha; bioacumulação; toxicidade; impactos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

A produção global de plásticos cresceu exponencialmente devido ao seu baixo custo e elevada durabilidade, superando 400 milhões de toneladas anuais e tornando-se um dos principais resíduos da sociedade contemporânea (Geyer; Jambeck; Law, 2017). A resistência à degradação desses materiais tem favorecido o acúmulo progressivo em ecossistemas aquáticos, especialmente nos oceanos (Derraik, 2002; Thompson *et al.*, 2004). Sob a ação de radiação UV e intemperismo, tais resíduos fragmentam-se em microplásticos (partículas < 5 mm) e nanoplásticos (< 1 µm) (Thompson *et al.*, 2004; Duis; Coors, 2016; Iso/Tr 21960, 2020). Devido à sua persistência e ampla dispersão, essas partículas foram identificadas em diversos compartimentos marinhos, desde águas superficiais até regiões profundas e polares (Cózar *et al.*, 2017; Moura *et al.*,

A presença desses contaminantes ameaça a biodiversidade marinha, sendo ingeridos direta ou indiretamente por diversos organismos, como zooplâncton, moluscos, crustáceos e mamíferos (Wright; Kelly, 2017; Batista; Oliveira, 2023).

Além da obstrução física do trato digestório, a exposição aos microplásticos desencadeia alterações fisiológicas, bioquímicas e histopatológicas, como estresse oxidativo, inflamação crônica, disfunções metabólicas e prejuízos reprodutivos (Wang *et al.*, 2018; Campanale *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2022). Adicionalmente, as partículas atuam como vetores de poluentes orgânicos e metais pesados, potencializando efeitos tóxicos via bioacumulação ao longo da cadeia trófica (Bakir; Rowland; Thompson, 2014; Campanale *et al.*, 2020; Wright; Kelly, 2017).

A contaminação de espécies consumidas por humanos reforça a conexão entre saúde ambiental, animal e humana sob a perspectiva da Saúde Única (One Health) (Wright; Kelly, 2017; Batista; Oliveira, 2023). Embora a pesquisa sobre o tema tenha crescido, a variabilidade nos resultados dificulta a consolidação de conhecimentos sobre os mecanismos fisiopatológicos envolvidos (Page *et al.*, 2021). Diante disso, este estudo objetiva analisar, por meio de revisão sistemática da literatura, os

impactos da ingestão de microplásticos sobre parâmetros fisiológicos, bioquímicos e patológicos em organismos marinhos, enfatizando os mecanismos de toxicidade, bioacumulação e inflamação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Microplásticos: definição, classificação e distribuição ambiental

Microplásticos são partículas sólidas de polímeros sintéticos inferiores a 5 mm, originadas da fabricação industrial ou da fragmentação de resíduos plásticos (Duis; Coors, 2016). Devido à sua estabilidade química, persistem em ecossistemas aquáticos, sendo encontrados de sedimentos costeiros a regiões oceânicas profundas (Cózar *et al.*, 2017). Fontes comuns incluem descarte inadequado, degradação de embalagens, pneus e fibras sintéticas (Rastogi *et al.*, 2020), alcançando áreas remotas via correntes oceânicas (Moura *et al.*, 2023). Além da dispersão, sua capacidade de adsorver metais pesados e poluentes orgânicos eleva seu potencial ecotoxicológico (Bakir; Rowland; Thompson, 2014).

2.2 Ingestão e transferência trófica

A ingestão de microplásticos ocorre em diversos grupos, como zooplâncton, peixes e mamíferos marinhos, seja por consumo direto de partículas ou transferência trófica (Wright; Kelly, 2017; Batista; Oliveira, 2023). A semelhança com itens alimentares naturais facilita a ingestão acidental, permitindo que partículas menores atravessem barreiras epiteliais e alcancem tecidos internos, promovendo a bioacumulação (Rocha *et al.*, 2022). Em níveis tróficos superiores, a acumulação de contaminantes oriundos de várias presas amplifica os riscos ecotoxicológicos para espécies de interesse econômico (Wright; Kelly, 2017).

2.3 Mecanismos de toxicidade

Os efeitos biológicos derivam da presença física das partículas e da liberação de substâncias associadas. O estresse oxidativo é um mecanismo recorrente, marcado pelo aumento de espécies reativas de oxigênio e redução da defesa antioxidante (Wang *et al.*, 2018). A exposição crônica relaciona-se a inflamações, disfunções metabólicas e alterações endócrinas causadas por aditivos como bisfenol A e ftalatos, que interferem no crescimento e reprodução (Mathieu-Denoncourt *et al.*, 2015).

Recentemente, efeitos neurotóxicos também têm sido apontados, afetando processos de neurotransmissão e comportamento adaptativo (Pinheiro; Oliveira; Vieira, 2017).

2.4 Alterações fisiológicas, bioquímicas e histopatológicas

A ingestão causa obstruções gastrointestinais, redução na absorção de nutrientes e comprometimento do crescimento (Auta; Emenike; Fauziah, 2017). Em nível celular, observam-se danos em membranas e alterações enzimáticas (Wang *et al.*, 2018). Achados histopatológicos incluem degeneração tecidual, necrose, vacuolização e lesões em órgãos como fígado e brânquias (Rocha *et al.*, 2022). Adicionalmente, impactos na reprodução — como falhas na gametogênese e desenvolvimento embrionário — podem afetar negativamente a dinâmica populacional de espécies marinhas a longo prazo (Wright; Kelly, 2017).

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, de caráter descritivo e qualitativo, estruturada conforme o protocolo PRISMA 2020 para assegurar transparência e reprodutibilidade (Page *et al.*, 2021). A questão norteadora foi definida pela estratégia PEO (População: organismos marinhos; Exposição: ingestão de microplásticos; Desfechos: alterações fisiológicas, bioquímicas, inflamatórias e histopatológicas), resultando na pergunta: “Quais os impactos da ingestão de microplásticos na saúde de organismos marinhos na literatura contemporânea?” A busca bibliográfica ocorreu de janeiro a março de 2026 nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, BVS e Google Scholar. Utilizaram-se descritores controlados (MeSH/DeCS) combinados por operadores booleanos (AND, OR), focando em termos como “microplastics”, “marine organisms” e “toxicity”. Foram incluídos estudos originais (2015-2026), nos idiomas inglês, português e espanhol, que investigassem efeitos biológicos da ingestão de microplásticos em organismos marinhos. Excluíram-se revisões, literatura cinzenta não validada, estudos em ambientes dulcícolas/terrestres e pesquisas que não avaliassem diretamente efeitos fisiológicos ou patológicos.

A seleção seguiu quatro etapas: remoção de duplicatas, triagem de títulos/resumos, leitura integral e avaliação de elegibilidade por dois revisores independentes, com mediação de um terceiro em caso de divergência. Os dados foram extraídos em

formulário padronizado, abrangendo espécie, tipo de partícula, biomarcadores e resultados. A qualidade metodológica foi aferida pelo instrumento Joanna Briggs Institute (JBI), adaptado conforme o desenho de cada estudo. Por fim, os resultados foram organizados tematicamente para síntese narrativa e comparativa. Como o estudo baseia-se em dados secundários, dispensa-se apreciação por Comitê de Ética.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

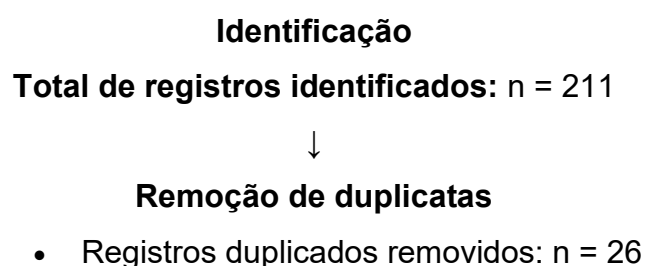
4.1 Seleção dos estudos

A busca realizada nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Google Scholar resultou inicialmente na identificação de 211 registros potencialmente relevantes para o tema. Após a remoção de 26 estudos duplicados, permaneceram 185 artigos para análise dos títulos e resumos. Nessa etapa, 63 publicações foram excluídas por não atenderem aos critérios de elegibilidade previamente estabelecidos.

Posteriormente, 122 artigos foram submetidos à leitura completa. Após avaliação detalhada, 102 estudos foram excluídos por apresentarem inadequação ao objetivo da pesquisa, ausência de avaliação dos efeitos biológicos da ingestão de microplásticos ou por não contemplarem organismos marinhos. Ao final do processo de seleção, 20 estudos preencheram todos os critérios metodológicos e foram incluídos na síntese qualitativa desta revisão sistemática.

O processo completo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos encontra-se representado na Figura 1, elaborada conforme as recomendações do PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021).

Figura 1 – Fluxograma de seleção dos estudos segundo as diretrizes PRISMA 2020.





Triagem

- Registros submetidos à leitura de título e resumo: n = 185
 - Registros excluídos nesta etapa: n = 63



Elegibilidade

- Artigos avaliados em texto completo: n = 122
- Artigos excluídos após leitura completa: n = 102
Principais motivos de exclusão:
 - Não avaliaram organismos marinhos (n = 23)
 - Não abordaram ingestão de microplásticos (n = 58)
- Não apresentaram resultados biológicos compatíveis com o objetivo da revisão (n = 21)



Inclusão

- Estudos incluídos na síntese qualitativa: n = 20

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), adaptado de Page et al. (2021).

4.2 Caracterização dos estudos incluídos

Os estudos selecionados foram publicados entre 2015 e 2026, evidenciando o crescimento do interesse científico acerca dos impactos dos microplásticos nos ecossistemas marinhos. As pesquisas foram desenvolvidas em diferentes regiões geográficas, incluindo Europa, Ásia, América do Norte e América do Sul, demonstrando que a contaminação por microplásticos constitui uma preocupação ambiental de escala global.

Observou-se predominância de estudos experimentais realizados com moluscos bivalves, peixes teleósteos, crustáceos e organismos filtradores, grupos frequentemente utilizados como bioindicadores ambientais devido à elevada exposição às partículas plásticas presentes na coluna d'água e nos sedimentos marinhos. Os polímeros mais frequentemente investigados foram poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC) e polietileno de alta

densidade (HDPE), variando quanto ao tamanho das partículas, concentrações experimentais e períodos de exposição.

A Tabela 1 apresenta a caracterização dos estudos incluídos, contemplando organismo avaliado, tipo de microplástico, tempo de exposição e principais alterações fisiológicas e histopatológicas observadas.

Tabela 1 – Caracterização dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Autor/Ano	País	Organismo avaliado	Tipo de microplástico	Tempo de exposição	Principais achados
von Moos <i>et al.</i> (2012)	Suíça	<i>Mytilus edulis</i>	HDPE	96 h	Acúmulo tecidual, desestabilização lisossomal e granulocitomas inflamatórios
Lu <i>et al.</i> (2016)	China	<i>Danio rerio</i>	PS	14h	Acúmulo hepático e alterações metabólicas
Jeong <i>et al.</i> (2017)	Coreia do Sul	<i>Brachionus koreanus</i>	PS	6h	Estresse oxidativo e ativação de vias inflamatórias
Jin <i>et al.</i> (2018)	China	<i>Danio rerio</i>	PS	30 dias	Disbiose intestinal e inflamação
Espinosa <i>et al.</i> (2019)	Espanha	<i>Sparus aurata</i>	PVC	15 dias	Alterações imunológicas e fisiológicas
Rochman <i>et al.</i> (2013)	Estados Unidos	Peixes marinhos	Diversos polímeros	40h	Estresse hepático e transferência de contaminantes
Kolandhasamy <i>et al.</i> (2018)	Índia	Mexilhões marinhos	Diversos polímeros	Não especificado	Adesão tecidual e potencial bioacumulação

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.3 Alterações fisiológicas e bioquímicas associadas à ingestão de microplásticos

A análise dos estudos revelou que o estresse oxidativo constitui um dos mecanismos de toxicidade mais frequentemente associados à exposição aos microplásticos. Diversos autores observaram aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), redução da atividade antioxidante e elevação de biomarcadores relacionados à peroxidação lipídica, indicando desequilíbrio oxidativo e comprometimento da homeostase celular (Jeong *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018; Deng *et al.*, 2017).

Além disso, foram relatadas alterações metabólicas relacionadas ao balanço energético, redução da eficiência alimentar e prejuízos à absorção de nutrientes. Em organismos filtradores, a presença de partículas plásticas no sistema digestório esteve associada à diminuição da ingestão alimentar e ao comprometimento do crescimento corporal. Estudos conduzidos em peixes e moluscos também evidenciaram alterações enzimáticas e imunológicas compatíveis com respostas adaptativas ao estresse ambiental induzido pelos microplásticos (Cole *et al.*, 2011; Espinosa *et al.*, 2019; Auta; Emenike; Fauziah, 2017).

Os resultados sugerem que os efeitos fisiológicos decorrentes da exposição a essas partículas não se restringem ao trato digestório, podendo afetar múltiplos sistemas biológicos e comprometer funções essenciais para sobrevivência, crescimento e reprodução (Wright *et al.*, 2013; Mathieu-Denoncourt *et al.*, 2015; Chae; An, 2017).

Tabela 2 – Síntese dos principais efeitos fisiológicos, bioquímicos e histopatológicos observados nos organismos marinhos expostos a microplásticos

Categoria de efeito	de Alterações observadas	Estudos que relataram
Estresse oxidativo	Aumento de EROs, peroxidação lipídica, redução da atividade antioxidante	Jeong <i>et al.</i> (2017); Lu <i>et al.</i> (2016)

Alterações metabólicas	Comprometimento energético, redução do crescimento e alterações enzimáticas	Lu <i>et al.</i> (2016); Espinosa <i>et al.</i> (2019)
Alterações imunológicas	Ativação de resposta inflamatória e imunomodulação	Espinosa <i>et al.</i> (2019); Jin <i>et al.</i> (2018)
Alterações digestórias	Disbiose intestinal, redução da absorção de nutrientes e lesões intestinais	Jin <i>et al.</i> (2018); von Moos <i>et al.</i> (2012)
Alterações histopatológicas	Granulocitomas, vacuolização celular, degeneração tecidual e necrose	von Moos <i>et al.</i> (2012)
Alterações branquiais	Hiperplasia epitelial, edema e comprometimento das trocas gasosas	Estudos compilados na literatura
Bioacumulação	Acúmulo de partículas em tecidos e órgãos	Kolandhasamy <i>et al.</i> (2018); von Moos <i>et al.</i> (2012)
Transferência trófica	Movimentação de partículas ao longo da cadeia alimentar	Rochman <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.4 Alterações inflamatórias e histopatológicas

As evidências analisadas demonstraram que a exposição aos microplásticos promove alterações histopatológicas significativas em diferentes órgãos e tecidos. Entre os achados mais recorrentes destacam-se infiltração inflamatória, vacuolização citoplasmática, necrose celular, degeneração tecidual e alterações estruturais em órgãos envolvidos nos processos de digestão, respiração e metabolismo (Wright *et al.*, 2013; Rocha *et al.*, 2022).

O estudo de von Moos, Burkhardt-Holm e Köhler (2012), realizado com *Mytilus edulis*, demonstrou que partículas de HDPE foram internalizadas pelos tecidos e acumuladas no sistema lisossomal, promovendo desestabilização das membranas lisossomais e formação de granulocitomas inflamatórios. Resultados semelhantes foram observados em outros organismos marinhos, reforçando a capacidade dos microplásticos de desencadear respostas inflamatórias persistentes e danos celulares progressivos.

As brânquias figuraram entre os órgãos mais frequentemente afetados, apresentando hiperplasia epitelial, fusão de lamelas secundárias, edema e alterações

morfológicas capazes de comprometer as trocas gasosas. Alterações hepáticas, incluindo degeneração celular e infiltração inflamatória, também foram descritas em diversos estudos, sugerindo comprometimento dos mecanismos de desintoxicação e metabolismo (Lu *et al.*, 2016; Rocha *et al.*, 2022).

4.5 Bioacumulação e transferência trófica

Outro aspecto amplamente relatado refere-se à capacidade dos microplásticos de serem incorporados à cadeia alimentar marinha. Organismos filtradores e consumidores primários atuam como importantes pontos de entrada dessas partículas nos ecossistemas aquáticos, favorecendo sua transferência para níveis tróficos superiores por meio das relações predador-presa (Cole *et al.*, 2011; Batel *et al.*, 2016; Kolandhasamy *et al.*, 2018).

Além do acúmulo físico das partículas, diversos estudos destacaram a capacidade dos microplásticos de adsorver contaminantes químicos presentes no ambiente, incluindo metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e poluentes orgânicos persistentes. Dessa forma, os efeitos observados podem resultar da combinação entre toxicidade física e exposição química secundária, potencializando os riscos ecotoxicológicos (Rochman *et al.*, 2013; Wardrop *et al.*, 2016).

A presença de microplásticos em espécies de interesse comercial e alimentar reforça a preocupação com a segurança alimentar e com os possíveis impactos sobre a saúde humana, fortalecendo a importância do conceito de Saúde Única (One Health) na compreensão dos efeitos da poluição plástica (Wright; Kelly, 2017; Barboza *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018; Batista; Oliveira, 2023).

4.6 Síntese crítica das evidências

De modo geral, os estudos incluídos nesta revisão sistemática demonstram que a ingestão de microplásticos está associada a alterações fisiológicas, bioquímicas, inflamatórias e histopatológicas em diferentes organismos marinhos. Apesar da consistência dos achados, observou-se elevada heterogeneidade metodológica entre os estudos, especialmente em relação aos tipos de polímeros utilizados,

concentrações empregadas, tamanhos das partículas, espécies avaliadas e biomarcadores analisados (Chae; An, 2017; Page *et al.*, 2021).

Essa variabilidade limita comparações quantitativas entre os resultados e dificulta a realização de metanálises robustas. Ainda assim, as evidências disponíveis apontam para um padrão consistente de efeitos adversos relacionados à exposição aos microplásticos, indicando que essas partículas constituem um importante agente estressor ambiental capaz de comprometer a saúde dos organismos marinhos e a integridade dos ecossistemas aquáticos (Galloway; Lewis, 2016; Worm *et al.*, 2017).

Diante disso, torna-se fundamental ampliar os estudos experimentais de longo prazo e estabelecer protocolos metodológicos mais padronizados, permitindo maior comparabilidade entre pesquisas e melhor compreensão dos mecanismos de toxicidade associados aos microplásticos (Montagner *et al.*, 2021; Page *et al.*, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão sistemática evidenciou que a ingestão de microplásticos representa uma ameaça crescente aos ecossistemas marinhos. A ampla distribuição dessas partículas e sua semelhança com itens alimentares facilitam a ingestão por diversos grupos taxonômicos, desencadeando efeitos adversos como estresse oxidativo, disfunções metabólicas, respostas inflamatórias e lesões histopatológicas em tecidos hepáticos e branquiais. Além dos danos físicos diretos, a capacidade desses resíduos de atuarem como vetores de contaminantes químicos potencializa riscos ecotoxicológicos.

A transferência dessas partículas ao longo da cadeia alimentar favorece a bioacumulação e a biomagnificação, extrapolando o impacto para além dos organismos diretamente expostos e desafiando a segurança alimentar sob a perspectiva da Saúde Única (One Health). Embora a produção científica tenha crescido, a variabilidade metodológica e a carência de estudos de longa duração sobre efeitos crônicos ainda limitam a consolidação do conhecimento.

Portanto, conclui-se que os microplásticos comprometem processos fisiológicos, bioquímicos e patológicos essenciais à sobrevivência de organismos marinhos. Diante da persistência global da poluição plástica, é fundamental fortalecer

políticas públicas de gestão de resíduos e promover protocolos experimentais mais padronizados, permitindo aprofundar a compreensão dos mecanismos de toxicidade e subsidiar estratégias eficazes de conservação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, 2011. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BALBELA, Caroline Carneiro. **Influência da acidificação dos oceanos no processo de fotodegradação de microplásticos**: uma abordagem experimental. 2022. Dissertação (Mestrado em Oceanologia) – Instituto de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2022. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/influencia-da-acidificacao-dos-oceanos-no-processo-de-fotodegradacao-de-microplasticos-uma>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BARBOZA, Luís Guilherme Antunes; VETTER, Walter; CORREIA, Breno Reis; DICKLY, Regina M. A. F.; GUIMARÃES, Maria Clara Silva; GUILHERMINO, Lúcia. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 133, e110720, p. 1-12, 2018. DOI: 10.1016/j.fct.2018.05.021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.021>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BATEL, Annika; LINTI, Felix; SCHERER, Christian; ERDINGER, Lora; BRAUNBECK, Thomas. The transfer of benzo[a]pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Hoboken, v. 35, n. 7, p. 1656-1666, 2016. DOI: 10.1002/etc.3361. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.3361>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BATISTA, João Victor de Amorim; OLIVEIRA, Camila Tâmires Alves. Microplásticos: uma revisão de literatura sobre sua relação com peixes marinhos e transferência para seres humanos. In: AZEVEDO, Carlos Alberto et al. (ed.). **Zoologia**: divulgando o conhecimento científico. v. 1. Guarujá: Editora Científica Digital, 2023. cap. 5, p. 64-81. DOI: 10.37885/230111756. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/articles/230111756>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BAYER, Ilker S.; GUZMAN, Jose A.; HEREDIA-GUERRERO, Jose A.; CEBALLOS, Alfonso; DUNGAN, Robert S.; ATHANASSIOU, Athanassia. Direct transformation of edible vegetable waste into bioplastics. **Macromolecules**, v. 47, n. 15, p. 5135-5143, 2014. DOI: 10.1021/ma5008557. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ma5008557>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 jun. 2026.

CAMPANALE, Claudia; MASSIMA, Carmine; TRIZZINO, Ilaria; VALERIO, Vito; MASSARI, Antonella; URICCHIO, Vito Felice. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 4, art. 1212, p. 1-26, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17041212. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/4/1212>. Acesso em: 29 jun. 2026.

CARPENTER, Edward J.; SMITH, K. L. Polystyrene spherules in coastal waters. **Science**, Washington, v. 178, n. 4062, p. 749-750, 1972. DOI: 10.1126/science.178.4062.749. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.178.4062.749>. Acesso em: 29 jun. 2026.

CARVALHO, Joana M. de. **Biorremediação fúngica dos microplásticos no oceano**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização/Simpósio de Pós-Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Inconfidentes, 2023. Disponível em: <https://ifsuldeminas.edu.br>. Acesso em: 29 jun. 2026.

CHAE, Yooeun; AN, Youn-Joo. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: current research trends and perspectives. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 624-632, 2017. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.070. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.070>. Acesso em: 29 jun. 2026.

COLE, Matthew; LINDEQUE, Pennie; HALSBAND, Claudia; GALLOWAY, Tamara S. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, 2011. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>. Acesso em: 29 jun. 2026.

CÓZAR, Andrés; ECHEVARRÍA, Fidel; GONZÁLEZ-GORDILLO, J. Ignacio; IRIGOIEN, Xabier; ÚBEDA, Bárbara; HERNÁNDEZ-LEÓN, Santiago; PALMA, ÁLVARO T.; NAVARRO, S. RUIZ; GARCÍA-DE-LOMAS, Javier; RUIZ, Antonio; FERNÁNDEZ-DE-PUELLES, María Luz; DUARTE, Carlos M. Plastic debris in the open ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 111, n. 28, p. 10239-10244, 2014. DOI: 10.1073/pnas.1314705111. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1314705111>. Acesso em: 29 jun. 2026.

DENG, Yuhong; ZHANG, Yan; LEMS, Brian; RONG, Jing; KANG, Hui; WANG, Jiana; TANG, Song; GONG, Jianping. Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. **Scientific Reports**, London, v. 7, art. 46687, p. 1-10, 2017. DOI: 10.1038/srep46687. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep46687>. Acesso em: 29 jun. 2026.

DERRAIK, José G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00220-5. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5). Acesso em: 29 jun. 2026.

DUIS, Karen; COORS, Anja. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 1, art. 2, p. 1-25, 2016. DOI: 10.1186/s12302-015-0069-y. Disponível em: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-015-0069-y>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ERIKSEN, Marcus; LEBRETON, Laurent C. M.; CARSON, Henry S.; THIEL, Martin; MOORE, Charles J.; BORRERO, Josué C.; GALGANI, François; RYAN, Peter G.; REISSER, Julia. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 12, e111913, p. 1-15, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0111913. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111913>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ESPINOSA, Carlos; CUESTA, Alberto; ESTEBAN, Maria Ángeles. Effects of dietary polyvinylchloride microparticles on general health, immune status and expression of several genes related to stress in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Fish & Shellfish Immunology**, London, v. 83, p. 251-264, 2019. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.09.017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.017>. Acesso em: 29 jun. 2026.

FERRAZ, Ana Isabel; RODRIGUES, Ana Cristina. **Biotecnologia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Porto: Publindústria, 2011. 388 p.

GALLOWAY, Tamara S.; LEWIS, Ceri N. Marine microplastics spell big problems for future generations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 113, n. 9, p. 2331-2333, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1600715113. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1600715113>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GESAMP (JOINT GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION). **Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment**. London:

IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP, 2015. 96 p. (GESAMP Reports and Studies, n. 90). Disponível em: <https://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>. Acesso em: 29 jun. 2026.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, Washington, v. 3, n. 7, e1700782, p. 1-5, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1700782. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>. Acesso em: 29 jun. 2026.

HIGGINS, Julian P. T.; THOMAS, James; CHANDLER, Jacqueline; CUMPSTON, Miranda; LI, Tianjing; PAGE, Matthew J.; WELCH, Vivian A. (ed.). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2022. 726 p.

JAMBECK, Jenna R.; GEYER, Roland; WILCOX, Chris; SIEGLER, Theodore R.; PERRYMAN, Miriam; ANDRADY, Anthony L.; NARAYAN, Ramani; LAW, Kara Lavender. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, Washington, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015. DOI: 10.1126/science.1260352. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1260352>. Acesso em: 29 jun. 2026.

JEONG, Chang-Bum; KANG, Hui-Su; LEE, Jae-Seong; PARK, June-Woo; SUNG, Bum-Suk. Microplastic size-dependent toxicity, oxidative stress induction and p-JNK and p-p38 activation in the monogonont rotifer (*Brachionus koreanus*). **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 51, n. 15, p. 8849-8857, 2017. DOI: 10.1021/acs.est.7b01441. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b01441>. Acesso em: 29 jun. 2026.

JIN, Yixuan; LU, Le; TU, Weiying; LUO, Tiejun; PAN, Xiaowei; FU, Zhengwei. Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish. **Environmental Pollution**, London, v. 235, p. 322-329, 2018. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.12.088. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.088>. Acesso em: 29 jun. 2026.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Keele: Keele University / University of Durham, 2007. 57 p. (Technical Report EBSE 2007-001). Disponível em: <https://www.eese.kyushu-u.ac.jp/top/EBSE-2007-01.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

KOLANDHASAMY, Prabhu; SU, Lei; LI, Jundong; QU, Xiaodong; JABEEN, Khalida; SHI, Huahong. Adherence of microplastics to soft tissue of mussels: a novel way for microplastics to enter the food chain. **Environmental Pollution**, London, v. 236, p. 609-614, 2018. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.01.108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.108>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LIMA, Raquel De Brida; PERFATTI, Yasmim Cidade. Os efeitos dos microplásticos. **Revista Científica FESA**, Santo André, v. 3, n. 15, p. 17-28, mar. 2024. DOI: 10.56238/fesa2024v3n15-002. Disponível em: <https://fesa.emnuvens.com.br/fesa/article/view/17-28>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LU, Yalin; ZHANG, Yan; DENG, Yuhong; WEI, Wang; LIN, Jian; CUI, Xiaomei. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish and toxic effects in liver. **NanoImpact**, Amsterdam, v. 5, p. 136-141, 2016. DOI: 10.1016/j.impact.2016.12.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2016.12.005>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MATHIEU-DENONCOURT, Justine; WALLACE, Sarah J.; DE SILVA, Amila O.; LANGUÉRAND, Cynthia; DE SOUSA, Thomas; MARTY, Jérôme. Plasticizer endocrine disruption: Highlighting developmental and reproductive effects in mammals and non-mammalian aquatic species. **General and Comparative Endocrinology**, v. 219, p. 74-88, 2015. DOI: 10.1016/j.ygcen.2015.01.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.01.006>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MLADENOV, Philip V. **Biologia marinha**: uma introdução muito curta. Oxford: Oxford University Press, 2020. 168 p.

MONTAGNER, Cassiana C.; VIDAL, Carla I. C.; ACAYABA, Gisela A. L. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021. DOI: 10.21577/0100-4042.20170783. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/f8LpP5P5HqCkz8zRt6ySdfB/>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MOURA, Delminda; GOMES, Ana; CRAVO, Alexandra; MARQUES, Maria João (ed.). **Micro e Nanoplásticos**: um macroproblema. Faro: CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental, 2023. 120 p.

PAGE, Matthew J.; MCKENZIE, Joanne E.; BOSSUT, Patrick M.; BOUTRON, Isabelle; HÖFFMANN, Tamara C.; MULROW, Cynthia D.; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M.; AKL, Elie A.; BRENNAN, Sue E.; CHOU, Roger; GLANVILLE, Julie; GRIMSHAW, Jeremy M.; HRÓBJARTSSON, Asbjørn; LALU, Manoj M.; LI, Tianjing; LEROD-MIMS, Elizabeth W.; MOHER, David. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, London, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 29 jun. 2026.

PEREIRA, F. C.; SILVA, M. R.; SANTOS, A. L. Gestão de resíduos sólidos no ambiente marinho: pellets plásticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2011, Santos. **Anais [...]**. Santos: Instituto Oceanográfico da USP, 2011. p. 1-4.

ROCHA, Eduardo; ROCHA, Maria João; SILVA, B. M.; ALMEIDA, R. Histopathological biomarkers in fish gills and liver as tools for environmental health assessment.

Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 230, e113125, p. 1-13, 2022. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113125. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113125>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ROCHMAN, Chelsea M.; HOH, Eunha; KUROBE, Tomofumi; TEH, Swee J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. **Scientific Reports**, London, v. 3, art. 3263, p. 1-7, 2013. DOI: 10.1038/srep03263. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep03263>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ROMERA-CASTILLO, Cristina; PINTO, Maria; ALVAREZ-SALGADO, Xosé Antón; HERNDL, Gerhard J. Dissolved organic carbon leaching from plastics stimulates microbial activity in the ocean. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, art. 1430, p. 1-7, 2018. DOI: 10.1038/s41467-018-03792-5. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-03792-5>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SCHAURICH, Miriane do Nascimento. Ensino investigativo para os anos finais do fundamental sobre as consequências dos microplásticos nos oceanos. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 2, p. 1-21, 2024. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID1163/v19_n2_a2024.pdf. Acesso em: 29 jun. 2026.

SMITH, Martin; LOVE, David C.; ROCHMAN, Chelsea M.; NEFF, Roni A. Microplastics in seafood and the implications for human health. **Current Environmental Health Reports**, New York, v. 5, n. 3, p. 375-386, 2018. DOI: 10.1007/s40572-018-0206-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-018-0206-z>. Acesso em: 29 jun. 2026.

SNYDER, Hannah. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 104, p. 333-339, 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>. Acesso em: 29 jun. 2026.

THOMPSON, Richard C.; OLSEN, Ylva; MITCHELL, Richard P.; DAVIS, Anthony; ROWLAND, Steven J.; JOHN, Anthony W. G.; MCGONIGLE, Daniel; RUSSELL, Andrea E. Lost at sea: where is all the plastic? **Science**, Washington, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004. DOI: 10.1126/science.1094559. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>. Acesso em: 29 jun. 2026.

UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). **From pollution to solution**: a global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2021. 152 p. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>. Acesso em: 29 jun. 2026.

VON MOOS, Nadia; BURKHARDT-HOLM, Patricia; KÖHLER, Angela. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 46, n. 20, p. 11327-11335, 2012. DOI: 10.1021/es302332w. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es302332w>. Acesso em: 29 jun. 2026.

WARDROP, Pamela; SIMPSON, Sonia L.; BLAIR, David; SIBLEY, Patricia; STENHOUSE, Amanda; HOOK, Sharon E. Chemical pollutants sorbed to ingested microbeads from personal care products accumulate in fish. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 50, n. 7, p. 4037-4044, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.5b06280. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b06280>. Acesso em: 29 jun. 2026.

WORM, Boris; LOTZE, Heike K.; JUBINVILLE, Isabelle; BRADBURY, Catherine; SIMARD, Jennifer. Plastic as a persistent marine pollutant. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 42, p. 1-26, 2017. DOI: 10.1146/annurev-environ-102016-060700. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102016-060700>. Acesso em: 29 jun. 2026.

WRIGHT, Stephanie L.; KELLY, Frank J. Plastic and human health: a micro issue? **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 51, n. 12, p. 6634-6647, 2017. DOI: 10.1021/acs.est.7b00423. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b00423>. Acesso em: 29 jun. 2026.

WRIGHT, Stephanie L.; THOMPSON, Richard C.; GALLOWAY, Tamara S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. **Environmental Pollution**, London, v. 178, p. 483-492, 2013. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.031. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>. Acesso em: 29 jun. 2026.

ZEGHAL, E.; MEAR, N.; DE SOUZA, M. P.; ALARCON, J.; BOULOUS, M. The potential role of marine fungi in plastic degradation: a review. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, e734405, p. 1-18, 2021. DOI: 10.3389/fmars.2021.734405. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.738877/full>. Acesso em: 29 jun. 2026.