**CAPÍTULO DO LIVRO – CONEXÕES CIENTÍFICAS - AMBIENTE, SAÚDE, EDUCAÇÃO E INOVAÇÃO - PUBLICADO POR: EDITORA MANUAL**
**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

# CAPÍTULO 1

## MICROPLÁSTICOS COMO VETORES DE CONTAMINANTES AMBIENTAIS: OCORRÊNCIA, TRANSPORTE E IMPACTOS NOS ECOSSISTEMAS

DOI DO CAPÍTULO: 10.29327/5963731.1-1

Juciele da Silva Monteiro, e-mail: jucielle.santus@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/9402141032729211
Jozadake Petry Fausto, e-mail: jozadakepetryfausto@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/3339996527225371
Giselle Silva de Souza, e-mail: giselle.silva908@gmail.com URL lattes: http://lattes.cnpq.br/7391062473926377
Mariana Cabral do Nascimento Santos, e-mail: marianacabralsantos2@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/7558622538353505
João Pedro Silva Oliveira, e-mail: jpoliveira875@gmail.com, URL lattes: https://lattes.cnpq.br/1145217569751642
Maria Thalia Paulino de Farias, e-mail: maria.thalia@arapiraca.ufal.br, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/4370186459099148
Albani Correia de Vasconcelos, e-mail: mailto:albanivasconcelos@hotmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/9413008499837926
Josilene Pereira Silva, e-mail: pereirasilvajosilene41@gmail.com, URL lattes: http://lattes.cnpq.br/5717569162096842

## RESUMO

Os microplásticos constituem contaminantes amplamente distribuídos nos ecossistemas e, além dos efeitos relacionados à presença das próprias partículas, podem interagir com diferentes substâncias químicas, despertando preocupação quanto à sua atuação como potenciais vetores de contaminantes ambientais. Este estudo teve como objetivo analisar as evidências científicas sobre a ocorrência e distribuição dos microplásticos, suas interações com contaminantes e seu papel no transporte, biodisponibilidade e efeitos ecotoxicológicos dessas substâncias. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, orientada pelas recomendações do PRISMA 2020. As buscas foram realizadas nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO, Springer Nature e Portal de Periódicos CAPES, considerando publicações entre 2021 e 2026. Dos 150 registros inicialmente identificados, 24 estudos atenderam aos critérios de elegibilidade e integraram a síntese qualitativa. Os resultados demonstraram ampla ocorrência de microplásticos em ambientes aquáticos e terrestres e evidenciaram sua capacidade de interagir com metais potencialmente tóxicos, compostos orgânicos, fármacos e outros contaminantes emergentes. Os processos de adsorção e dessorção mostraram-se dependentes das características do polímero e do contaminante, bem como de fatores como tamanho das partículas, envelhecimento, pH, salinidade e matéria orgânica. Embora as evidências confirmem a capacidade dos microplásticos de transportar substâncias adsorvidas, a relevância do efeito vetor depende das condições ambientais, da biodisponibilidade e da possibilidade de liberação dos contaminantes. Persistem lacunas relacionadas à padronização metodológica, representatividade dos experimentos laboratoriais, exposições crônicas, misturas de contaminantes, partículas envelhecidas e nanoplásticos. Conclui-se que a avaliação dos riscos associados aos microplásticos requer uma abordagem integrada entre química ambiental, transporte de contaminantes e ecotoxicologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** microplásticos; contaminantes ambientais; adsorção; transporte ambiental; ecotoxicologia.

## 1. INTRODUÇÃO

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

A produção e o consumo crescente de materiais plásticos, associados à elevada persistência desses materiais e às limitações relacionadas ao seu gerenciamento após o uso, têm contribuído para a disseminação de resíduos plásticos nos diferentes compartimentos ambientais. Ao longo do tempo, processos físicos, químicos e biológicos promovem a fragmentação desses materiais, originando partículas de menores dimensões capazes de permanecer e se deslocar no ambiente. Entre elas, os microplásticos têm recebido atenção crescente devido à sua ampla ocorrência e às possíveis implicações para a qualidade ambiental e o funcionamento dos ecossistemas (Andrady, 2011; Rafa *et al.*, 2024).

Os microplásticos podem ter origem primária, quando são produzidos originalmente em pequenas dimensões, ou secundária, quando resultam da fragmentação de materiais plásticos maiores. Sua presença tem sido registrada em ambientes aquáticos e terrestres, incluindo águas continentais e marinhas, solos e sedimentos, demonstrando que sua dispersão ultrapassa os locais onde ocorre a emissão inicial. Nos solos, particularmente em áreas agrícolas, diferentes fontes podem contribuir para sua introdução e permanência, enquanto nos sistemas aquáticos o escoamento superficial, os efluentes e o transporte fluvial favorecem sua redistribuição entre diferentes compartimentos ambientais (Tumwesigye *et al.*, 2023; En-Nejmy *et al.*, 2024; Hoang *et al.*, 2024).

Além da contaminação decorrente da própria presença das partículas, uma questão que tem ampliado a preocupação científica é a capacidade dos microplásticos de interagir com outras substâncias presentes no ambiente. Suas superfícies podem estabelecer interações com metais potencialmente tóxicos, pesticidas, hidrocarbonetos, poluentes orgânicos persistentes, fármacos, antibióticos e outros contaminantes emergentes. Dessa maneira, os microplásticos podem atuar como superfícies de sorção, modificando potencialmente o comportamento, a mobilidade e o destino ambiental de determinados compostos (Prajapati; Vaidya; Kumar, 2022; Xia; Niu; Yu, 2023; Xiong *et al.*, 2024).

A capacidade de sorção, entretanto, não é uniforme e depende de uma combinação de fatores. Características como composição do polímero, tamanho da partícula, área superficial e grau de envelhecimento podem interferir na afinidade pelos contaminantes. Da mesma forma, condições ambientais como pH, salinidade, força iônica e presença de matéria orgânica influenciam os processos de adsorção e dessorção. Particularmente, o envelhecimento pode provocar alterações físico-químicas na superfície das partículas e modificar sua interação com diferentes substâncias, tornando necessário considerar as características reais dos microplásticos encontrados no ambiente (Bhagat *et al.*, 2022; Gao *et al.*, 2024; Muthuraja *et al.*, 2024).

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

Nesse contexto, surgiu a discussão sobre a atuação dos microplásticos como vetores de contaminantes ambientais. A associação de substâncias químicas às partículas pode favorecer seu transporte entre compartimentos e possibilitar sua posterior liberação em condições ambientais distintas. Contudo, a simples constatação de um contaminante adsorvido ao microplástico não é suficiente para demonstrar que a partícula representa uma via adicional e ecologicamente relevante de exposição. Para isso, devem ser considerados aspectos como estabilidade da interação, capacidade de dessorção, biodisponibilidade e contribuição dessa via em comparação com outras formas de transporte presentes no ambiente (Tumwesigye *et al.*, 2023; Xia; Niu; Yu, 2023).

Essa questão adquire maior relevância quando considerada a possibilidade de ingestão das partículas por organismos e de exposição simultânea aos microplásticos e aos contaminantes associados. Alterações nas condições físico-químicas durante a passagem das partículas entre compartimentos ambientais ou após sua ingestão podem modificar o equilíbrio de sorção e influenciar a disponibilidade das substâncias transportadas. Consequentemente, investigações sobre biodisponibilidade, transferência trófica e efeitos ecotoxicológicos são necessárias para compreender se a interação entre microplásticos e contaminantes efetivamente modifica os riscos aos organismos e aos ecossistemas (Rafa *et al.*, 2024; Xiong *et al.*, 2024).

Apesar dos avanços recentes, permanecem desafios relacionados à diversidade metodológica dos estudos, à utilização frequente de partículas virgens e concentrações experimentais pouco representativas das condições naturais e à dificuldade de investigar misturas complexas de contaminantes. Soma-se a isso a crescente preocupação com partículas envelhecidas e nanoplásticos, que apresentam características distintas e maiores dificuldades de identificação e quantificação em matrizes ambientais complexas (Silva; Barceló; Rocha-Santos, 2024; Gao *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, esta revisão teve como objetivo analisar as evidências científicas sobre a ocorrência e distribuição dos microplásticos nos ecossistemas, suas interações com contaminantes ambientais e seu papel no transporte, biodisponibilidade e efeitos ecotoxicológicos dessas substâncias. Buscou-se ainda compreender os fatores que condicionam essas interações e identificar as principais lacunas e perspectivas para o avanço das pesquisas sobre o papel dos microplásticos como potenciais vetores de contaminantes ambientais.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Tipo de estudo e protocolo da revisão

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, com o objetivo de analisar as evidências científicas sobre a ocorrência e distribuição de microplásticos nos diferentes compartimentos ambientais, suas interações com contaminantes químicos, os processos envolvidos no transporte e destino ambiental dessas partículas e substâncias associadas, bem como suas implicações para a biodisponibilidade, transferência trófica e efeitos ecotoxicológicos nos ecossistemas. A condução e o relato da revisão foram orientados pelas recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020), visando assegurar maior transparência e sistematização nas etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos (Page *et al.*, 2021).

A questão norteadora estabelecida para a revisão foi: Quais são as principais evidências científicas sobre a ocorrência e distribuição dos microplásticos nos ecossistemas, suas interações com contaminantes ambientais e seu papel no transporte, biodisponibilidade e efeitos ecotoxicológicos dessas substâncias? De forma complementar, buscou-se identificar os principais fatores físico-químicos e ambientais que condicionam essas interações, bem como as limitações metodológicas e as lacunas ainda existentes na compreensão do papel dos microplásticos como vetores de contaminantes.

## 2.2 Estratégia de busca

A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO, Springer Nature e Portal de Periódicos CAPES, considerando artigos publicados entre 2021 e 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol. A estratégia de busca foi estruturada a partir de descritores relacionados aos microplásticos, contaminantes associados, transporte ambiental e efeitos ecotoxicológicos. Entre os termos empregados estiveram: *"microplastics", "microplastic pollution", "environmental contaminants", "emerging contaminants", "heavy metals", "potentially toxic elements", "pesticides", "pharmaceuticals", "antibiotics", "persistent organic pollutants", "adsorption", "desorption", "sorption", "environmental fate", "transport", "bioavailability", "bioaccumulation", "trophic transfer", "ecotoxicity", "aquatic ecosystems", "terrestrial ecosystems", "soil", "water"* e *"sediment"*.

Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, com adaptações de acordo com os mecanismos de busca de cada base. Como estratégia geral, foram utilizadas combinações entre o termo central *"microplastics"* e os diferentes grupos temáticos, como: *"microplastics AND environmental contaminants"*, *"microplastics AND adsorption AND heavy metals"*, *"microplastics AND pharmaceuticals"*, *"microplastics AND environmental fate"*, *"microplastics AND trophic transfer"* e *"microplastics AND ecotoxicity"*. Ao final das buscas nas bases selecionadas, foram identificados 150 registros potencialmente relevantes para a revisão.

## 2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos artigos científicos publicados entre 2021 e 2026, nos idiomas português, inglês ou espanhol, que apresentassem relação direta com os microplásticos em ambientes naturais ou sistemas ambientalmente relevantes. Foram considerados elegíveis

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

estudos que abordassem pelo menos um dos seguintes aspectos: ocorrência, fontes e distribuição de microplásticos; interação com contaminantes ambientais; mecanismos de adsorção e dessorção; transporte e destino ambiental; influência das propriedades dos polímeros e das condições ambientais sobre a sorção de contaminantes; biodisponibilidade; transferência trófica; bioacumulação; e efeitos ecotoxicológicos sobre organismos e ecossistemas aquáticos ou terrestres.

Também foram considerados estudos envolvendo diferentes classes de contaminantes associados aos microplásticos, incluindo metais potencialmente tóxicos, pesticidas, hidrocarbonetos, poluentes orgânicos persistentes, fármacos, antibióticos e outros contaminantes emergentes.Foram excluídos registros duplicados, publicações fora do período estabelecido, estudos sem relação direta com microplásticos ou com sua interação com contaminantes ambientais, trabalhos exclusivamente clínicos ou relacionados à saúde humana sem abordagem ambiental ou ecotoxicológica, além de editoriais, cartas, resumos de eventos e publicações que não apresentassem informações suficientes para responder à questão norteadora. Trabalhos anteriores ao período estabelecido foram utilizados, quando necessário, exclusivamente para fundamentação conceitual e contextualização histórica da temática, não integrando o conjunto de estudos submetidos à síntese sistemática.

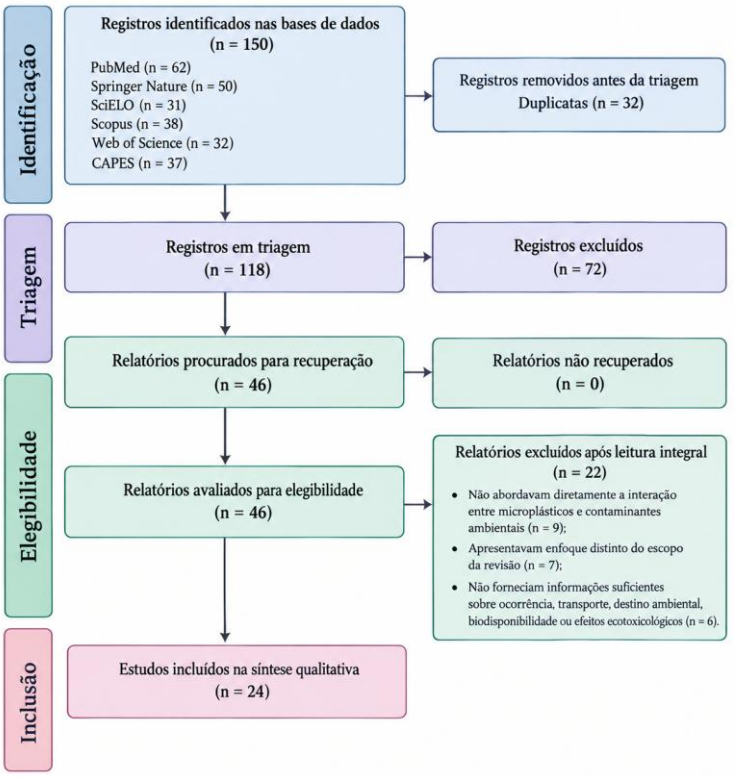
## 2.4 Seleção dos estudos

A seleção dos estudos foi realizada em etapas sucessivas, seguindo o fluxo recomendado pelo PRISMA 2020: identificação, triagem, avaliação de elegibilidade e inclusão (Page *et al.*, 2021). Inicialmente, foram identificados 150 registros nas bases de dados selecionadas. Após a remoção de 32 registros duplicados, permaneceram 118 estudos para a etapa de triagem por título e resumo.

Durante a triagem, 72 estudos foram excluídos por não apresentarem relação direta com o objetivo da revisão ou por não atenderem aos critérios de inclusão previamente estabelecidos. Dessa forma, 46 artigos foram selecionados para avaliação em texto completo. Após a leitura integral, 22 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade, principalmente por não abordarem diretamente a interação entre microplásticos e contaminantes ambientais, apresentarem enfoque distinto do escopo da revisão ou não fornecerem informações suficientes sobre ocorrência, transporte, destino ambiental, biodisponibilidade ou efeitos ecotoxicológicos. Ao final do processo de seleção, 24 estudos atenderam aos critérios estabelecidos e foram incluídos na síntese qualitativa.

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

**Figura 1 -** Fluxograma do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos, conforme as recomendações do PRISMA 2020.




Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

## 2.5 Extração e análise dos dados

Os dados dos estudos incluídos foram extraídos e organizados de forma sistemática, considerando as seguintes informações: autoria e ano de publicação; ambiente ou matriz investigada; fonte e características dos microplásticos; tipo de polímero; tamanho e formato das partículas; classe de contaminante associada; mecanismos de adsorção e dessorção; influência do envelhecimento das partículas e das condições ambientais; processos de transporte e destino ambiental; biodisponibilidade; transferência trófica; bioacumulação; organismos avaliados; efeitos ecotoxicológicos; principais resultados e limitações apontadas pelos estudos.

Também foram consideradas variáveis ambientais capazes de interferir na interação entre microplásticos e contaminantes, incluindo pH, salinidade, matéria orgânica e características físico-químicas da matriz, além das propriedades superficiais e do grau de envelhecimento dos polímeros.

A síntese dos resultados foi realizada de forma qualitativa e temática, mediante comparação e integração das evidências encontradas. Os estudos foram organizados em cinco eixos de análise, correspondentes às categorias centrais desta revisão: (1) ocorrência, fontes e

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

distribuição de microplásticos nos ecossistemas; (2) interação dos microplásticos com contaminantes ambientais; (3) transporte, destino ambiental e papel dos microplásticos como vetores; (4) biodisponibilidade, transferência trófica e impactos ecotoxicológicos; e (5) desafios, lacunas do conhecimento e perspectivas futuras.

Essa organização permitiu analisar não apenas a capacidade dos microplásticos de adsorver diferentes contaminantes, mas também avaliar criticamente em quais condições essa associação pode favorecer seu transporte e modificar sua biodisponibilidade e seus efeitos ambientais, evitando assumir o papel dos microplásticos como vetores independentemente das condições experimentais ou ambientais.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ocorrência, fontes e distribuição de microplásticos nos ecossistemas

A presença de microplásticos têm sido documentada em diferentes compartimentos ambientais, demonstrando que a contaminação por essas partículas não se restringe aos ambientes marinhos, onde inicialmente recebeu maior atenção científica. Atualmente, sua ocorrência é reconhecida em águas continentais, solos, sedimentos e sistemas agrícolas, evidenciando a ampla dispersão desses materiais e a existência de múltiplas rotas de entrada no ambiente. Essa distribuição está diretamente relacionada à produção, ao consumo e ao descarte de materiais plásticos, bem como à fragmentação progressiva de resíduos de maiores dimensões após sua exposição às condições ambientais (Andrady, 2011; En-Nejmy *et al.*, 2024; Hoang *et al*., 2024).

Quanto à origem, os microplásticos podem ser classificados em primários e secundários. Os primários são produzidos originalmente em dimensões microscópicas para determinadas aplicações, enquanto os secundários resultam da degradação e fragmentação de materiais plásticos maiores. Radiação ultravioleta, variações de temperatura, abrasão mecânica e processos químicos e biológicos contribuem para essa fragmentação, favorecendo a formação de partículas com diferentes tamanhos, formas e características superficiais. Dessa maneira, o comportamento ambiental dos microplásticos não depende somente da quantidade presente no meio, mas também de propriedades como composição polimérica, densidade, tamanho, formato e grau de envelhecimento (Andrady, 2011; Gao *et al.*, 2024).

Nos ambientes terrestres, diferentes atividades constituem fontes potenciais de microplásticos. Em áreas agrícolas, destacam-se o uso de filmes plásticos, sistemas de irrigação, aplicação de lodos e compostos orgânicos contaminados, além da deposição de partículas transportadas de outras áreas. Uma vez incorporados ao solo, os microplásticos podem permanecer por períodos prolongados e sofrer alterações físicas e químicas capazes de

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

interferir em sua mobilidade e interação com os componentes do ambiente. As evidências disponíveis demonstram, portanto, que os solos não constituem apenas locais de deposição, mas compartimentos relevantes na dinâmica ambiental dessas partículas (Shi *et al.,* 2024; Hoang *et al.*, 2024; Zeb *et al.*, 2024).

Em sistemas aquáticos, as partículas podem chegar por meio do lançamento de efluentes, drenagem urbana, escoamento superficial e transporte fluvial, entre outras vias. Os rios assumem particular importância nessa dinâmica por receberem materiais provenientes de diferentes fontes e promoverem sua redistribuição ao longo da bacia hidrográfica. A ocorrência em ecossistemas de água doce amplia a preocupação ambiental, uma vez que esses sistemas estabelecem conexões entre ambientes terrestres, estuarinos e marinhos e podem favorecer a transferência de partículas e substâncias associadas entre diferentes compartimentos (Tumwesigye *et al*., 2023; Rafa *et al.*, 2024).

A diversidade de polímeros encontrada no ambiente acrescenta complexidade a esse cenário. Polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(tereftalato de etileno) (PET), entre outros materiais, apresentam propriedades distintas e, consequentemente, comportamentos diferentes quanto à flutuação, sedimentação, transporte e interação com substâncias químicas. Além disso, materiais considerados biodegradáveis também podem originar partículas durante seu processo de degradação, indicando que a substituição dos plásticos convencionais não elimina necessariamente a problemática dos microplásticos (Ainali *et al.*, 2022; Chen *et al*., 2024).

Assim, a distribuição ambiental dos microplásticos deve ser compreendida como resultado da interação entre fontes de emissão, propriedades das partículas e características do compartimento ambiental. Essa perspectiva é particularmente relevante porque a ampla dispersão dessas partículas aumenta a possibilidade de contato com outros contaminantes, estabelecendo as condições necessárias para que os microplásticos atuem como superfícies de sorção e, potencialmente, como vetores de substâncias químicas.

### 3.2 Interação dos microplásticos com contaminantes ambientais

Além dos efeitos associados à presença física das partículas, uma das questões mais relevantes envolvendo microplásticos é sua capacidade de interagir com substâncias químicas presentes no ambiente. A superfície desses materiais pode adsorver diferentes classes de contaminantes, incluindo metais potencialmente tóxicos, compostos orgânicos hidrofóbicos, hidrocarbonetos, poluentes orgânicos persistentes, pesticidas, fármacos e outros contaminantes emergentes. Por essa razão, os microplásticos passaram a ser investigados não apenas como

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

contaminantes isolados, mas como componentes capazes de modificar o comportamento ambiental de outras substâncias (Prajapati; Vaidya; Kumar, 2022; Xia; Niu; Yu, 2023; Biswas *et al.,* 2024).

A intensidade dessas interações é condicionada pelas características tanto do contaminante quanto da partícula. Tipo de polímero, tamanho, porosidade, área superficial, carga da superfície e grau de envelhecimento podem modificar a capacidade de sorção. Paralelamente, propriedades do meio, como pH, força iônica, salinidade e presença de matéria orgânica, interferem no equilíbrio entre contaminantes dissolvidos e aqueles associados às partículas. Portanto, não existe uma capacidade de adsorção uniforme que possa ser atribuída a todos os microplásticos, sendo necessário considerar conjuntamente polímero, contaminante e matriz ambiental (Xia; Niu; Yu, 2023; Xiong *et al.*, 2024).

Essa dependência torna-se evidente nos estudos envolvendo metais. Evidências experimentais mostram que microplásticos podem acumular metais em sua superfície, mas a magnitude dessa interação varia consideravelmente de acordo com o material e as condições ambientais. Chen *et al.* (2024), ao investigarem microplásticos derivados de produtos plásticos convencionais e biodegradáveis, demonstraram a relevância das características do material para a adsorção de metais. De forma complementar, Muthuraja *et al.* (2024) mostraram que tamanho da partícula e envelhecimento interferem nesse processo em microplásticos de polipropileno e poliestireno. Esses resultados atualizam evidências anteriores sobre o potencial dos microplásticos para transportar metais em ambientes marinhos e outros sistemas ambientais (Brennecke *et al.*, 2016; Godoy *et al.*, 2019).

O envelhecimento merece atenção especial porque as partículas encontradas no ambiente raramente apresentam as mesmas características dos materiais recém-produzidos. Durante sua permanência no meio, processos fotoquímicos, mecânicos e oxidativos alteram a superfície do polímero, podendo aumentar sua rugosidade, modificar grupos funcionais e alterar sua afinidade por determinadas substâncias. A revisão realizada por Gao *et al.* (2024) demonstra que essas transformações físico-químicas possuem implicações diretas sobre os mecanismos de adsorção. Em condições ambientais de maricultura, Du *et al.* (2024) também observaram a associação de metais com microplásticos envelhecidos, reforçando a necessidade de considerar partículas ambientalmente modificadas na avaliação de risco.

Comportamento semelhante tem sido observado para contaminantes orgânicos. Bhagat *et al.* (2022) verificaram aumento da afinidade de adsorção por contaminantes orgânicos após o envelhecimento dos microplásticos, indicando que o tempo de permanência da partícula no ambiente pode modificar sua função como superfície de sorção. Essa constatação é importante

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

porque grande parte das partículas presentes em ambientes naturais já passou por algum grau de transformação antes de entrar em contato com organismos.

Os fármacos representam outro grupo relevante de contaminantes emergentes. McDougall *et al*. (2022) demonstraram a adsorção de diferentes compostos farmacêuticos em microplásticos de polietileno em águas residuárias e avaliaram posteriormente sua dessorção em diferentes matrizes. Kalaronis *et al.* (2024), por sua vez, investigaram a adsorção de diversos fármacos em PET virgem e envelhecido, enquanto Moura *et al.* (2024) demonstraram que o envelhecimento pode favorecer a adsorção de fármacos em condições de água doce. Em conjunto, esses resultados mostram que a interação microplástico–fármaco é dinâmica e depende tanto das propriedades do composto quanto das transformações sofridas pelo polímero (Silva; Barceló; Rocha-Santos, 2024).

A dessorção é igualmente importante para compreender o risco ambiental. Uma partícula capaz de acumular um contaminante não necessariamente o manterá permanentemente retido. Mudanças nas condições químicas do meio ou a transferência da partícula para outro compartimento podem alterar o equilíbrio e favorecer a liberação da substância anteriormente adsorvida. Consequentemente, a relevância ambiental dos microplásticos como carreadores depende não apenas de sua capacidade de acumular contaminantes, mas também da possibilidade de transportá-los e posteriormente disponibilizá-los em outro ambiente ou para organismos expostos (McDougall *et al.*, 2022; Xia; Niu; Yu, 2023; Xiong *et al.*, 2024).

### 3.3 Transporte, destino ambiental e papel dos microplásticos como vetores

A mobilidade dos microplásticos entre diferentes compartimentos ambientais constitui um dos elementos centrais da hipótese de que essas partículas possam funcionar como vetores de contaminantes. Após sua liberação, elas podem ser transportadas pelo escoamento superficial, cursos d'água e outros processos ambientais, além de sofrer deposição, sedimentação e ressuspensão. Em solos agrícolas, sua dinâmica está relacionada às propriedades das partículas e às características do próprio solo, enquanto nos ambientes aquáticos fatores hidrodinâmicos e características dos polímeros influenciam sua permanência na coluna d'água ou deposição nos sedimentos (Hoang *et al.*, 2024; Rafa *et al*., 2024).

Nesse processo, os microplásticos não permanecem quimicamente inalterados. Fragmentação, oxidação, abrasão e outros mecanismos de envelhecimento modificam progressivamente as partículas durante o transporte. Essas transformações podem afetar simultaneamente sua mobilidade e sua capacidade de interação com substâncias presentes no

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

meio. Dessa forma, envelhecimento e transporte constituem processos interdependentes: enquanto o deslocamento expõe os microplásticos a diferentes condições ambientais, as modificações superficiais decorrentes dessa exposição podem alterar sua interação posterior com contaminantes (Bhagat *et al.,* 2022; Gao *et al.,* 2024).

A possibilidade de transportar substâncias adsorvidas levou ao desenvolvimento do conceito de microplásticos como vetores ambientais. Estudos iniciais envolvendo metais em ambientes marinhos demonstraram que partículas plásticas poderiam acumular elementos presentes no meio e atuar como superfícies móveis de transporte (Brennecke *et al*., 2016; Godoy *et al.*, 2019). Evidências posteriores ampliaram essa discussão para diversas classes de substâncias, incluindo contaminantes orgânicos e fármacos (Prajapati; Vaidya; Kumar, 2022; Xia; Niu; Yu, 2023; Silva; Barceló; Rocha-Santos, 2024).

No entanto, interpretar a presença de um contaminante adsorvido como prova de um efeito vetor ecologicamente relevante exige cautela. Para que o microplástico altere efetivamente a exposição ambiental, é necessário considerar a quantidade de contaminante transportada, a estabilidade da associação durante o deslocamento e sua eventual dessorção no compartimento receptor ou após contato com organismos. Além disso, contaminantes podem estar simultaneamente disponíveis na água, no solo, nos sedimentos, na matéria orgânica e em outras partículas naturais. Assim, a contribuição relativa dos microplásticos precisa ser comparada às demais vias de transporte existentes no ambiente (Tumwesigye *et al.*, 2023; Xia; Niu; Yu, 2023; Xiong *et al*., 2024).

Essa abordagem ajuda a evitar uma interpretação excessivamente generalizada do termo “vetor”. Os resultados disponíveis demonstram claramente que microplásticos podem adsorver e transportar diferentes substâncias, mas a importância desse mecanismo depende do contexto ambiental. Tipo e concentração do contaminante, composição e tamanho da partícula, tempo de exposição, envelhecimento, salinidade, pH e matéria orgânica podem alterar substancialmente o processo (Xia; Niu; Yu, 2023; Rafa *et al.,* 2024).

Consequentemente, o efeito vetor deve ser entendido como um fenômeno condicional e dinâmico, e não como uma propriedade universal de qualquer partícula plástica. Essa interpretação torna-se particularmente importante quando se passa da avaliação físico-química para a avaliação ecotoxicológica, pois a presença de contaminantes na superfície dos microplásticos somente terá implicações biológicas adicionais quando modificar sua biodisponibilidade ou a exposição dos organismos.

## 3.4 Biodisponibilidade, transferência trófica e impactos ecotoxicológicos

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

A ampla distribuição ambiental dos microplásticos aumenta a possibilidade de contato e ingestão dessas partículas por diferentes organismos. Entretanto, do ponto de vista ecotoxicológico, a preocupação não se limita à presença física do polímero. A associação com contaminantes químicos pode gerar exposições combinadas, nas quais os organismos entram em contato simultaneamente com a partícula e com substâncias adsorvidas em sua superfície (Rafa *et al.,* 2024; Xiong *et al*., 2024).

Nesse contexto, a biodisponibilidade constitui um aspecto fundamental. Um contaminante adsorvido ao microplástico não está necessariamente disponível para absorção biológica na mesma proporção em que está presente na partícula. Para que ocorra transferência efetiva, processos de dessorção e liberação precisam ser considerados, sobretudo diante das condições encontradas no organismo ou no compartimento ambiental receptor. Por isso, estudos de sorção isoladamente são importantes para compreender o mecanismo, mas não são suficientes para determinar a magnitude do risco ecotoxicológico (Tumwesigye *et al.,* 2023; Xiong *et al.*, 2024).

A ingestão de partículas contaminadas constitui uma das rotas potenciais para esse processo. Após a ingestão, diferenças físico-químicas entre o ambiente externo e o trato digestório podem alterar o equilíbrio de sorção e favorecer ou limitar a liberação de determinadas substâncias. Caso o contaminante seja liberado e absorvido, existe a possibilidade de efeitos adicionais aos produzidos pela própria partícula. Essa dinâmica sustenta a preocupação com a transferência de contaminantes associados aos microplásticos ao longo das relações tróficas, embora a intensidade e a relevância desse mecanismo ainda variem entre contaminantes, espécies e condições de exposição (Tumwesigye *et al.,* 2023; Rafa *et al.*, 2024).

Os potenciais efeitos não se restringem aos organismos aquáticos. A crescente identificação de microplásticos em solos ampliou a investigação para plantas, microrganismos e fauna edáfica, além dos efeitos sobre propriedades e processos do ecossistema terrestre. Revisões recentes indicam que a presença dessas partículas pode estar relacionada a alterações nas interações solo–planta–microrganismo e que o risco pode ser influenciado pelas características do polímero, concentração e tempo de exposição (Shi *et al.*, 2024; Zeb *et al.*, 2024; En-Nejmy *et al.,* 2024).

Em ambientes aquáticos, a exposição combinada ganha relevância devido à coexistência de microplásticos e diversos contaminantes na coluna d'água e nos sedimentos. O estudo de Du *et al.* (2024), realizado no contexto de áreas de maricultura intensiva, relaciona a adsorção de metais por microplásticos envelhecidos ao aumento potencial dos riscos ecológicos para organismos marinhos. Esse tipo de evidência reforça a importância de utilizar partículas

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

ambientalmente representativas, uma vez que microplásticos envelhecidos podem apresentar propriedades diferentes daquelas observadas em materiais virgens.

Os efeitos associados aos microplásticos e às exposições combinadas descritos na literatura incluem alterações fisiológicas e metabólicas e respostas relacionadas ao estresse oxidativo, além de possíveis repercussões sobre crescimento, reprodução e sobrevivência, dependendo do organismo e das condições experimentais. No entanto, a comparação direta entre estudos permanece difícil devido à diversidade de polímeros, tamanhos, formatos, concentrações e tempos de exposição empregados (Ainali *et al.,* 2022; Rafa *et al.*, 2024; Zeb *et al.,* 2024).

É igualmente necessário distinguir transferência trófica, bioacumulação e biomagnificação, uma vez que esses processos apresentam significados distintos. A detecção de partículas ou contaminantes em organismos pertencentes a diferentes níveis tróficos não demonstra, isoladamente, que ocorreu aumento progressivo de sua concentração ao longo da cadeia alimentar. Essa distinção conceitual é importante para evitar conclusões que extrapolem as evidências disponíveis. Portanto, embora existam evidências que sustentem a preocupação com a transferência de microplásticos e contaminantes associados entre organismos, ainda são necessários estudos que integrem condições de exposição ambientalmente realistas, biodisponibilidade e efeitos em diferentes níveis de organização biológica (Tumwesigye *et al.*, 2023; Rafa *et al.*, 2024).

### 3.5 Desafios, lacunas do conhecimento e perspectivas futuras

Apesar do rápido avanço das pesquisas sobre microplásticos, persistem limitações que dificultam a comparação dos resultados e a avaliação precisa de seus riscos ambientais. Uma das principais questões é a falta de padronização dos procedimentos utilizados para coleta, separação, identificação e quantificação das partículas. Diferenças nos limites de tamanho considerados, nas técnicas analíticas e nos procedimentos de preparo das amostras podem produzir resultados pouco comparáveis, especialmente quando se pretende avaliar tendências de ocorrência entre diferentes ambientes (En-Nejmy *et al.,* 2024; Silva; Barceló; Rocha-Santos, 2024).

Outro desafio está na representatividade dos experimentos laboratoriais. Muitos estudos utilizam partículas comerciais, com dimensões e formas uniformes, enquanto os microplásticos ambientais apresentam diferentes graus de fragmentação, oxidação, bioincrustação e envelhecimento. Essa diferença é particularmente relevante para os estudos de sorção, pois as transformações superficiais podem modificar significativamente a afinidade pelos

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

contaminantes. Os resultados de Bhagat *et al.* (2022), Moura *et al.* (2024), Kalaronis *et al.* (2024) e Muthuraja *et al*. (2024), juntamente com a síntese de Gao *et al.* (2024), reforçam que partículas envelhecidas podem apresentar comportamento distinto dos materiais virgens.

Também permanece necessário aproximar as concentrações e condições utilizadas experimentalmente daquelas encontradas nos ambientes naturais. Estudos realizados em concentrações elevadas são úteis para identificar mecanismos, mas seus resultados não podem ser automaticamente extrapolados para cenários de exposição ambiental. Avançar nessa área requer experimentos com concentrações ambientalmente relevantes, exposições prolongadas e matrizes complexas, nas quais matéria orgânica, sais, minerais, microrganismos e diferentes contaminantes interagem simultaneamente (Tumwesigye *et al.*, 2023; Xia; Niu; Yu, 2023).

As misturas de contaminantes constituem outra lacuna importante. No ambiente, microplásticos dificilmente entram em contato com apenas uma substância. Metais, pesticidas, hidrocarbonetos, fármacos e outros contaminantes emergentes podem coexistir e competir por sítios de sorção ou modificar reciprocamente sua disponibilidade. A revisão sistemática de Biswas *et al.* (2024) evidencia a diversidade de contaminantes emergentes capazes de interagir com microplásticos, enquanto Silva, Barceló e Rocha-Santos (2024) destacam os desafios analíticos envolvidos na investigação simultânea de micro/nanoplásticos e compostos farmacêuticos.

A transição dos microplásticos para partículas ainda menores representa um desafio adicional. Os nanoplásticos apresentam características de superfície, mobilidade e interação biológica distintas, além de maiores dificuldades de isolamento, identificação e quantificação em matrizes ambientais complexas. Dessa forma, avanços metodológicos serão essenciais para estabelecer a ocorrência real dessas partículas e compreender sua contribuição para o transporte e a biodisponibilidade de contaminantes (Silva; Barceló; Rocha-Santos, 2024).

Além disso, as pesquisas futuras precisam integrar de maneira mais consistente química ambiental, ecotoxicologia e dinâmica dos ecossistemas. Demonstrar que determinado contaminante adsorve em uma partícula é apenas uma etapa da avaliação. É necessário determinar se essa associação modifica efetivamente seu transporte, se o contaminante é liberado após a mudança de compartimento, se ocorre aumento de biodisponibilidade e se essa alteração resulta em efeitos biológicos mensuráveis. Essa abordagem integrada permitirá estabelecer em quais situações o efeito vetor representa uma contribuição relevante para o risco ambiental (Xiong *et al.*, 2024; Rafa *et al*., 2024).

Por fim, o avanço do conhecimento deve ser acompanhado por estratégias de prevenção e monitoramento. A ampla distribuição dos microplásticos demonstra que medidas

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

concentradas exclusivamente na remoção das partículas após sua entrada no ambiente são insuficientes. A redução da geração de resíduos, o aprimoramento do tratamento de efluentes, o controle das fontes de emissão e o desenvolvimento de métodos analíticos comparáveis constituem elementos importantes para limitar sua dispersão. Ao mesmo tempo, materiais alternativos precisam ser avaliados considerando todo o seu ciclo de vida, uma vez que a capacidade de degradação não significa necessariamente ausência de partículas intermediárias ou de efeitos ambientais (Ainali *et al*., 2022; Hoang *et al.,* 2024; Zeb *et al.,* 2024).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão evidenciou que os microplásticos estão amplamente distribuídos nos ecossistemas aquáticos e terrestres, apresentando diferentes fontes, características e comportamentos ambientais. Além de constituírem contaminantes persistentes, essas partículas podem interagir com diversas substâncias químicas presentes no ambiente, incluindo metais potencialmente tóxicos, compostos orgânicos, fármacos e outros contaminantes emergentes. Essa capacidade amplia a complexidade da contaminação ambiental, uma vez que os microplásticos podem participar da mobilidade e do destino dessas substâncias.

As evidências analisadas demonstram que os processos de adsorção e dessorção são influenciados pelas características do polímero e do contaminante, bem como por fatores ambientais, como pH, salinidade, matéria orgânica e condições de exposição. O tamanho e, especialmente, o envelhecimento das partículas também exercem papel importante, pois as alterações físico-químicas sofridas pelos microplásticos no ambiente podem modificar sua afinidade pelos contaminantes. Dessa forma, seu comportamento como potencial vetor não pode ser generalizado, devendo ser interpretado de acordo com as condições específicas de cada sistema ambiental.

Quanto às implicações ecotoxicológicas, a associação entre microplásticos e contaminantes pode favorecer exposições combinadas e, em determinadas condições, modificar a biodisponibilidade das substâncias para os organismos. Entretanto, a presença de contaminantes adsorvidos ou sua detecção em diferentes níveis tróficos não comprova, isoladamente, aumento do risco ecológico, bioacumulação ou biomagnificação. A relevância do efeito vetor depende da quantidade transportada, da estabilidade da associação, da ocorrência de dessorção e da efetiva disponibilidade do contaminante após o contato ou a ingestão das partículas.

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

Por fim, persistem lacunas relacionadas à padronização dos métodos analíticos, à representatividade das condições experimentais, às exposições crônicas e às misturas de contaminantes, além da necessidade de ampliar as pesquisas envolvendo microplásticos envelhecidos e nanoplásticos. Estudos futuros devem integrar ocorrência ambiental, sorção e dessorção, transporte, biodisponibilidade e respostas ecotoxicológicas em condições mais próximas das encontradas nos ecossistemas. Essa abordagem poderá contribuir para uma avaliação mais consistente dos riscos e subsidiar estratégias de monitoramento, prevenção e redução da contaminação por microplásticos.

## REFERÊNCIAS

AINALI, Nina Maria *et al*. Do poly(lactic acid) microplastics instigate a threat? A perception for their dynamic towards environmental pollution and toxicity. Science of the Total Environment, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155014.

ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, 2011. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

BHAGAT, Kartik *et al.* Aging of microplastics increases their adsorption affinity towards organic contaminants. Chemosphere, 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134238.

BISWAS, Bishwatma; JOSEPH, Anuja; RANJAN, Ved Prakash; GOEL, Sudha. Adsorption of emerging contaminants on microplastics in the environment: a systematic review. ACS ES&T Water, v. 4, n. 12, p. 5207–5224, 2024. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00666.

BRENNECKE, Dennis; DUARTE, Bernardo; PAIVA, Filipa; CAÇADOR, Isabel; CANNING-CLODE, João. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2016. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.12.003.

CHEN, Po-Wen; HSIAO, Man-Ni; XIAO, Li-Wei; LIU, Zhen-Shu. Adsorption behavior of heavy metals onto microplastics derived from conventional and biodegradable commercial plastic products. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175537.

CHEN, X.; YU, X.; ZHANG, L.; ZHAO, W.; SUI, Q. Organic pollutants adsorbed on microplastics: potential indicators for source appointment of microplastics. Journal of Hazardous Materials, v. 465, art. 133225, 2024. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.133225.

DU, Huihong; CHEN, Pengyu; LIN, Xiaoping; ZHENG, Jingyi; LIU, Huatai; WANG, Xinhong. Adsorption of metals on aged microplastics in intensive mariculture areas: aggravating the potential ecological risks to marine organisms. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173964.

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

EN-NEJMY, K. *et al.* Microplastics in soil: a comprehensive review of occurrence, sources, fate, analytical techniques and potential impacts. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 288, art. 117332, 2024. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117332.

GAO, Yu *et al.* A comprehensive review of microplastic aging: laboratory simulations, physicochemical properties, adsorption mechanisms, and environmental impacts. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177427.

GODOY, V.; BLÁZQUEZ, G.; CALERO, M.; QUESADA, L.; MARTÍN-LARA, M. A. The potential of microplastics as carriers of metals. Environmental Pollution, 2019. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113363.

HOANG, Van-Hiep *et al.* Sources, environmental fate, and impacts of microplastic contamination in agricultural soils: a comprehensive review. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175276.

KALARONIS, D. *et al.* Assessing the adsorption of a diverse range of pharmaceuticals to virgin and aged poly(ethylene terephthalate) microplastics in different environmental matrices. Environmental Science and Pollution Research, v. 31, n. 38, p. 50804–50819, 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-34551-9.

MCDOUGALL, L.; THOMSON, L.; BRAND, S.; WAGSTAFF, T. A.; LAWTON, L. A.; PETRIE, B. Adsorption of a diverse range of pharmaceuticals to polyethylene microplastics in wastewater and their desorption in environmental matrices. Science of the Total Environment, v. 808, art. 152071, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152071.

MOURA, Diana S. *et al.* Aging microplastics enhances the adsorption of pharmaceuticals in freshwater. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169467.

MUTHURAJA, Raji; OU, Bunlong; THANGAVELU, Muthukumar; NARHAYANAN, Thaiyal Nayahi; CHITTAMART, Natthapol; JANJAROEN, Dao. Effects of particle size and aging on heavy metal adsorption by polypropylene and polystyrene microplastics under varying environmental conditions. Chemosphere, 2024. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143843.

PRAJAPATI, A.; VAIDYA, A. N.; KUMAR, A. R. Microplastic properties and their interaction with hydrophobic organic contaminants: a review. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, n. 33, p. 49490–49512, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-20723-y.

RAFA, Nazifa *et al.* Microplastics as carriers of toxic pollutants: source, transport, and toxicological effects. Environmental Pollution, v. 343, art. 123190, 2024. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.123190.

SHI, Wenshan *et al*. A global review on the abundance and threats of microplastics in soils to terrestrial ecosystem and human health. Science of the Total Environment, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169469.

SILVA, A. L. Patrício; BARCELÓ, D.; ROCHA-SANTOS, T. Pharmaceuticals and micro(nano)plastics in the environment: sorption and analytical challenges. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 2024. DOI: 10.1016/j.teac.2024.e00243.

**ISBN: 978-65-83121-31-8 DOI DO LIVRO: 10.29327/5963731**

TUMWESIGYE, E.; NNADOZIE, C. F.; AKAMAGWUNA, F. C.; NOUNDOU, X. S.; NYAKAIRU, G. W.; ODUME, O. N. Microplastics as vectors of chemical contaminants and biological agents in freshwater ecosystems: current knowledge status and future perspectives. Environmental Pollution, v. 330, art. 121829, 2023. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121829.

XIA, Y.; NIU, S.; YU, J. Microplastics as vectors of organic pollutants in aquatic environment: a review on mechanisms, numerical models, and influencing factors. Science of the Total Environment, v. 887, art. 164008, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164008.

XIONG, X.; WANG, J.; LIU, J.; XIAO, T. Microplastics and potentially toxic elements: a review of interactions, fate and bioavailability in the environment. Environmental Pollution, v. 340, pt. 2, art. 122754, 2024. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122754.

ZEB, Aurang *et al*. Microplastic pollution in terrestrial ecosystems: global implications and sustainable solutions. Journal of Hazardous Materials, 2024. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132636.