

**MICROPLÁSTICOS E ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS:  
UMA ABORDAGEM INTEGRADA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS**

Beatriz Araujo Couto <sup>1\*</sup>

Grace Kelly da Silva Godinho <sup>1\*</sup>

Cristiano Morita Barrado <sup>1\*</sup>

Alberthmeiry Teixeira de Figueiredo <sup>1\*</sup>

**Resumo:** O presente trabalho, orientado pelo Prof. Dr. Cristiano Barrado e coorientado pelo Prof. Dr. Alberthmeiry de Figueiredo, teve como tema: “Microplásticos e Espécies Exóticas Invasoras: Uma Abordagem Integrada em Ecossistemas Aquáticos.” A crescente produção e descarte de resíduos poliméricos, aliados à intensificação da intervenção humana em ecossistemas naturais, resultaram em duas ameaças ambientais globais: a poluição por microplásticos (MPs) e a dispersão de espécies exóticas invasoras (EEIs). A análise e o monitoramento desses agentes enfrentam desafios significativos. A detecção de MPs é dificultada por sua pequena dimensão, morfologia irregular e diversidade polimérica. De forma semelhante, a identificação de EEIs é limitada por métodos morfológicos tradicionais, sobretudo para organismos de pequeno porte. Este trabalho consiste em uma revisão da literatura que discute as interações ecológicas entre MPs e EEIs, além dos avanços tecnológicos no uso de nanomateriais aplicados à análise ambiental em ecossistemas aquáticos. O estudo aborda técnicas de caracterização estrutural (DRX), morfológica (MEV e MET) e de composição química (FTIR e Raman) para MPs, bem como a técnica de identificação molecular (PCR) para EEIs. Também são exploradas aplicações da nanotecnologia, com ênfase em nanossensores e nanomateriais. A revisão evidencia os principais desafios e apresenta tendências emergentes para futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** Microplásticos (MPs), Espécies Exóticas Invasoras (EEI); Nanotecnologia; Nanossensores; Monitoramento Ambiental.

---

<sup>1\*</sup> Instituto de Química – UFCAT: [gksgodinho@gmail.com](mailto:gksgodinho@gmail.com), [bia\\_couto10@outlook.com](mailto:bia_couto10@outlook.com), [cristiano@ufcat.edu.br](mailto:cristiano@ufcat.edu.br), [alberth@ufcat.edu.br](mailto:alberth@ufcat.edu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

Os plásticos são materiais amplamente utilizados devido à sua versatilidade, baixo custo e elevada durabilidade. No entanto, essas mesmas características contribuem para sua persistência no ambiente, onde podem permanecer por décadas ou até séculos, dependendo da composição polimérica e das condições ambientais (RAMOS; STOCCO, 2024). A intensificação da produção em larga escala, aliada ao descarte inadequado de resíduos plásticos, consolidou a poluição plástica como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, com impactos globais sobre diferentes ecossistemas.

No ambiente, os resíduos plásticos sofrem processos contínuos de degradação física, química e biológica, originando partículas de dimensões reduzidas, conhecidas como microplásticos e nanoplásticos. Devido ao seu pequeno tamanho e às características físico-químicas dos polímeros, essas partículas apresentam elevada mobilidade em ambientes aquáticos, favorecendo sua ampla dispersão (GIGAULT et al., 2018).

A presença de MPs e NPs já foi registrada em diversos meios ambientais, incluindo água, solo, ar e até mesmo em alimentos, levantando preocupações crescentes quanto aos seus efeitos ecotoxicológicos e potenciais riscos à saúde humana (CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018; RAMOS; STOCCO, 2024). Em ecossistemas aquáticos, essas partículas assumem um papel adicional ao atuarem como substrato para a formação de biofilmes microbianos, conhecidos como plastisfera, que podem abrigar microrganismos potencialmente patogênicos (MONTAGNER et al., 2021).

Além disso, a superfície dos microplásticos favorece a adsorção de contaminantes orgânicos persistentes, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bifenilos policlorados (PCBs) e pesticidas organoclorados, ampliando os riscos associados à ingestão dessas partículas por organismos aquáticos. Estudos indicam que a exposição aos MPs pode resultar em efeitos adversos, como inibição do crescimento, alterações comportamentais, prejuízos reprodutivos e danos

teciduais, especialmente quando ocorre bioacumulação ao longo das cadeias tróficas (CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018).

Nesse contexto, destaca-se a relação emergente entre a poluição por plásticos e a dispersão de espécies exóticas invasoras (EEIs). Resíduos plásticos flutuantes podem funcionar como vetores de transporte biológico por meio do fenômeno conhecido como *rafting*, no qual organismos aderidos aos detritos são transportados por longas distâncias, alcançando novos habitats (RECH, 2018). Esse mecanismo amplia as oportunidades de introdução e estabelecimento de espécies não nativas, potencializando impactos sobre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

A identificação e o monitoramento tanto dos microplásticos quanto das espécies exóticas invasoras representam desafios analíticos significativos. A pequena dimensão e a diversidade morfológica e química dos MPs dificultam sua detecção por métodos convencionais, enquanto a identificação de EEIs é limitada por técnicas morfológicas tradicionais, sobretudo em estágios larvais ou em espécies crípticas (IBABE et al., 2020; ADHIKARI et al., 2022). Diante dessas limitações, abordagens integradas que combinem técnicas da química analítica, da biologia molecular e da nanotecnologia têm sido cada vez mais exploradas.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre as interações ecológicas entre microplásticos e espécies exóticas invasoras em ecossistemas aquáticos, bem como discutir os avanços tecnológicos aplicados ao monitoramento ambiental, com ênfase no uso de nanomateriais e nanossensores. A compreensão integrada desses processos é fundamental para avaliar os riscos ecológicos associados à poluição plástica e para subsidiar estratégias de monitoramento e mitigação mais eficazes.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MICROPLÁSTICOS EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

#### 2.1.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

A presença de microplásticos em ecossistemas aquáticos é atualmente reconhecida como um problema ambiental emergente, impulsionado pela crescente contaminação observada em oceanos, rios e lagos (RICHARDSON; KIMURA, 2019). Apesar do uso recorrente do termo na literatura científica, ainda não existe uma definição universalmente padronizada. De acordo com a norma ISO/TR 21960:2020, microplásticos são definidos como partículas plásticas insolúveis em água, com dimensões entre 1  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$ , considerando-se como referência a maior dimensão da partícula. O mesmo documento também estabelece a categoria de “microplásticos grandes”, correspondente a partículas com tamanho entre 1 e 5 mm.

Os microplásticos podem ser classificados conforme sua origem em primários e secundários. Os microplásticos primários são produzidos intencionalmente em escala micrométrica, sendo utilizados, por exemplo, em cosméticos, produtos de higiene pessoal e abrasivos industriais. Já os microplásticos secundários resultam da fragmentação de resíduos plásticos maiores, decorrente de processos de degradação física, química e biológica, intensificados pela radiação ultravioleta, pelo desgaste mecânico e pela ação de microrganismos ao longo do tempo (MONTAGNER et al., 2021; FUNCKE, 2023; RAMOS; STOCCO, 2024).

Entre os principais polímeros identificados em ambientes aquáticos destacam-se o polietileno (PE), nas formas de baixa e alta densidade (PEBD e PEAD), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC), o politereftalato de etileno (PET), a poliamida (PA) e o poliuretano (PU). A predominância desses materiais está diretamente associada ao seu amplo uso em embalagens, produtos descartáveis, tecidos sintéticos e equipamentos industriais e pesqueiros (MONTAGNER et al., 2021).

### 2.1.2 FONTES E DISPERSÃO

A distribuição dos microplásticos ocorre em escala global, abrangendo desde ambientes urbanos densamente povoados até regiões remotas. Estudos recentes demonstram a presença dessas partículas em meios ambientais variados, incluindo água, sedimentos, organismos aquáticos e até mesmo a atmosfera, evidenciando sua elevada mobilidade e persistência (MONTAGNER et al., 2021; CUNNINGHAM et al., 2022).

As principais fontes de microplásticos estão associadas a atividades humanas, como o descarte inadequado de resíduos sólidos, o desgaste de pneus, a lavagem de tecidos sintéticos, a perda de pellets industriais e o uso intensivo de materiais plásticos na pesca e na aquicultura. Em ambientes aquáticos, essas partículas podem ser transportadas tanto por vias fluviais quanto por correntes marinhas, sendo redistribuídas ao longo da coluna d'água em função de sua densidade, do grau de bioincrustação e das condições hidrodinâmicas locais (MONTAGNER et al., 2021).

A remoção de microplásticos dos sistemas aquáticos representa um desafio significativo, uma vez que suas pequenas dimensões dificultam processos de retenção e coleta. Assim, mais do que estratégias de remediação, torna-se essencial compreender as rotas de dispersão e as áreas de acúmulo dessas partículas, de modo a subsidiar avaliações de risco ecológico e a formulação de políticas ambientais mais eficazes (CUNNINGHAM et al., 2022).

### 2.1.3 IMPACTOS ECOLÓGICOS E BIOACUMULAÇÃO

Os microplásticos e nanoplásticos apresentam elevada capacidade de adsorção de contaminantes químicos, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bifenilos policlorados (PCBs) e pesticidas organoclorados, devido à grande área superficial e às características físico-químicas dos polímeros (CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018). Uma vez ingeridas, essas partículas podem atuar como vetores de contaminantes, ampliando a exposição da biota aquática a substâncias tóxicas.

Diversos estudos relatam efeitos adversos associados à ingestão de microplásticos por organismos aquáticos, incluindo redução do crescimento, alterações comportamentais, prejuízos reprodutivos e danos físicos ao trato digestório (HORTON et al., 2017). No caso dos nanoplásticos, o risco tende a ser ainda maior, uma vez que essas partículas são capazes de atravessar barreiras biológicas, acumulando-se em órgãos e tecidos sensíveis. Evidências experimentais indicam sua presença em tecidos cerebrais de peixes e sua transferência ao longo das cadeias tróficas, desde produtores primários até níveis tróficos superiores, com potenciais alterações metabólicas, como distúrbios no metabolismo lipídico (CEDERVALL et al., 2012; LAMBERT; WAGNER, 2016; CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018).

Esses impactos reforçam a necessidade de abordagens integradas para o monitoramento e a avaliação dos efeitos ecotoxicológicos dos microplásticos, considerando não apenas sua ocorrência e composição, mas também suas interações com contaminantes químicos e organismos vivos nos ecossistemas aquáticos.

## **2.2 ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS (EEIs)**

### **2.2.1 CONCEITO E CRITÉRIO DE INVASÃO**

As Espécies Exóticas Invasoras (EEIs) são organismos (incluindo animais, plantas, fungos ou microrganismos) introduzidos fora de sua área de distribuição natural, de forma intencional ou acidental. Uma espécie passa a ser considerada invasora quando consegue se estabelecer no novo ambiente, reproduzir-se de maneira eficiente e se dispersar, causando impactos negativos à biodiversidade, aos serviços ecossistêmicos, à economia e, em alguns casos, à saúde humana (REID et al., 2019; GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

O processo de invasão biológica ocorre, em geral, de forma gradual e pode ser dividido em quatro etapas principais: introdução, estabelecimento, expansão e impacto. O sucesso da invasão é favorecido por fatores como a ausência de predadores naturais, a elevada plasticidade ecológica e a capacidade de explorar nichos disponíveis no ecossistema receptor. Como consequência, as EEIs podem alterar a estrutura das comunidades biológicas, modificar interações tróficas e

comprometer o equilíbrio ecológico de ambientes aquáticos (IBABE et al., 2020; GARCIA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021; CESARINI et al., 2025).

Atualmente, as invasões biológicas são reconhecidas como uma das principais ameaças à biodiversidade global, especialmente em ambientes aquáticos, que apresentam elevada conectividade e facilitam a dispersão de organismos entre diferentes regiões geográficas (RECH, 2018).

### 2.2.2 EXEMPLOS DE EEIs EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Diversos casos ilustram a magnitude dos impactos causados por EEIs em ecossistemas aquáticos. Em ambientes de água doce, o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) destaca-se como uma das espécies invasoras mais problemáticas na América do Sul, especialmente em grandes bacias hidrográficas (PESTANA et al., 2010). Sua elevada capacidade de fixação e reprodução resulta em alterações na estrutura das comunidades aquáticas e em prejuízos significativos à infraestrutura, como o entupimento de tubulações em usinas hidrelétricas e sistemas de abastecimento de água (RECH, 2018).

Em ambientes marinhos, espécies como o briozoário *Bugula neritina* e a macroalga *Codium fragile* apresentam alta capacidade de dispersão e competição com espécies nativas, ocupando substratos disponíveis e interferindo nos processos ecológicos locais. A colonização rápida desses organismos pode levar à simplificação das comunidades biológicas e à redução da biodiversidade em áreas invadidas (GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

### 2.2.3 EFEITOS ECOLÓGICOS E SOCIOECONÔMICOS

Os impactos das Espécies Exóticas Invasoras manifestam-se em múltiplas escalas. Do ponto de vista ecológico, as EEIs competem diretamente com espécies nativas por recursos essenciais, como alimento, espaço e abrigo, além de atuarem como predadoras ou modificadoras do habitat, podendo ainda alterar a estrutura física do ambiente, influenciando a disponibilidade de luz, a qualidade da água e a

composição do substrato, com efeitos em cascata sobre a biota local (IBABE et al., 2020; GARCÍA-GOMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

Outro aspecto relevante é o risco associado à introdução de patógenos e parasitas, uma vez que espécies exóticas podem atuar como vetores de doenças para as quais as populações nativas não possuem resistência evolutiva (GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

Além dos efeitos ecológicos, os impactos socioeconômicos das EEIs são expressivos. A presença dessas espécies pode comprometer atividades como pesca, aquicultura e turismo, além de gerar elevados custos relacionados ao controle, manejo e mitigação dos danos causados à infraestrutura e aos recursos naturais (IBABE et al., 2020). Esses prejuízos reforçam a importância de estratégias de prevenção e monitoramento, sobretudo em ambientes aquáticos sujeitos a intensa pressão antrópica.

## **2.3 INTERAÇÕES ENTRE MPs E EEIs**

### **2.3.1 MPs COMO VETORES DE EEIs**

A interação entre microplásticos e espécies exóticas invasoras tem recebido atenção crescente, uma vez que o aumento da poluição plástica tem criado novas oportunidades para a dispersão biológica em ambientes aquáticos. Os resíduos plásticos, ao entrarem em contato com a água, são rapidamente colonizados por comunidades microbianas, formando biofilmes complexos conhecidos como plastisfera. Essas comunidades funcionam como substrato inicial para a fixação de organismos de maior porte, ampliando o potencial de transporte biológico associado aos detritos plásticos (AMARAL-ZETTLER; ZETTLER; MINCER, 2020).

Os microplásticos e outros fragmentos plásticos atuam como vetores altamente eficientes devido a características como elevada durabilidade, resistência à degradação e, em muitos casos, flutuabilidade. Essas propriedades permitem que permaneçam no ambiente por longos períodos, favorecendo o transporte passivo de organismos por grandes distâncias. Quando comparados a substratos naturais, como madeira ou macroalgas, os plásticos apresentam maior tempo de permanência na

superfície da água, o que amplia as oportunidades de colonização e dispersão (RECH, 2018; GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

A abundância de resíduos plásticos em rios, estuários e regiões costeiras intensifica esse processo, aumentando a probabilidade de encontro entre organismos e substratos artificiais (GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021). Dessa forma, os microplásticos contribuem para a conectividade entre ecossistemas aquáticos e para a expansão geográfica de espécies não nativas.

### **2.3.2 INFLUÊNCIA DOS MPs NA SOBREVIVÊNCIA E DISPERSÃO DE EEIs**

O transporte mediado por microplásticos possibilita que organismos que normalmente apresentariam baixa capacidade de dispersão ativessem barreiras geográficas significativas. Por exemplo, ovos, larvas e propágulos de algas podem aderir à superfície dos plásticos e ser transportados por longos períodos, alcançando ambientes nos quais encontram condições favoráveis ao estabelecimento (IBABE et al., 2020).

Em sistemas fluviais, esse mecanismo tende a ser ainda mais eficiente, uma vez que o fluxo contínuo da água promove um transporte direcionado das partículas plásticas e dos organismos associados. Essa dinâmica favorece o intercâmbio biológico entre diferentes bacias hidrográficas e entre ambientes continentais e marinhos. Áreas sob intensa influência antrópica, como portos, estuários e regiões de aquicultura, destacam-se como pontos críticos, pois concentram simultaneamente grande quantidade de resíduos plásticos e espécies não nativas (RECH, 2018; MIRALLES et al., 2018).

Além de funcionarem como substrato de transporte, os microplásticos podem contribuir indiretamente para a sobrevivência das espécies associadas, ao oferecerem proteção contra predadores e condições ambientais adversas durante o deslocamento (GAYLARDE et al., 2023). Esse conjunto de fatores amplia o sucesso de dispersão e aumenta o risco de invasões biológicas em ecossistemas aquáticos.

### 2.3.3 EVIDÊNCIAS EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Diversos estudos relatam a presença de comunidades biológicas associadas a resíduos plásticos em ambientes aquáticos. Entre os organismos mais frequentemente observados estão briozoários, crustáceos (especialmente cracas) e moluscos, como mexilhões e ostras (GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021; RECH, 2018).

Em investigações realizadas na costa cantábrica, no norte da Espanha, foram identificadas espécies exóticas invasoras, como a craca *Austrominius modestus*, e a ostra-do-pacífico *Magallana gigas* aderidas a garrafas plásticas e a resíduos de equipamentos de pesca descartados (MIRALLES et al., 2018). Esses registros reforçam o papel dos detritos plásticos como vetores de dispersão para organismos com elevado potencial invasor.

Além dos organismos de maior porte, a plastisfera abriga uma microbiota diversa, com predominância de bactérias dos filos Proteobacteria e Bacteroidetes. A presença de microrganismos potencialmente patogênicos, como espécies do gênero *Vibrio*, e de dinoflagelados tóxicos, como *Ostreopsis* e *Alexandrium*, representa um risco adicional para a fauna aquática e para a saúde humana, especialmente em regiões costeiras utilizadas para recreação e produção de alimentos (GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021).

A caracterização adequada dessas interações depende da aplicação de métodos analíticos robustos, capazes de identificar tanto os polímeros que compõem os microplásticos quanto as espécies associadas. Esse aspecto destaca a importância de abordagens integradas no monitoramento ambiental, tema aprofundado nas próximas seções deste trabalho.

### 2.4 TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS AO MONITORAMENTO DE MPs E EEIs

O monitoramento de microplásticos e espécies exóticas invasoras em ambientes aquáticos representa um desafio significativo para as análises químicas ambientais, principalmente devido à heterogeneidade desses contaminantes. As partículas plásticas apresentam ampla variação de tamanho, forma e composição

química, enquanto os organismos associados exibem elevada diversidade biológica, o que dificulta sua detecção e caracterização em matrizes ambientais complexas. A eficiência das análises depende diretamente da escolha adequada dos protocolos de pré-tratamento, como etapas de digestão química e separação física, que são fundamentais para reduzir interferências causadas pela matéria orgânica e por sedimentos inorgânicos (ADHIKARI et al., 2022; NENE et al., 2025).

No contexto das invasões biológicas associadas ao transporte por resíduos plásticos, processo conhecido como rafting, a literatura ressalta a importância da identificação taxonômica precisa dos organismos aderidos às partículas. Falhas nesse processo podem comprometer avaliações de risco à biossegurança e dificultar a implementação de medidas de controle ambiental (MIRALLES et al., 2018; IBABE et al., 2020). Diante das limitações dos métodos baseados exclusivamente em inspeção visual, torna-se necessário o emprego de técnicas analíticas mais robustas, amplamente consolidadas no campo das análises químicas ambientais.

Entre essas técnicas, a Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é a mais difundida para a identificação química de microplásticos, sendo considerada um método padrão para a caracterização de polímeros. Estudos realizados por Li, Liu, Chen (2018) e Prata et al. (2019) demonstram sua ampla aplicação em amostras ambientais. O uso do micro-FTIR permite alcançar resoluções espaciais entre 10 e 20 micrômetros, possibilitando a análise de partículas isoladas em matrizes como sedimentos e tecidos biológicos (ADHIKARI et al., 2021). Entretanto, a presença de umidade residual e de biofilmes aderidos à superfície dos polímeros pode interferir na qualidade dos espectros obtidos (NENE et al., 2025).

A Espectroscopia Raman é frequentemente empregada como técnica complementar ao FTIR, especialmente quando se busca a identificação de partículas com dimensões inferiores a 20 micrômetros, podendo alcançar a escala nanométrica. Essa técnica fornece uma impressão digital molecular baseada no espalhamento inelástico de fótons e apresenta menor sensibilidade à interferência da água (SCHIAVI et al., 2023). Avanços recentes, como a Espectroscopia Raman Aprimorada por Superfície, destacados por Nene et al. (2025), utilizam nanomateriais plasmônicos

para aumentar a sensibilidade analítica, permitindo a detecção de nanoplásticos em concentrações muito baixas.

A caracterização morfológica dos microplásticos é comumente realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), técnica que possibilita a visualização detalhada da superfície das partículas, evidenciando fissuras, cavidades e sinais de degradação ambiental. Trabalhos como o de Li, Busquests e Campos (2020) e Bexeitova *et al.* (2024) demonstram a eficiência dessa abordagem na avaliação dos efeitos do intemperismo sobre os polímeros. Adhikari *et al.* (2021) destacam que a associação da MEV com a Espectroscopia de Energia Dispersiva permite, adicionalmente, a análise elementar, contribuindo para a identificação de aditivos inorgânicos e de metais pesados adsorvidos à matriz plástica.

Para análises em escala ultraestrutural, a Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) apresenta resolução superior, sendo particularmente relevante para a visualização da estrutura interna dos microplásticos e da presença de nanopartículas incorporadas. Ramos e Stocco (2024) destacam que essa técnica é essencial para estudos que envolvem nanoplásticos e processos de degradação em escala nanométrica. Os mesmos autores indicam a Difração de Raios X (DRX) como ferramenta complementar para a análise da estrutura cristalina dos polímeros e para a identificação de fases cristalinas associadas a aditivos inorgânicos presentes nas amostras ambientais.

No que se refere às espécies exóticas invasoras associadas aos resíduos plásticos, as ferramentas moleculares desempenham papel fundamental na identificação taxonômica precisa. O uso da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) para a amplificação de genes marcadores, como o citocromo oxidase I, permite a identificação de organismos em estágios iniciais de desenvolvimento, como ovos e larvas, que não podem ser reconhecidos por métodos morfológicos tradicionais (IBABE *et al.*, 2020; CESARINI *et al.*, 2025). Reid *et al.* (2019) ressaltam que a aplicação de DNA ambiental e metabarcoding amplia a capacidade de monitoramento da colonização de novos habitats e da dispersão de patógenos associados à plastisfera.

De forma geral, a literatura recente, representada por revisões como as de Caixeta, Caixeta e Filho (2018) e Guo, Noori e Abolfathi (2024), reforça que a integração entre técnicas microscópicas, espectroscópicas e moleculares constitui a abordagem mais consistente para o monitoramento ambiental de microplásticos e espécies exóticas invasoras. Essa combinação metodológica permite a obtenção de dados mais confiáveis para a avaliação de riscos ambientais e para a proteção da biodiversidade aquática, evidenciando a importância das análises químicas ambientais no enfrentamento desses desafios emergentes.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, fundamentada na análise de estudos científicos previamente publicados que abordam os microplásticos e a dispersão de espécies exóticas invasoras em ambientes aquáticos. A proposta central foi reunir, comparar e discutir os principais achados da literatura, buscando compreender como as pesquisas nessa área têm evoluído e de que forma esses dois temas se inter-relacionam.

A seleção das publicações foi realizada em bases de dados amplamente reconhecidas nas áreas ambiental e biológica, como Google Scholar, Scopus e Web of Science. Para a busca, foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por meio de operadores booleanos, com o objetivo de ampliar a abrangência e a precisão dos resultados. Entre os principais termos empregados destacam-se microplásticos, nanoplásticos, espécies exóticas invasoras, ambientes aquáticos, plastisfera e invasão biológica. Outros descritores também foram testados ao longo do processo, conforme a necessidade de refinar e expandir a busca por estudos relevantes.

Após a etapa de levantamento, os trabalhos identificados passaram por uma triagem inicial baseada na leitura de títulos, resumos e palavras-chave, de modo a verificar sua adequação aos objetivos da pesquisa. Estudos que não apresentavam relação direta com os temas centrais foram excluídos, resultando em um conjunto consistente de referências atualizadas e pertinentes ao escopo do trabalho.

O procedimento metodológico adotado buscou assegurar uma revisão sistemática e abrangente, fornecendo uma base teórica sólida para a discussão das interações entre microplásticos e espécies exóticas invasoras, bem como das perspectivas tecnológicas associadas ao monitoramento ambiental. Não foram realizadas análises estatísticas ou experimentais próprias, uma vez que o estudo se baseia exclusivamente em dados secundários disponíveis na literatura científica.

#### 4. RESULTADOS

A análise da literatura revisada demonstra que os microplásticos estão amplamente distribuídos em ecossistemas aquáticos continentais e marinhos, sendo detectados na coluna d'água, em sedimentos e em diferentes níveis da biota. Ambientes como rios, lagos e estuários, anteriormente considerados apenas como vias de transporte para os oceanos, também atuam como importantes zonas de retenção dessas partículas, o que amplia o tempo de permanência e a exposição ambiental aos contaminantes plásticos (HORTON et al., 2017; LI; LIU; CHEN, 2018). Mesmo com a elevada eficiência das estações de tratamento de esgoto na remoção de microplásticos, uma fração significativa ainda é liberada no ambiente em função do grande volume de efluentes gerados, contribuindo para a contaminação contínua dos sistemas aquáticos (RAMOS; STOCCO, 2024).

Os estudos indicam que os polímeros mais frequentemente identificados em amostras ambientais são o polietileno tereftalato (PET) e o polipropileno (PP), o que reflete o uso intensivo de embalagens e produtos descartáveis no cotidiano. A persistência desses materiais no ambiente está associada à sua resistência à degradação físico-química e biológica, o que favorece a fragmentação progressiva e o acúmulo de partículas em diferentes compartimentos ambientais (RAMOS; STOCCO, 2024). Do ponto de vista ecotoxicológico, os microplásticos representam risco adicional por conterem aditivos químicos em sua composição e por atuarem como vetores de poluentes orgânicos persistentes, potencializando efeitos adversos sobre organismos aquáticos (CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018).

Um aspecto central discutido na literatura refere-se à formação de biofilmes sobre a superfície dos microplásticos, fenômeno conhecido como plastisfera. A colonização

por microrganismos e pela matriz extracelular altera propriedades físico-químicas das partículas, como densidade e rugosidade, favorecendo seu afundamento e o acúmulo em sedimentos (AMARAL-ZETTLER; ZETTLER; MINCER, 2020; GUO; NOORI; ABOLFATHI, 2024).

Esse processo amplia a disponibilidade dos microplásticos para organismos bentônicos e pode modificar a dinâmica ecológica dos ambientes aquáticos, criando microhabitats artificiais distintos daqueles observados em substratos naturais.

No contexto das invasões biológicas, a literatura evidencia que os resíduos plásticos atuam como importantes vetores para a dispersão de espécies exóticas invasoras por meio do fenômeno conhecido como rafting. A fluidez e a durabilidade dos plásticos possibilitam o transporte de organismos aderidos por longas distâncias, aumentando a conectividade entre ecossistemas e ampliando os riscos à biodiversidade local (RECH et al., 2018; GARCÍA-GÓMEZ; GARRIGÓS; GARRIGÓS, 2021). Atividades antrópicas como a aquicultura e o intenso tráfego marítimo contribuem significativamente para esse processo, ao aumentar a disponibilidade de estruturas plásticas no ambiente aquático (MIRALLES et al., 2018).

Além da colonização superficial, estudos recentes indicam que determinadas espécies exóticas invasoras também ingerem microplásticos durante seu ciclo de vida. Esse comportamento amplia o potencial de dispersão por vias tróficas e intensifica os impactos ambientais e toxicológicos associados, uma vez que as partículas podem ser transferidas ao longo da cadeia alimentar (CESARINI et al., 2025). Esses achados reforçam a necessidade de abordagens integradas para avaliar os efeitos combinados da poluição plástica e das invasões biológicas.

Do ponto de vista das análises químicas ambientais, os resultados discutidos evidenciam que a aplicação integrada de diferentes técnicas analíticas é fundamental para a compreensão desses processos. Métodos espectroscópicos, como FTIR e Raman, permitem a identificação da composição polimérica dos microplásticos, enquanto técnicas microscópicas, como a microscopia eletrônica de varredura associada à análise por energia dispersiva, contribuem para a caracterização morfológica e para a identificação de contaminantes inorgânicos aderidos às partículas (CAIXETA; CAIXETA; FILHO, 2018; PRATA et al., 2019; RAMOS;

STOCCO, 2024). No entanto, a literatura aponta que a ausência de padronização nos protocolos analíticos, aliada às limitações na detecção de partículas de menor dimensão, ainda dificulta a comparação entre estudos e a avaliação de riscos ambientais em escala mais ampla (HORTON et al., 2017; RAMOS; STOCCO, 2024).

Avanços recentes, especialmente aqueles associados à nanotecnologia, têm sido apontados como promissores para superar essas limitações. O uso de técnicas como a Espectroscopia Raman Aprimorada por Superfície (SERS), que emprega nanomateriais plasmônicos para amplificação do sinal analítico, e a aplicação de nanopartículas magnéticas funcionalizadas no pré-tratamento de amostras, ampliam a sensibilidade e a eficiência na detecção de micro e nanoplásticos em matrizes ambientais complexas (NENE et al., 2025). Apesar desses progressos, a fração nanométrica ainda representa uma das principais incertezas nos estudos ambientais atuais, reforçando a necessidade de desenvolvimento de métodos mais sensíveis, reprodutíveis e internacionalmente padronizados.

## 5. CONCLUSÕES

A presente revisão bibliográfica evidenciou que os microplásticos estão amplamente distribuídos em ecossistemas aquáticos e representam um problema ambiental complexo, não apenas por sua persistência, mas também por sua capacidade de atuar como vetores para a dispersão de espécies exóticas invasoras. A formação da plastisfera e o fenômeno do *rafting* ampliam os riscos ecológicos associados a esses contaminantes, contribuindo para alterações na dinâmica das comunidades aquáticas e para potenciais impactos sobre a biodiversidade.

Do ponto de vista das análises químicas ambientais, os estudos analisados demonstram que a identificação e a caracterização eficazes de microplásticos e organismos associados dependem da integração de diferentes técnicas analíticas. Métodos espectroscópicos e microscópicos possibilitam a determinação da composição e da morfologia dos polímeros, enquanto ferramentas moleculares permitem a identificação taxonômica precisa de espécies exóticas invasoras. Essa abordagem integrada é fundamental para a geração de dados confiáveis e para a avaliação de riscos ambientais em ecossistemas aquáticos.

Apesar dos avanços observados, permanecem desafios relacionados à padronização dos protocolos analíticos e à detecção de partículas em escala nanométrica, especialmente no caso dos nanoplásticos. Nesse contexto, o desenvolvimento e o aprimoramento de técnicas mais sensíveis, incluindo aplicações emergentes da nanotecnologia, são essenciais para fortalecer o monitoramento ambiental e subsidiar estratégias de gestão e conservação da biodiversidade aquática.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S. et al. Methods and challenges in the detection of microplastics and nanoplastics: a mini-review. **Polymer International**, v. 71, n. 5, p. 543-551, 2022.
- AMARAL-ZETTLER, L. A.; ZETTLER, E. R.; MINCER, T. J. Ecology of the plastisphere. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, n. 3, p. 139-151, 2020.
- BEXEITOVA, K. et al. Microplastics in freshwater systems: A review of classification, sources, and environmental impacts. **Chemical Engineering Journal Advances**, v. 20, p. 100649, 2024.
- CAIXETA, D. S.; CAIXETA, F. C.; FILHO, F. C. M. M. Nano e Microplásticos nos Ecossistemas: Impactos Ambientais e Efeitos sobre os Organismos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 19-34, 2018.
- CEDERVALL, T. et al. Food chain transport of nanoparticles affects behaviour and fat metabolism in fish. **PLOS One**, v. 7, n. 2, p. e32254, 2012.
- CESARINI, G. et al. Microplastics and invasive crayfish: emerging interactions and ecological implications from three coexisting species in a subalpine lake. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 33395, 2025.
- CUNNINGHAM, E. M. et al. The transport and fate of microplastic fibres in the Antarctic: The role of multiple global processes. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 1056081, 2022.
- FUNCKE, R. P. N. **Metodologia para Identificação de Fragmentos Plásticos em Meio Aquoso Através da Microtomografia Computadorizada**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GARCÍA-GÓMEZ, J. C.; GARRIGÓS, M.; GARRIGÓS, J. Plastic as a vector of dispersion for marine species with invasive potential. A review. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, p. 629756, 2021.
- GAYLARDE, C. C. et al. The importance of biofilms on microplastic particles in their sinking behavior and the transfer of invasive organisms between ecosystems. In: **Micro**. MDPI, 2023. p. 320-337.
- GIGAULT, J. et al. Current opinion: What is a nanoplastic? **Environmental Pollution**, v. 235, p. 1030-1034, 2018.
- GUO, M.; NOORI, R.; ABOLFATHI, S. Microplastics in freshwater systems: Dynamic behaviour and transport processes. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 205, p. 107578, 2024.
- HORTON, A. A. et al. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 127-141, 2017.
- IBABE, A. et al. Environmental DNA from plastic and textile marine litter detects exotic and nuisance species nearby ports. **PLOS One**, v. 15, n. 6, p. e0228811, 2020.

- ISO PLASTICS – Environmental aspects – State of knowledge and methodologies. ISO/TR 21960:2020. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:tr:21960:ed-1:v1:en>. Acessado em 13 out. 2025.
- LAMBERT, S.; WAGNER, M. Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene. **Chemosphere**, v. 145, p. 265-268, 2016.
- LI, C.; BUSQUETS, R.; CAMPOS, L. C. Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. **Science of the Total Environment**, v. 707, p. 135578, 2020.
- LI, J.; LIU, H.; CHEN, J. P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. **Water Research**, v. 137, p. 362-374, 2018.
- MIRALLES, L. et al. Marine litter as a vector for non-indigenous species in a coastal area: The case of plastic bottles and fishing gear in the Cantabrian Sea. **Journal for Nature Conservation**, v. 42, p. 12-18, 2018.
- MONTAGNER, C. C. et al. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.
- NENE, A. et al. Recent advances and future technologies in nano-microplastics detection. **Environmental Sciences Europe**, v. 37, n. 1, p. 7, 2025.
- PESTANA, D. et al. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 50, p. 553-559, 2010.
- PRATA, J. C. et al. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 110, p. 150-159, 2019.
- RAMOS, I. A.; STOCCO, J. L. **Desafios na identificação e caracterização de microplásticos em ambientes aquáticos: uma revisão bibliográfica**. 2024. 66 f. TCC (Graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2024.
- RECH, S. et al. **Marine plastic pollution as a vector for non-native species transport**. 2018. Tese (Doutorado).
- REID, A. J. et al. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019.
- RICHARDSON, S. D.; KIMURA, S. Y. Water analysis: emerging contaminants and current issues. **Analytical Chemistry**, v. 92, n. 1, p. 473-505, 2019.
- SCHIAVI, S. et al. Plasmonic nanomaterials for micro-and nanoplastics detection. **Applied Sciences**, v. 13, n. 16, p. 9291, 2023.