

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

DANIELLE DE JESUS SILVA

MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS: UMA ABORDAGEM SOBRE
PADRÕES METODOLÓGICOS NO BRASIL, CONTAMINAÇÃO EM PEIXES E
PERCEPÇÃO AMBIENTAL NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ,
MARANHÃO

São Luís - MA

2026

DANIELLE DE JESUS SILVA

**MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS: UMA ABORDAGEM SOBRE
PADRÕES METODOLÓGICOS NO BRASIL, CONTAMINAÇÃO EM PEIXES E
PERCEPÇÃO AMBIENTAL NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ,
MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Henrique Lopes Silva

São Luís - MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Danielle de Jesus.

MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS: UMA ABORDAGEM
SOBRE PADRÕES METODOLÓGICOS NO BRASIL, CONTAMINAÇÃO EM
PEIXES E PERCEPÇÃO AMBIENTAL NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO
JOSÉ, MARANHÃO / Danielle de Jesus Silva. - 2026.

147 f.

Orientador(a): Marcelo Henrique Lopes Silva.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís -ma, 2026.

1. Golfão Maranhense. 2. Poluição Marinha. 3.
Percepção Ambiental. 4. Comunidades Pesqueiras. 5.
Segurança Alimentar. I. Silva, Marcelo Henrique Lopes.
II. Título.

DANIELLE DE JESUS SILVA

**MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS: UMA ABORDAGEM SOBRE
PADRÕES METODOLÓGICOS NO BRASIL, CONTAMINAÇÃO EM PEIXES E
PERCEPÇÃO AMBIENTAL NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ,
MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Henrique Lopes Silva

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Henrique Lopes Silva (UFMA)

Orientador

Prof.a Dra. Paula Verônica Santos (UFMA)

Membro Interno

Profa. Dra. Caio Brito Lourenço (IFMA)

Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me proporcionar a oportunidade de realizar o mestrado com o apoio e suporte de tantas pessoas especiais.

Aos meus pais, João e Albertina, que sempre acreditaram que a educação poderia transformar nossas vidas, assim como aos meus irmãos, pelo apoio e orações ao longo do processo. Muitas coisas aconteceram durante esses dois anos e, sem o cuidado de vocês, tudo seria mais difícil.

Agradeço às queridas amigas Osmana e Priscila, por sempre se fazerem presentes de alguma forma e por lembrarem que merecemos um futuro extraordinário.

À equipe do Labirpesq, por não me deixar sozinha. Em meio a tantas dúvidas e inseguranças, sempre havia alguém ao meu lado indicando o que fazer, com quem falar e dizendo “já deu certo”.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Henrique Lopes Silva, pelas correções, paciência e por aceitar o desafio de me orientar.

Agradeço especialmente ao Pinheiro Júnior pelo incentivo para à realização do mestrado e por todo o suporte durante o período do curso. Agradeço também à equipe da Agregar Ambiental pelo apoio e compreensão durante esse processo.

Ao meu marido, João Marcelo da Silva Abreu, minha profunda gratidão. Agradeço pelo incentivo, paciência, falta de paciência e por me acompanhar nessa jornada.

Eu nunca fui uma pessoa sonhadora, mas, com vocês, aprendi que grandes coisas são possíveis.

Então entendi que nessa vida tudo o que a pessoa pode
fazer é procurar ser feliz e viver o melhor que puder.
Todos nós devemos comer e beber e aproveitar bem aquilo
que ganhamos com o nosso trabalho.
Isso é um presente de Deus.

Eclesiastes 3:12-13

APRESENTAÇÃO

O presente documento apresenta o projeto de dissertação intitulado “Microplásticos em ambientes aquáticos: uma abordagem sobre padrões metodológicos no Brasil, contaminação em peixes e percepção ambiental nas baías de São Marcos e São José, Maranhão”, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente junto ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão. O presente projeto foi dividido em três capítulos, os quais correspondem a três artigos, conforme detalhado a seguir.

O Capítulo 1, intitulado “Microplásticos em ambientes aquáticos do Brasil: uma revisão sistemática dos padrões metodológicos aplicados à coleta, processamento e identificação”, foi desenvolvido com o objetivo de analisar as publicações científicas relacionadas à ocorrência de microplásticos no Brasil, abrangendo ambiente aquático, sedimentares e biota, bem como as metodologias empregadas para sua investigação. O manuscrito correspondente ao Capítulo 1 foi submetido ao periódico *Regional Studies in Marine Science*, classificada como A1 no Qualis-CAPES (quadriênio 2017–2020). As normas de publicação do periódico e o comprovante de submissão estão nos Anexos deste documento.

O Capítulo 2, intitulado “Registro de ocorrência de microplástico em diferentes tecidos de peixes do Golfão Maranhense, Costa Amazônica Maranhense, Brasil”, buscou analisar a ocorrência de microplástico nos tecidos de peixes das baías de São Marcos e São José, assim como o grau de exposição da população aos microplásticos por meio do consumo de peixes. Os resultados contribuem para ampliar o conhecimento sobre a poluição microplástica nessas baías, permitindo a análise de possíveis consequências para a segurança alimentar e saúde pública. O manuscrito do referido capítulo será submetido ao periódico *Marine Pollution Bulletin*, classificado como A1 no Qualis-CAPES (quadriênio 2017–2020).

O Capítulo 3, intitulado “Percepção Ambiental em comunidades de pesca artesanal sobre a contaminação por microplásticos na Costa Amazônica Maranhense” teve como objetivo analisar a percepção ambiental de comunidades residentes nas proximidades das baías de São Marcos e São José, quanto aos riscos associados aos microplásticos, bem como em relação à degradação ambiental do ecossistema. O manuscrito referente a este capítulo será submetido ao periódico *Marine Pollution Bulletin*, classificado como A1 no Qualis-CAPES (quadriênio 2017–2020).

O documento é constituído de INTRODUÇÃO GERAL, I. PROBLEMAS DA PESQUISA, II. HIPÓTESES, III. OBJETIVOS, CONSIDERAÇÕES FINAIS, os quais

fundamentam a investigação proposta. Além disso, os itens IV, V e VI correspondem aos Artigos 1, 2 e 3, respectivamente. Ao final do documento, encontram-se os elementos pós-textuais, compostos por REFERÊNCIAS e ANEXOS.

RESUMO

A poluição plástica é uma das principais ameaças ambientais globais, sendo os microplásticos (MPs) um dos contaminantes mais preocupantes devido à sua ampla distribuição e potenciais impactos. Nesse contexto, esse estudo adotou uma abordagem interdisciplinar para compreender o conhecimento científico, a ocorrência, e percepção ambiental relacionada aos microplásticos. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar e analisar publicações científicas sobre a presença de microplásticos em ambientes brasileiros, assim como as abordagens metodológicas utilizadas. Posteriormente, espécies de peixes de 3 pontos de amostragem no Golfão Maranhense foram selecionadas para verificação de ocorrência de microplásticos no tecido gastrointestinal e no músculo. As amostras foram processadas e analisadas em laboratório. Por fim, foram aplicados formulário estruturados nas comunidades de Coqueiro (baía de São Marcos) e Pau Deitado (baía de São José) visando analisar a percepção ambiental das comunidades. Os resultados revelaram que as pesquisas ocorrem em todas as regiões do Brasil, com concentração de estudos em ambientes marinhos e escassez de dados integrados entre os compartimentos ambientais. Destaca-se a necessidade de padronização das metodologias empregadas e a inclusão de análises em tecidos comestíveis. A ocorrência de microplásticos no estômago e no músculo foi confirmada em todos os pontos de coleta, sendo um dos primeiros estudos a registrar a ocorrência de microplásticos em amostras de músculos em peixes coletados no Brasil. A ingestão diária estimada indicou que o consumo das espécies pode representar uma via de exposição humana a microplásticos, mas limitada devido seu baixo valor. Em relação a percepção ambiental, as comunidades amostradas apresentaram baixo nível de conhecimento sobre microplásticos e maior percepção em relação a contaminação nas baías. Diante disso, verifica-se a necessidade de que estudos sobre microplásticos adotem abordagens padronizadas, interdisciplinares e colaborativas, visando subsidiar avaliações integradas sobre os riscos ambientais e impactos à saúde humana.

Palavras-chave: Golfão maranhense; Poluição marinha; Percepção ambiental; Comunidades pesqueiras; Segurança alimentar

ABSTRACT

Plastic pollution is one of the major global environmental threats, with microplastics (MPs) standing out as particularly concerning contaminants due to their widespread distribution and potential impacts. In this context, this study adopted an interdisciplinary approach to investigate the scientific knowledge, occurrence, and environmental perception related to microplastics. Initially, a systematic literature review was conducted to identify and analyze scientific publications on the presence of microplastics in Brazilian environments, as well as the methodological approaches employed. Subsequently, fish species collected from three sampling sites in the Maranhão Gulf were analyzed to assess the occurrence of microplastics in gastrointestinal tissues and muscle. The samples were processed and examined under laboratory conditions. Finally, structured questionnaires were applied in the communities of Coqueiro (São Marcos bay) and Pau Deitado (São José bay) to evaluate environmental perception among local residents. The results showed that research on microplastics has been carried out across all regions of Brazil, with a predominance of studies in marine environments and a lack of integrated data across environmental compartments. The findings also highlight the need for methodological standardization and the inclusion of analyses in edible tissues. Microplastics were detected in both the stomach and muscle of fish at all sampling sites, making this one of the first studies to record the occurrence of microplastics in muscle samples of fish found in Brazil. The estimated daily intake suggested that fish consumption may represent a pathway for human exposure to microplastics, although at relatively low levels. Regarding environmental perception, the surveyed communities demonstrated limited knowledge about microplastics, despite showing greater awareness of contamination in the studied bays. Overall, these findings reinforce the need for future studies to adopt standardized, interdisciplinary, and collaborative approaches in order to support more integrated assessments of environmental risks and potential impacts on human health.

Keywords: Maranhão Gulf; Marine pollution; Environmental perception; Fishing communities; Food safety

LISTA DE FIGURAS

Figura IV.1. Evolução anual das publicações sobre microplásticos em ambientes aquáticos brasileiros incluídas na revisão sistemática (2020–2024).	44
Figura IV.2. Distribuição espacial das publicações sobre microplásticos em ambientes aquáticos no Brasil (2020–2024).	45
Figura IV.3. Frequência de ocorrência dos ambientes aquáticos investigados nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).	46
Figura IV.4. Frequência anual dos compartimentos ambientais analisados nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).	47
Figura IV.5. Frequência de ocorrência dos métodos de coleta empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.	48
Figura IV.6. Relação entre matriz ambiental e tipos de digestão química empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.	49
Figura IV.7. Frequência das formas de microplásticos reportadas nos estudos incluídos na revisão sistemática.	50
Figura IV.8. Frequência das técnicas de identificação química empregadas nos estudos incluídos na revisão sistemática.	51
Figura IV.9. Distribuição percentual dos grupos da biota avaliados nos estudos incluídos na revisão.	52
Figura V.1. Localização dos pontos amostrais no Golfão Maranhense, Costa Amazônica Maranhense, Brasil.	73
Figura V.2. Espécies de peixes do Golfão Maranhense, utilizadas nesse estudo. a) <i>Bagre bagre</i> (bandeirado); b) <i>Diapterus rhombeus</i> (peixe-prata); c) <i>Genyatremus luteus</i> (peixe-pedra); d) <i>Macrodon ancylodon</i> (pescadinha gó); e) <i>Mugil</i> sp. (tainha); f) <i>Sciades herzbergii</i> (bagre guribú - vista dorsal e lateral); g) <i>Sciades</i> sp. (bagre - vista dorsal e lateral).	74
Figura V.3. Fator de Condição de Fulton entre os pontos de coleta e entre as espécies coletadas em cada ponto. a) Entre os 3 Pontos; b) Boqueirão; c) Ilha dos Caranguejos; d) Pau Deitado.	79
Figura V.4. Quantidade e cor das partículas de microplástico identificadas nas amostras de estômago. a) fibras; b) fragmentos.	81
Figura V.5. Partículas de microplástico identificadas nas amostras de estômago analisadas. a) fibra azul; b) fibra preta; c) fibra vermelha e, d) fragmento azul.	81
Figura V.6. Quantidade e cor das partículas de microplástico identificadas nas amostras de	

músculo. a) fibras; b) fragmentos.	82
Figura V.7. Partículas de microplástico identificadas nas amostras de músculo analisadas. a) fibra azul; b) fragmento azul; c) fibra vermelha e, d) fibra cinza.	83
Figura VI.1. Localização das comunidades do Coqueiro e do Pau Deitado.	101
Figura VI.2. Nível de escolaridade dos entrevistados nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil.	103
Figura VI.3. Informações sobre renda dos entrevistados nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil. a. Quantas pessoas dependem diretamente da renda do entrevistado. b. Se a família possui outras fontes de renda.	103
Figura VI.4. Principais petrechos de pesca utilizados pelos pescadores nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil.	104
Figura VI.5. Frequência de consumo de pescado na comunidade do Coqueiro. a. Se alimentam de peixe e/ou mariscos. b. Se alimentam de peixe e/ou mariscos pescados na região.	105
Figura VI.6. Principal fator considerado no momento da escolha do pescado na comunidade do Coqueiro.	106
Figura VI.7. Frequência de consumo de pescado na comunidade do Pau deitado. a. Se alimentam de peixe e/ou mariscos. b. Se alimentam de peixe e/ou mariscos pescados na região.	106
Figura VI.8. Principal fator considerado no momento da escolha do pescado na comunidade do Pau deitado.	107
Figura VI.9. Percepção sobre fontes potenciais de microplásticos nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).	108
Figura VI.10. Percepção sobre a decomposição dos plásticos no ambiente nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).	109
Figura VI.11. Percepção sobre as principais dificuldades para a atividade pesqueira nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).	109
Figura VI.12. Percepção sobre os tipos de poluição ambiental nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado(b).	110
Figura VI.13. Manejo de resíduos sólidos nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).	110

LISTA DE TABELAS

Tabela IV.1. Frequência dos métodos de digestão química empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.	41
Tabela IV.2. Frequência das cores de microplásticos reportadas nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).	42
Tabela IV.3. Tipos de polímeros identificados nos estudos incluídos na revisão sistemática. Os valores correspondem ao número de publicações que reportaram cada polímero.	43
Tabela V.1. Locais de amostragem, espécies, classificação, número de amostra (n), tamanho (cm) e peso (g) das amostras de peixes.	78
Tabela V.2. Frequência de ocorrência e abundância média de microplástico registrados no estômago por ponto de coleta.	80
Tabela V.3. Frequência de ocorrência e abundância média de microplástico registrados no músculo por ponto de coleta.	80
Tabela V.4. Porcentagem das formas e cores de microplástico no estômago por ponto de coleta.	82
Tabela V.5. Porcentagem das formas e cores de microplástico no músculo por ponto de coleta.	83
Tabela V.6. Frequência de ocorrência e abundância média de microplásticos encontrados nos estômagos das espécies analisadas.	84
Tabela V.7. Frequência de ocorrência e abundância média de microplásticos encontrados nos músculos das espécies analisadas.	85
Tabela V.8. Estimativa de ingestão de microplásticos pelo consumo de peixe.	86
Tabela VI.1. Pescados consumidos na comunidade do Coqueiro.	106
Tabela VI.2. Pescados consumidos na comunidade do Pau Deitado.	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FTIR – Fourier transform infrared spectroscopy (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier)

GF/F –Whatman GF/F (filtro de fibra de vidro)

H₂O₂ – peróxido de hidrogênio

KOH – hidróxido de potássio

LDIR – laser direct infrared

MPs – microplásticos

NaCl – cloreto de sódio

NaOH – hidróxido de sódio

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PA – poliamida

PE – polietileno

PET – polietileno tereftalato

PP – polipropileno

PUR – poliuretano

ZnCl₂ – cloreto de zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
I. PROBLEMAS DA PESQUISA	19
II. HIPÓTESES	19
III. OBJETIVOS	20
Objetivo Geral.....	20
Objetivos Específicos	20
IV. CAPÍTULO 1: Microplásticos em ambientes aquáticos do Brasil: uma revisão sistemática dos padrões metodológicos aplicados à coleta, processamento e identificação	21
1 Introdução	23
2 Material e Métodos	24
2.1 Estratégia de busca e bases de dados	24
2.2 Critérios de elegibilidade e processo de seleção	25
2.3 Extração e organização dos dados.....	25
3 Resultados.....	26
3.1 Análise por compartimento ambiental	30
4 Discussão	33
5 Conclusão	36
Referências	37
Lista de Tabelas e Figuras	41
Material suplementar.....	53
V. CAPÍTULO 2: Registro de ocorrência de microplástico em diferentes tecidos de peixes do Golfão Maranhense, Costa Amazônica Maranhense, Brasil	69
1 Introdução	70
2 Material e Métodos	72
2.1 Área de estudo	72
2.2 Amostragem	73

2.3	Caracterização ecológica das espécies	74
2.4	Preparação das amostras	75
2.5	Fator de Condição.....	75
2.6	Análise dos microplásticos	75
2.7	Protocolo de controle de qualidade e extração	76
2.8	Análises estatísticas	76
2.9	Avaliação do risco de exposição aos microplásticos.....	77
3	Resultados.....	77
4	Discussão	86
5	Conclusão	90
	Referência.....	90
VI.	CAPÍTULO 3: Percepção ambiental em comunidades de pesca artesanal sobre a contaminação por microplásticos na Costa Amazônica Maranhense.....	97
1	Introdução	98
2	Material e Métodos	100
3	Resultados.....	102
3.1	Perfil Socioeconômico.....	102
3.2	Perfil da atividade de pesca	103
3.3	Hábitos de Consumo.....	105
3.4	Percepção das comunidades sobre a contaminação por microplástico	108
3.5	Percepção ambiental em relação a poluição ambiental	109
4	Discussão	111
5	Conclusão	113
	Referências	113
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
	REFERÊNCIAS	127
	ANEXOS	131

INTRODUÇÃO GERAL

Os plásticos são poliméricos orgânicos, sintéticos ou semissintéticos, originados de monômeros derivados de petróleo e adaptados por meio de aditivos, para obter as propriedades desejadas (Cole et al., 2011; Jefroy et al., 2026). Esses materiais caracterizam-se por grande versatilidade, sendo leves, flexíveis, duráveis e resistentes à degradação. Essas propriedades os tornaram essenciais para diversos usos, especialmente na proteção de produtos por longos períodos, como alimentos e medicamentos (Andrady, 2011; Stoett et al., 2024).

Desde o desenvolvimento do primeiro plástico moderno, a "baquelite", em 1907, (Napper; Thompson, 2020), várias técnicas de fabricação de plástico com baixo custo foram otimizadas diversificando seus usos (Andrady; Neal, 2009). Embora os benefícios sociais do plástico sejam reconhecidos por diversos setores, os seus resíduos geram grande preocupação ambiental, visto que sua resistência à degradação torna seu descarte problemático (Barnes et al., 2009; Jefroy et al., 2026).

Atualmente, a maior parte dos resíduos plásticos é destinada a aterros sanitários, usinas de incineração ou são descartados de forma inadequada, o que torna a poluição plástica um desafio ambiental global urgente (Borrelle et al., 2017; Napper; Thompson, 2019; Dokl, 2024). Por meio do descarte inadequado de resíduos, os plásticos podem ser transportados para o ambiente marinho através de sistemas de drenagem urbana, efluentes e vias navegáveis (Alencar et al., 2023). Esses materiais podem sofrer fragmentação pela combinação de diversos fatores físicos, químicos e biológicos, que impulsionam o processo de intemperismo, alterando sua estrutura, modificando as propriedades e promovendo a formação de partículas mais frágeis e cada vez menores (Barnes et al., 2009; Olivatto et al., 2018; Mazzoli et al., 2026).

O termo "microplásticos" foi difundido a partir de 2004 para descrever pequenas partículas não biodegradáveis acumuladas no oceano (Napper; Thompson, 2020). Esses materiais podem ser classificados como primários, quando fabricados em tamanhos reduzidos para usos específicos, como cosméticos e secundários quando originados da fragmentação de plásticos maiores (Cole et al., 2011; Sumaway et al., 2025).

De modo geral, os detritos plásticos podem ser definidos de acordo com seu tamanho (diâmetro) em macroplásticos, mesoplásticos, microplástico e nanoplástico, sendo os microplásticos (MP) as partículas de dimensões inferiores a 5 mm (Thompson et al., 2004; GESAMP, 2019; Jefroy et al., 2026). Além da classificação por tamanho, as partículas plásticas podem ser categorizadas com base em sua forma, estrutura, cor e tipo de polímero (GESAMP, 2019; Lima; Costa; Barletta, 2014; Lorenzi et al., 2020; Lusher et al., 2020).

Os MPs são direcionados para o meio ambiente de diversas formas, fontes terrestres predominam em áreas urbanas, escoamento de águas pluviais e locais próximos a saídas de rios (Ryan et al., 2009; Aquino et al., 2026). No ambiente marinho, destacam-se os resíduos da atividade pesqueira, da operação e manutenção de embarcações, exploração offshore de petróleo e gás, assim como de equipamentos oceanográficos e meteorológicos (Andrady, 2011; MEPEX, 2016; IMO, 2019; GESAMP; 2021). Adicionalmente, os MPs podem ser dispersos pela atmosfera (Zhang et al., 2020; Qayoom et al., 2025).

Estima-se que a emissão de plástico por ano no oceano proveniente das bacias hidrográficas mundiais chegue a 2,75 milhões de toneladas (Alencar et al., 2023), contribuindo para a distribuição desses materiais, inclusive para áreas remotas do planeta, como regiões polares isoladas, ilhas desabitadas e fossas oceânicas profundas (Trindade et al., 2023; Ginige; Warden; Kaksonen, 2026).

A poluição plástica ameaça diretamente a biodiversidade (Justino et al., 2021; Pal, et al., 2025), quando os organismos confundem as partículas plásticas com alimento ou ficam presos em seus detritos, ou indiretamente, por meio do acúmulo de plástico nas teias alimentares, levando ao aumento da toxicidade em níveis tróficos superiores (Miller; Hamann; Kroon, 2020). Tais fatores podem resultar prejuízos na capacidade de fuga, predação ou migração, gerando danos físicos graves, ou morte (Napper; Thompson, 2020).

A ingestão é considerada a principal via de absorção de MP na biota marinha (Lundebye; Lusher; Bank, 2021). Entretanto, esses materiais também podem ser absorvidos pela respiração através das brânquias e transferidos para os ovos em peixes (Watts et al., 2016; Pitt et al., 2018; Foley et al., 2018; Banaee et al., 2025). Após ingeridos, os MPs causam lesões digestivas, diminuindo a eficiência predatória ou induzindo efeitos tóxicos e atuam como vetores de contaminantes, como poluentes orgânicos persistentes (POPs) ou metais pesados, podendo ser bioacumulados e biomagnificados na cadeia alimentar (Justino et al., 2021; Qayoom et al., 2025).

A bioacumulação refere-se à absorção líquida de um contaminante, como MPs ou aditivos, a partir do meio ambiente, por todas as rotas possíveis e de qualquer fonte (Miller; Hamann; Kroon, 2020). Por outro lado, a biomagnificação refere-se ao aumento na concentração do contaminante em um organismo em comparação à concentração presente em sua presa (Farrell; Nelson, 2013; Miller; Hamann; Kroon, 2020).

Nesse contexto, a contaminação por microplástico em peixes pode acarretar impactos ecológicos e socioeconômicos (Banaee et al., 2025), uma vez que indivíduos doentes terão menos chances de se reproduzir (Kibria, 2023; Liu et al., 2024), o que pode afetar comunidades

que tem o pescado como principal fonte de proteína (Aquino et al., 2026).

Diante disso, percebe-se que a poluição plástica não é apenas um problema ambiental ou econômico, mas também está vinculado à justiça ambiental e social, uma vez que sua redução beneficia comunidades vulneráveis e promove acesso a um meio ambiente saudável para todos (Stoett et al., 2024). Logo é fundamental que possa ser considerada dentro dos compromissos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Stoett; Vince, 2019; Stoett et al., 2024).

Assim, estudos sobre a qualidade ambiental dos ecossistemas e dos alimentos provenientes de locais potencialmente contaminados são fundamentais para avaliar a segurança dos alimentos disponíveis à população, uma vez que evidências demonstram que os microplásticos geram preocupações para a segurança alimentar e a saúde humana (Zhang et al., 2022; Dzierżyński et al., 2024) estando associados a inflamação, estresse oxidativo, apoptose, homeostase metabólica, defeitos congênitos, danos gastrointestinais, danos cerebrais e câncer (Samandra et al., 2022; Sumaway et al., 2025).

Nesse sentido, a segurança alimentar refere-se à situação em que todas as pessoas possuem acesso físico, social e econômico a alimentos em quantidade suficiente, seguros e nutritivos, capazes de atender às suas necessidades e preferências para uma vida ativa e saudável (FAO, 2017), sendo fundamental avaliar os ecossistemas que sustentam esses recursos e integrar diferentes abordagens metodológicas de pesquisa (Kumar et al., 2021; Sigmund et al., 2023).

A realização de estudos sobre a contaminação de organismos aquáticos por partículas plásticas tem se destacado nas últimas décadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, (e.g. Bugoni, Krause, Petry, 2001; Ivar do Sul; Costa; Fillmann, 2014; Justino et al., 2023; Belli et al., 2024; Ferreira; Souza Azevedo, 2024). Contudo no estado do Maranhão ainda há uma lacuna de pesquisa, com poucos trabalhos abordando a contaminação por microplásticos (e.g. Pegado et al., 2021; Queiroz et al., 2022; Carvalho et al. 2025).

O Golfão Maranhense localizado na região central da costa do Maranhão, compreende um complexo sistema costeiro (Silva et al., 2018), tendo as baías de São Marcos e de São José como destaque, tanto por serem desaguadouros dos maiores rios do estado, quanto pela densidade das atividades humanas, movimentação de cargas e circulação de riquezas (Feitosa, 2006; Cassia, 2023). No centro desse sistema fica a Ilha de São Luís, a zona mais urbanizada do litoral maranhense (Pereira et al., 2016).

Esse ecossistema abriga espécies vegetais e animais adaptadas a condições ambientais dinâmicas e desempenha papel fundamental nas atividades de navegação, transporte,

agricultura, pesca, recreação e turismo. No entanto, os serviços ecossistêmicos fornecidos por esses ambientes são impactados pela poluição, com o plástico destacando-se como um dos principais poluentes (Mendes et al., 2024).

Diante disso, torna-se essencial integrar diferentes abordagens para compreensão dos problemas associados à poluição por microplásticos, avaliar tendências, realizar avaliações de risco e verificar lacunas do conhecimento (Wagner et al., 2014; Hartmann et al., 2019; Jefroy et al., 2026). Dessa forma, este estudo investigou a ocorrência de microplásticos em ambientes aquáticos brasileiros, incluindo os aspectos metodológicos empregados em sua identificação, a contaminação no trato gastrointestinal e músculo de peixes do Golfão Maranhense, Maranhão, Brasil, e a percepção ambiental de comunidades pesqueiras acerca da poluição microplástica em ecossistemas costeiros.

I. PROBLEMAS DA PESQUISA

- A distribuição geográfica e as temáticas abordadas em publicações sobre microplástico no Brasil ocorrem de modo uniforme?
- Diante dos diferentes níveis de urbanização e industrialização, há diferença na contaminação por microplásticos em peixes das baías de São Marcos e São José?
- Há diferenças na percepção ambiental das comunidades das baías de São Marcos e São José?

II. HIPÓTESES

- Os estudos sobre microplásticos no Brasil apresentam concentração espacial em regiões litorâneas, predominância de investigações em ambientes marinhos e ausência de padronização metodológica na coleta, processamento e identificação de partículas.
- A contaminação por microplásticos em peixes das baías de São Marcos e São José varia em função das diferenças nos níveis de urbanização e influência portuária entre as áreas estudadas.
- As comunidades pesqueiras das baías de São Marcos e São José, apresentam diferenças na percepção ambiental acerca da contaminação por microplásticos nos ambientes costeiros.

III. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Investigar a ocorrência de microplástico em ambientes aquáticos brasileiros, sua presença em tecidos de peixes das baías de São Marcos e São José e a percepção ambiental de comunidades pesqueiras sobre a poluição microplástica em ecossistemas costeiros.

Objetivos Específicos

- Caracterizar através de uma revisão sistemática as publicações relacionadas a ocorrência de microplásticos no Brasil e as abordagens metodológicas empregadas;
- Verificar a presença de microplásticos no trato gastrointestinal e no músculo de espécies de peixes encontrados nas baías de São Marcos e São José;
- Identificar os tipos de microplásticos ingeridos pelos peixes analisados;
- Avaliar a percepção das comunidades das baías de São Marcos e São José em relação a degradação do ecossistema costeiro decorrente da presença de microplásticos.

IV. CAPÍTULO 1: Microplásticos em ambientes aquáticos do Brasil: uma revisão sistemática dos padrões metodológicos aplicados à coleta, processamento e identificação

Microplastics in aquatic environments of Brazil: a systematic review of methodological standards applied to collection, processing, and identification

Danielle de Jesus Silva^{a,b*}, Daniella Patrícia Brandão Silveira^{a,c}, Danielle Viana Mendes^{a,b}, Scarlleth Patricia Salomão da Silva^{a,b}, Graziela Santos Leite^a, Beatriz Câmara Xavier^a, João Marcelo da Silva Abreu^d, José de Ribamar Pinheiro Júnior^e, Antonio Carlos Leal de Castro^{a,b}, James Werllen de Jesus Azevedo^{a,b}, Marcelo Henrique Lopes Silva^{a,b}

^aLaboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros, Departamento de Oceanografia e Limnologia. (LABIRPesq), Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil. E-mail: danielle.viana@discente.ufma.br (DVM), scarlleth.patricia@discente.ufma.br (SPSS), graziela.leite@discente.ufma.br (GSZ), beatriz.camara@discente.ufma.br (BCX).

^bPrograma de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, Universidade Federal do Maranhão. E-mail: alec@ufma.br (ACLC), james.werllen@ufma.br (JWJA), marcelo.silva@ufma.br (MHLS).

^c Programa de Doutorado em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil. E-mail: daniella.silveira@ufma.br (DPBS)

^dLaboratório de Ecologia e Sistemática de Peixes (LABESP), Departamento de Biologia, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil. E-mail: joaabreu@hotmail.com (JMSA)

^ePrograma de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: pinheirojosejr@gmail.com (JRPJ)

* Autor correspondente: E-mail: daniellej.silva@hotmail.com (DJS)

RESUMO

A poluição plástica é uma das principais ameaças ambientais globais, sendo os microplásticos (MPs) um dos contaminantes mais preocupantes, devido à sua ampla distribuição e potencial impacto na saúde ambiental e humana. Apesar do crescente número de publicações sobre a ocorrência de microplástico, ainda há lacunas no entendimento sobre a ocorrência e caracterização desses poluentes. Diante disso, esse estudo realizou uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar e analisar publicações científicas sobre a presença de microplásticos em ambientes aquáticos brasileiros, incluindo água, sedimentos e biota, além das abordagens metodológicas utilizadas. A busca foi realizada nas bases Web of Science, Scopus e SciELO, considerando o período de 2020 a 2024 e utilizando critérios de inclusão e exclusão específicos. Foram identificados 1.124 trabalhos, dos quais 90 atenderam aos critérios para análise. Os resultados revelaram que as pesquisas ocorrem em todas as regiões do Brasil, com concentração de estudos em ambientes marinhos e escassez de dados integrados entre os compartimentos ambientais. Destaca-se a necessidade de padronização das metodologias empregadas, especialmente quanto às técnicas de digestão, identificação e quantificação das partículas. Adicionalmente, a inclusão de tecidos comestíveis nas análises, como o músculo de peixes, é essencial para a avaliação da segurança alimentar.

Palavras-chave: Água, Biota, Microplástico, Poluição plástica marinha, Sedimentos

ABSTRACT

Plastic pollution is one of the leading global environmental threats, with microplastics (MPs) standing out as particularly concerning contaminants due to their widespread distribution and potential impacts on both environmental and human health. Despite the growing number of publications reporting the presence of microplastics, significant gaps remain in our understanding of their occurrence and characterization. In light of this, the present study conducted a systematic literature review aimed at identifying and analyzing scientific publications addressing the presence of microplastics in Brazilian aquatic environments—including water, sediments, and biota—as well as the methodological approaches employed. The literature search was carried out using the Web of Science, Scopus, and SciELO databases, covering the period from 2020 to 2024 and applying specific inclusion and exclusion criteria. A total of 1,124 studies were identified, of which 90 met the criteria for analysis. The findings revealed that research has been conducted across all regions of Brazil, with a higher

concentration of studies focused on marine environments. The results showed that studies have been conducted across all regions of Brazil, with a clear concentration in marine environments and a lack of integrated data among environmental compartments. The need for methodological standardization is evident, particularly regarding digestion procedures and the identification and quantification of particles. In addition, the inclusion of edible tissues in analytical procedures, such as fish muscle, is essential for assessing food safety.

Keywords: Biota, Marine plastic pollution, Microplastics, Sediments, Water

1 Introdução

A produção global de plásticos tem crescido exponencialmente nas últimas décadas, atingindo aproximadamente 400 milhões de toneladas em 2022 (Houssini et al., 2025). Apesar dos avanços tecnológicos e das políticas ambientais em curso, a taxa global de reciclagem permanece estagnada em cerca de 9%, indicando que a maior parte do material produzido ainda é destinada à incineração, aterros sanitários ou permanece inadequadamente gerenciada (Houssini et al., 2025). Projeções indicam que o uso global de plásticos, estimado em 464 milhões de toneladas em 2020, poderá alcançar aproximadamente 884 milhões de toneladas até 2050 (Dokl et al., 2024), intensificando as pressões sobre ecossistemas terrestres e aquáticos.

Entre os contaminantes ambientais emergentes associados à poluição plástica, destacam-se os microplásticos, definidos como partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 mm. Essas partículas têm sido detectadas em oceanos, rios, águas subterrâneas, solos, atmosfera e organismos aquáticos, evidenciando ampla dispersão ambiental (Dehaut et al., 2019; Wootton et al., 2021; Chia et al., 2022; Belli et al., 2024; Dzierżyński et al., 2024).

Desde os primeiros registros científicos de detritos plásticos em ambientes marinhos na década de 1970 (Rochman, 2018), o número de publicações relacionadas à ocorrência e aos impactos dos microplásticos tem aumentado de forma significativa. Nos últimos anos, observa-se intensificação das investigações em diferentes compartimentos ambientais, incluindo água, sedimentos e biota, bem como ampliação das abordagens analíticas empregadas.

Apesar desse avanço quantitativo e técnico, a literatura recente ainda apresenta elevada heterogeneidade metodológica. Diferenças nos protocolos de amostragem, nos procedimentos de digestão química, nas técnicas de separação por densidade, nos métodos de identificação polimérica e nas formas de expressar os resultados dificultam a comparabilidade entre estudos. Além disso, variações nos critérios de classificação das partículas, como limites de tamanho e categorização morfológica, podem influenciar diretamente as estimativas de abundância e

composição (Hartmann et al., 2019; Chia et al., 2022; Belli et al., 2024).

No contexto brasileiro, a produção científica sobre microplásticos tem crescido de forma consistente nos últimos anos, acompanhando a tendência internacional. Entretanto, ainda não há uma síntese crítica recente que avalie de forma sistemática as abordagens metodológicas adotadas nos estudos conduzidos no país, especialmente no que se refere à padronização dos procedimentos e à consistência dos dados reportados.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo conduzir uma revisão sistemática da literatura sobre microplásticos em ambientes aquáticos no Brasil, publicada entre 2020 e 2024, com foco na análise dos padrões metodológicos empregados na coleta, processamento, identificação e quantificação das partículas, buscando identificar convergências, variações e lacunas nos protocolos utilizados.

2 Material e Métodos

2.1 Estratégia de busca e bases de dados

O processo de seleção dos estudos seguiu as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021; Haddaway et al., 2022), metodologia amplamente reconhecida pela promoção de transparência, reprodutibilidade e rigor metodológico. Essa abordagem permite critérios claros de inclusão e exclusão, a realização de buscas bibliográficas abrangentes e a extração de dados de forma sistemática. (Dinku et al., 2025). Além disso, o PRISMA constitui uma estrutura padronizada que fornece um conjunto mínimo de itens baseados em evidências para o relato multidisciplinar em revisões sistemáticas e meta-análises (Moher et al., 2009; Gusenbauer and Gauster, 2025).

A presente revisão sistemática foi conduzida com o objetivo de identificar e analisar estudos desenvolvidos no Brasil envolvendo a ocorrência de microplásticos em ambientes aquáticos, abrangendo os compartimentos água, sedimento e biota. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science e SciELO, selecionadas por sua ampla cobertura da produção científica internacional e nacional, bem como pela disponibilidade de mecanismos de busca avançada e exportação padronizada de registros bibliográficos completos.

O período considerado compreendeu janeiro de 2020 a dezembro de 2024, de modo a contemplar a fase mais recente da produção científica brasileira sobre microplásticos. Foram incluídos exclusivamente artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, redigidos em inglês, sendo excluídos livros, capítulos, dissertações, teses e anais de eventos científicos.

A estratégia de busca foi construída a partir da combinação de descritores relacionados à poluição plástica e aos diferentes grupos taxonômicos e matrizes ambientais investigadas. Foram utilizados os termos “Plastic Pollution”, “Microplastic”, “Brazil”, “Mammals”, “Mammalia”, “Reptiles”, “Reptilia”, “Amphibians”, “Amphibia”, “Birds”, “Aves”, “Fish”, “Invertebrates”, “Sediments”, “Water”, “Estuary”, “Freshwater” e “Marine Water”. As buscas foram realizadas por meio da ferramenta de busca avançada das plataformas, utilizando operadores booleanos AND, OR e NOT.

O operador OR foi empregado para incluir termos sinônimos ou taxonomicamente equivalentes, ampliando a abrangência da busca, enquanto o operador AND foi utilizado para restringir os resultados aos temas de interesse. Para evitar a inclusão de estudos com foco experimental em toxicidade, os termos “Ecotoxicology”, “Genotoxic” e “Toxicity” foram excluídos por meio do operador NOT. Um exemplo de string utilizada foi: “(((ALL=“Plastic Pollution” OR Microplastic)) AND ALL=(Brazil)) AND ALL=(Mammals OR Mammalia)) NOT ALL=(ecotoxicology OR Genotoxic OR Toxicity)”.

2.2 Critérios de elegibilidade e processo de seleção

A busca inicial resultou na identificação de 1.124 registros, sendo 780 provenientes da Scopus, 336 da Web of Science e 8 da SciELO. Após a remoção de 552 registros duplicados, permaneceram 572 estudos para a etapa de triagem. A leitura de títulos e resumos resultou na exclusão de 429 estudos, totalizando 143 artigos elegíveis para a leitura na íntegra.

Na fase de elegibilidade, 53 estudos foram excluídos por envolverem ecotoxicidade experimental, ensaios laboratoriais com microplásticos adicionados artificialmente, estudos fora do Brasil, investigações com organismos oriundo de sistemas artificiais, artigos de revisão ou manuscritos cuja metodologia não permitisse a análise comparativa dos procedimentos empregados.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, 90 artigos atenderam aos critérios estabelecidos e foram incluídos na análise final.

2.3 Extração e organização dos dados

Para cada artigo selecionado, foram extraídas informações relativas ao ano de publicação e ao estado brasileiro onde o estudo foi conduzido, permitindo a análise da distribuição espacial e temporal das pesquisas. Os compartimentos ambientais investigados foram classificados em água, sedimento e biota, sendo este último subdividido de acordo com os grupos taxonômicos analisados.

Foram ainda registrados os métodos empregados na coleta e processamento das amostras, incluindo a presença ou ausência de digestão química e o tipo de reagente utilizado. Também foram avaliadas as características bioecológicas descritas nos estudos envolvendo organismos, como a presença ou ausência de dados sobre comprimento e peso.

Quanto às partículas plásticas, foram compiladas informações sobre cor, forma e, quando disponível, caracterização química dos polímeros. Esses dados foram organizados em planilha para análise descritiva e comparativa, visando identificar padrões recorrentes, lacunas metodológicas e inconsistências relacionadas à padronização dos procedimentos analíticos.

3 Resultados

A estratégia de busca resultou na identificação de 1.124 registros distribuídos entre as bases consultadas. Após a remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de elegibilidade previamente definidos, 90 estudos foram incluídos na análise final.

A produção científica sobre microplásticos em ambientes aquáticos brasileiros apresentou tendência geral de crescimento ao longo do período investigado (Figura 1). Embora os primeiros anos da série mostrem produção relativamente estável, observa-se incremento expressivo a partir de 2021, culminando em pico de publicações em 2023. O ano de 2024 manteve volume elevado de estudos, indicando consolidação recente da temática no cenário nacional.

Esse padrão temporal sugere intensificação do interesse científico na investigação da contaminação por microplásticos no Brasil, possivelmente refletindo tanto a ampliação da preocupação ambiental quanto o avanço das técnicas analíticas disponíveis.

A análise da distribuição geográfica evidenciou que os estudos foram conduzidos em 20 estados brasileiros ao longo do período investigado (Figura 2). A maior concentração de publicações ocorreu no estado do Rio de Janeiro, seguido por Espírito Santo e Pernambuco, que juntos representaram parcela substancial da produção científica nacional.

Estados com menor representatividade incluíram Alagoas, Amapá, Minas Gerais e Rondônia, cada um com apenas um estudo registrado. Não foram identificadas publicações conduzidas no Piauí, Tocantins, Mato Grosso, Goiás, Roraima e Acre durante o período analisado.

Observa-se padrão espacial marcado pela predominância de investigações em estados litorâneos, especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste, enquanto estados do interior apresentaram participação reduzida ou ausência de estudos. Esse gradiente espacial reflete a forte associação entre a temática de microplásticos e ecossistemas costeiros e marinhos no

contexto brasileiro.

A análise dos compartimentos ambientais investigados revelou predominância de estudos conduzidos em ambientes marinhos, seguidos por sistemas dulcícolas e estuarinos (Figura 3). Estudos que integraram simultaneamente ambientes marinho e estuarino, bem como aqueles realizados em ambientes terrestres, foram pouco frequentes ao longo do período analisado.

A distribuição temporal demonstra que investigações em sistemas estuarinos ocorreram de forma relativamente constante entre 2020 e 2024, ainda que com variações anuais na intensidade de publicações. Em contraste, os estudos em ambientes marinhos apresentaram maior variabilidade temporal, com aumento expressivo em 2023, coincidindo com o pico geral de publicações observado na série histórica. Os estudos em ambientes dulcícolas mantiveram ocorrência relativamente estável ao longo dos anos, com menor amplitude de variação quando comparados aos marinhos.

Os estudos realizados em ambientes terrestres surgem apenas no último ano da série, enquanto abordagens integradas envolvendo ambientes marinho-estuarinos ocorreram pontualmente, indicando ainda baixa adoção de estratégias de investigação multicompartimental. Esse padrão reforça a tendência de fragmentação ambiental nas pesquisas nacionais sobre microplásticos.

A análise dos compartimentos ambientais investigados evidencia clara predominância de estudos centrados na biota ao longo de todo o período analisado (Figura 4). Esse padrão manteve-se consistente entre 2020 e 2024, com intensificação particularmente evidente em 2023, ano que concentrou o maior número de investigações com foco exclusivo em organismos aquáticos. A ênfase recorrente na biota indica que a ingestão e a bioacumulação de microplásticos têm sido os principais eixos de investigação no contexto nacional.

Os compartimentos água e sedimentos também foram contemplados de forma recorrente, embora com menor frequência quando comparados à biota. Entre 2020 e 2023, estudos voltados à coluna d'água apresentaram ocorrência ligeiramente superior àqueles focados em sedimentos. Em 2024, observa-se inversão desse padrão, com maior número de investigações direcionadas ao sedimento.

Estudos integrando múltiplos compartimentos ambientais, incluindo combinações entre água, biota e sedimentos, ocorreram de forma pontual ao longo da série temporal, sobretudo entre 2021 e 2023. Embora representem avanço metodológico relevante, essas abordagens permanecem minoritárias, evidenciando predomínio de investigações compartimentalizadas.

Adicionalmente, apenas 17,78% dos estudos incluíram avaliação de padrões sazonais

ao longo do período de amostragem. Esse resultado revela que a maior parte das pesquisas foi baseada em campanhas pontuais ou amostragens de curta duração, limitando a compreensão da variabilidade temporal da contaminação por microplásticos nos ambientes aquáticos brasileiros.

A análise dos procedimentos de coleta revelou elevada heterogeneidade metodológica entre os estudos incluídos (Figura 5). Foram identificados 23 métodos distintos empregados na obtenção de amostras ambientais ou biológicas, evidenciando ausência de padronização na etapa inicial da investigação.

Os métodos mais frequentemente utilizados incluíram técnicas de arrasto, redes de plâncton, moldes de delimitação superficial e redes de emalhar, além da coleta de carcaças e uso de peneiras. Esses procedimentos refletem a predominância de estudos voltados à biota e à amostragem superficial em ambientes costeiros e marinhos.

Por outro lado, diversos métodos foram empregados de forma pontual, incluindo amostradores de núcleo, redes tipo neuston, amostradores de gravidade, filtros GF/F, pesca elétrica, redes de manta e métodos de captura ativa como vara e linha. A baixa recorrência desses procedimentos indica diversidade operacional, porém sem convergência metodológica.

Destaca-se ainda que parte considerável dos estudos não apresentou descrição detalhada do método de coleta empregado, sendo classificados como “não detalhado”. Essa ausência de informação metodológica compromete a reprodutibilidade dos estudos e dificulta a comparabilidade entre investigações.

Observou-se que pouco mais da metade dos estudos empregou digestão química para remoção de matéria orgânica antes da identificação das partículas plásticas. Entre os reagentes utilizados, o peróxido de hidrogênio foi o mais recorrente, seguido pelo hidróxido de potássio. Diferentes combinações de reagentes também foram identificadas, incluindo associações entre peróxido de hidrogênio e cloreto de sódio, bem como hidróxido de potássio combinado a outros agentes.

Por outro lado, parcela expressiva dos estudos não realizou qualquer procedimento de digestão química. A ausência dessa etapa pode influenciar diretamente a eficiência de recuperação das partículas e a acurácia da quantificação, especialmente em matrizes biológicas e sedimentos ricos em matéria orgânica.

A diversidade de reagentes e combinações empregadas, associada à inexistência de protocolo padronizado, evidencia elevada variabilidade metodológica na etapa de processamento das amostras. Essa heterogeneidade compromete a comparabilidade entre estudos e pode gerar diferenças na eficiência de isolamento e caracterização das partículas.

A análise da relação entre matriz amostral e tipo de digestão química revelou diferenças

marcantes entre os compartimentos investigados (Figura 6). Amostras de biota apresentaram maior frequência de análises conduzidas sem etapa prévia de digestão química, sendo a digestão alcalina com KOH a alternativa mais recorrente quando empregada.

Por sua vez, amostras de sedimentos e água, isoladas ou combinadas com biota, estiveram associadas a maior diversidade de reagentes químicos, incluindo o uso de peróxido de hidrogênio e soluções salinas. A ocorrência de combinações entre diferentes reagentes foi mais frequente em estudos integrados que analisaram simultaneamente água, biota e sedimentos.

Esse padrão evidencia que a escolha do protocolo de digestão está fortemente condicionada ao tipo de matriz analisada, porém sem convergência metodológica clara. A variabilidade observada sugere ausência de diretrizes padronizadas para o preparo das amostras, o que pode influenciar a eficiência de recuperação das partículas e comprometer a comparabilidade entre investigações.

A análise das formas de microplásticos identificadas nos estudos revelou predominância clara de fragmentos e fibras, que representaram as categorias mais frequentemente registradas (Figura 7). Outras formas, como pellets, filmes e filamentos, também foram reportadas, embora com frequência substancialmente inferior. Espumas e plásticos rígidos ou macios apareceram de maneira menos recorrente, enquanto parte dos estudos não apresentou detalhamento morfológico das partículas identificadas.

A predominância de fragmentos e fibras pode refletir tanto padrões ambientais associados à fragmentação secundária de resíduos plásticos quanto influências metodológicas decorrentes das técnicas de coleta e processamento empregadas. A ocorrência de categorias menos frequentes, como pellets, pode estar relacionada a fontes específicas de contaminação, incluindo perdas industriais e transporte de resinas plásticas.

Quanto à coloração das partículas (Tabela 2), observou-se maior frequência de registros nas tonalidades azul, preta, vermelha e transparente. Cores como branco e verde também apresentaram ocorrência relevante, enquanto tonalidades como marrom, cinza e classificações genéricas como “colorido” foram menos frequentemente reportadas. Parte dos estudos não realizou avaliação cromática das partículas, o que evidencia variação nos critérios de caracterização visual adotados.

A diversidade de categorias morfológicas e cromáticas, associada à ausência de padronização na classificação e descrição das partículas, reforça a heterogeneidade metodológica observada na etapa de caracterização física dos microplásticos.

A identificação química dos polímeros foi realizada por diferentes técnicas analíticas,

com predominância da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), seguida por estudos que não reportaram avaliação química das partículas (Figura 8). A espectroscopia Raman também foi empregada, embora com menor frequência, assim como a técnica de Laser Direct Infrared (LDIR) e abordagens combinadas envolvendo múltiplos métodos analíticos.

A proporção significativa de estudos que não realizaram ou não reportaram caracterização polimérica evidencia limitação metodológica relevante, uma vez que a identificação química é etapa fundamental para confirmação da natureza plástica das partículas e diferenciação de materiais não sintéticos.

Entre os estudos que procederam à identificação química, os polímeros mais frequentemente reportados incluíram polietileno, polipropileno, poliamida e polietileno tereftalato. Entretanto, número expressivo de publicações não apresentou detalhamento da composição polimérica, restringindo análises comparativas mais robustas e dificultando a avaliação de padrões de origem e degradação dos materiais.

Entre os estudos que realizaram identificação química das partículas, observou-se predominância de polímeros amplamente utilizados em embalagens e produtos de consumo, com destaque para polietileno (PE), poliamida (PA), polipropileno (PP) e polietileno tereftalato (PET) (Tabela 3). Outros polímeros, como poliestireno, poliéster e poliuretano, também foram reportados, embora com menor frequência relativa.

A diversidade de polímeros identificados reflete múltiplas possíveis fontes de contaminação, incluindo resíduos urbanos, atividades industriais e materiais de pesca. Contudo, número expressivo de estudos não apresentou caracterização polimérica das partículas analisadas. A ausência dessa etapa compromete a confirmação da natureza sintética dos fragmentos e limita análises comparativas sobre origem, degradação e potencial risco ambiental.

Além disso, observa-se ampla dispersão na variedade de polímeros relatados, incluindo materiais menos recorrentes e categorias reportadas pontualmente. Essa variabilidade pode refletir tanto diversidade real das fontes quanto diferenças nos limites de detecção e nas técnicas analíticas empregadas.

3.1 Análise por compartimento ambiental

Os estudos relacionados à ocorrência de microplásticos na água (Quadro S1) foram conduzidos em todas as regiões do Brasil. As regiões Norte e Sul apresentaram maior número

de publicações (n = 5 cada), seguidas pelo Nordeste (n = 4), Sudeste (n = 2) e Centro-Oeste (n = 1). Os estados com maior número de registros foram Rio Grande do Sul e Pará, com três estudos cada.

As investigações na coluna d'água foram distribuídas entre ambientes marinhos, estuarinos e dulcícolas, com maior frequência em sistemas estuarinos. A rede de plâncton foi o método de coleta mais empregado, sendo utilizada em diferentes tipos de ambientes aquáticos. O Amostrador Neuston foi registrado exclusivamente em ambiente marinho. Quanto à caracterização das partículas, 13 estudos (81%) avaliaram a forma dos detritos plásticos e 10 (62%) descreveram as cores. A identificação química dos polímeros foi realizada em 11 estudos (68%).

Os estudos envolvendo sedimentos (Quadro S2) também abrangeram todas as regiões do país, com maior concentração no Nordeste (n = 6), seguido pelas regiões Norte e Sul (n = 4 cada). O ambiente marinho foi o mais representado (n = 6), seguido por estuários (n = 5) e sistemas de água doce (n = 3). A caracterização morfológica foi amplamente reportada, com 12 estudos (92%) avaliando forma e cor das partículas. A identificação química dos polímeros foi realizada em cinco estudos (38%).

Em relação à biota, foram identificados 52 estudos, correspondendo a 57,8% do total de artigos analisados. Os peixes constituíram o grupo mais investigado (n = 28; 54%), seguidos por invertebrados (n = 16; 31%), enquanto répteis (n = 4; 7%), aves (n = 3; 6%) e mamíferos (n = 1; 2%) apresentaram menor representatividade (Figura 9). Quanto ao ambiente de ocorrência, observou-se predominância de estudos conduzidos em sistemas marinhos (n = 21; 40%) (Quadro S3), seguidos por ambientes dulcícolas (n = 16; 31%) e estuarinos (n = 13; 25%), ao passo que ambientes terrestres foram pouco explorados (n = 2; 4%). Medidas biométricas dos organismos foram reportadas em 38 estudos (73%), indicando que parte expressiva das pesquisas incorporou análises morfométricas associadas à ocorrência de microplásticos.

Entre os estudos relacionados à biota, 27 (51,9%) não utilizaram qualquer tipo de digestão química para o processamento das amostras. Entre os 25 estudos que adotaram digestão química, a solução de hidróxido de potássio (KOH) foi a mais empregada (n = 10), seguida por peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (n = 7) e hidróxido de sódio (NaOH) (n = 6). Outros reagentes foram utilizados de forma pontual, aparecendo apenas uma vez cada.

No grupo dos invertebrados (n = 16), 50% dos estudos foram conduzidos em ambientes marinhos, 25% em estuários, 18,75% em água doce e 6,25% em ambiente terrestre. Os moluscos constituíram o grupo mais investigado (n = 6), seguidos por crustáceos (n = 3), cnidários e zooplâncton (n = 2 cada), enquanto os demais grupos foram representados por

apenas um estudo. A maior concentração geográfica ocorreu no Espírito Santo ($n = 5$), seguido por Pernambuco e São Paulo ($n = 3$ cada). Todos os estudos com invertebrados descreveram a forma e a cor dos detritos plásticos, e 62,5% ($n = 10$) empregaram técnicas de identificação de polímeros.

Entre os insetos, apenas um estudo foi identificado, conduzido em ambiente terrestre e voltado à detecção de microplásticos em abelhas, com base em protocolo experimental previamente estabelecido.

No grupo dos vertebrados, os peixes representaram a maior proporção de estudos ($n = 28$). A maioria foi realizada em ambientes dulcícolas ($n = 13$), seguida por estuarinos ($n = 8$) e marinhos ($n = 7$), com registros em todas as regiões do Brasil, especialmente nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Nenhum estudo avaliou a presença de microplásticos no tecido muscular. Aproximadamente 90% das investigações concentraram-se exclusivamente no trato gastrointestinal, 3,7% analisaram apenas as brânquias, e os demais avaliaram ambos os tecidos simultaneamente. O método de captura mais utilizado foi o arrasto ($n = 8$), seguido por redes de emalhar ($n = 7$) e redes de espera ($n = 5$). Desembarque pesqueiro foi citado em três estudos, enquanto aquisição em feiras foi registrada uma única vez. A maioria dos trabalhos descreveu forma (92%) e cor (85%) das partículas, e 67% utilizaram técnicas analíticas para identificação de polímeros.

Para a herpetofauna, foram identificados quatro estudos, todos relacionados à tartaruga marinha *Chelonia mydas*, abrangendo áreas das regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Os espécimes foram obtidos por meio de coleta de carcaças em praias marinhas e estuarinas. Nenhum estudo empregou digestão química do trato digestório, e dois utilizaram peneiras com diferentes malhas para isolamento das partículas. Observou-se heterogeneidade nos critérios de classificação morfológica dos detritos, com diferentes referências adotadas entre os estudos. Não foram identificadas pesquisas envolvendo anfíbios.

Em relação à avifauna ($n = 3$), os estudos abrangeram ambientes marinhos e terrestres nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. As amostras foram obtidas a partir de carcaças coletadas em praias ou de fauna atropelada. Nenhum estudo utilizou digestão química, sendo empregadas peneiras de diferentes malhas para separação das partículas. Apenas um estudo descreveu as cores das partículas, e somente um realizou identificação de polímeros por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Também foi observada variação nos critérios de classificação morfológica dos detritos entre os trabalhos.

Apenas um estudo foi identificado para mamíferos marinhos, conduzido no estado do Ceará com *Sotalia guianensis*. Os espécimes foram obtidos por coleta de carcaças, e as amostras

foram submetidas à digestão química com KOH. Forma e cor das partículas foram descritas, e os polímeros identificados por Laser Direct Infrared Analysis (LDIR), incluindo poliuretano (PUR) e polietileno tereftalato (PET). Não foi observada variação significativa na ocorrência de microplásticos entre as estações do ano.

Foram identificados nove estudos que avaliaram simultaneamente múltiplos compartimentos ambientais (Quadro S4). Entre eles, três contemplaram análises integradas de água, peixes e sedimentos; três abordaram conjuntamente água e sedimentos; dois investigaram água e invertebrados, sendo um com moluscos e outro com anelídeos; e apenas um avaliou sedimentos e invertebrados (moluscos).

A distribuição regional dessas publicações evidencia forte concentração na região Sudeste ($n = 5$; 56%), com predominância do estado do Rio de Janeiro ($n = 4$; 44%) e um estudo no Espírito Santo ($n = 1$; 11%). A região Sul respondeu pelos demais estudos ($n = 4$; 44%), distribuídos entre Rio Grande do Sul ($n = 2$; 22%) e Paraná ($n = 1$; 11%), além de um estudo adicional envolvendo área costeira sul-sudeste conforme descrito no Quadro 4.

Quanto ao ambiente investigado, observou-se clara predominância de sistemas marinhos ($n = 7$; 78%), enquanto ambientes estuarinos e dulcícolas foram representados por apenas um estudo cada (11%). Diferentemente do padrão observado em estudos isolados por compartimento, todos os trabalhos integrados empregaram técnicas analíticas para identificação de polímeros e descreveram características morfológicas das partículas, incluindo forma, cor e tipo de polímero, indicando maior robustez metodológica nesse subconjunto de publicações.

4 Discussão

A sistematização das publicações brasileiras sobre microplásticos evidencia expansão quantitativa recente da produção científica. Entretanto, esse crescimento ocorre sob forte concentração temática e espacial em ambientes marinhos, reproduzindo um viés estrutural já identificado por Castro et al. (2018) e reafirmado por Ferreira and Azevedo (2024). Tal concentração revela que a agenda nacional permanece predominantemente costeira, limitando a compreensão integrada dos fluxos continentais e terrestres. Essa assimetria não é apenas geográfica, mas conceitual, pois reforça uma abordagem compartimentalizada da poluição plástica, dissociando sistemas fluviais, solos e ambientes terrestres dos processos de transporte e deposição que culminam nos ambientes costeiros.

A baixa frequência de estudos que integrem simultaneamente água, sedimentos e biota restringe a análise de conectividade entre compartimentos ambientais, dificultando a compreensão dos mecanismos de retenção, ressuspensão, transferência trófica e potencial

bioacumulação. A menor ênfase atribuída aos sedimentos é particularmente preocupante, uma vez que esse compartimento atua como reservatório ambiental e arquivo deposicional de microplásticos (Turra et al., 2014). A ausência recorrente de descrição da profundidade amostral compromete a comparabilidade entre estudos e introduz incertezas relevantes na interpretação das concentrações reportadas, especialmente em ambientes sujeitos a dinâmica sedimentar intensa.

A distribuição geográfica das publicações evidencia concentração no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Pernambuco, corroborando levantamentos anteriores (Castro et al., 2018; Escrobot et al., 2024; Ferreira and Azevedo, 2024). Embora tal padrão possa refletir maior infraestrutura científica e disponibilidade de financiamento, ele também revela desigualdade regional na produção de conhecimento. A ausência de estudos em estados como Tocantins, Mato Grosso, Goiás, Roraima e Acre, majoritariamente inseridos na Bacia Amazônica, representa lacuna estratégica. Considerando o papel da Amazônia como sistema hidrológico de escala continental e potencial vetor de transporte de microplásticos (Dos Santos Silva et al., 2024; De Melo et al., 2025; Moraes et al., 2024; Ferreira and Azevedo, 2024), essa ausência limita a inserção do Brasil nas discussões globais sobre exportação fluvial de poluentes plásticos para o oceano.

A reduzida incorporação de análises sazonais, presente em apenas 17,78% dos estudos, revela limitação metodológica significativa. Evidências indicam que regimes hidrológicos e padrões sazonais influenciam a carga, composição e degradação de microplásticos (Lin et al., 2023; Prata et al., 2020). Embora Castro et al. (2020) não tenham identificado variações temporais significativas em determinados contextos, a ausência de séries temporais robustas no Brasil impede inferências generalizáveis. A heterogeneidade metodológica, associada à diversidade de técnicas de coleta e unidades de medida (Silva et al., 2018; Castro et al., 2020), amplia a incerteza comparativa e reforça a necessidade de harmonização (Serra-Gonçalves et al., 2019; Belli et al., 2024).

No âmbito laboratorial, a predominância de digestão química com KOH e H₂O₂ está alinhada a protocolos amplamente utilizados (Karami et al., 2017; Huang et al., 2024; Belli et al., 2024; Di Fiore et al., 2024). Contudo, a variação nos parâmetros operacionais compromete a reprodutibilidade e pode gerar diferenças substanciais na eficiência de recuperação de partículas. A elevada proporção de estudos baseados exclusivamente em triagem visual direta constitui fonte adicional de viés, especialmente para partículas <1 mm, podendo resultar em subestimação sistemática (Avio et al., 2015; Huang et al., 2024). Assim, parte das diferenças observadas entre estudos pode refletir artefatos metodológicos, e não necessariamente variações

ambientais reais.

A predominância de fibras e fragmentos, consistente com padrões nacionais e internacionais (Costa et al., 2023; Belli et al., 2024; De Melo et al., 2025), sugere influência combinada de efluentes domésticos, desgaste têxtil e fragmentação secundária de macrolásticos (Horton et al., 2017; Syversen and Lilleng, 2022; Bel Hasssen et al., 2025). Entretanto, a inferência de fontes permanece limitada quando não acompanhada de caracterização polimérica robusta. Embora mais da metade dos estudos tenha utilizado FTIR ou μ -Raman, cerca de 37% não realizaram identificação espectroscópica, o que reduz a confiabilidade na atribuição de origem e compromete análises comparativas globais (Käppler et al., 2016; Di Fiore et al., 2024; Belli et al., 2024).

No que se refere à biota, a predominância de peixes e moluscos confirma seu papel como bioindicadores (Multisanti et al., 2022; Schuab et al., 2023a; Belli et al., 2024; Rafa et al., 2024). Entretanto, a concentração das análises no trato gastrointestinal limita a avaliação de transferência para tecidos comestíveis. A ausência de estudos envolvendo músculo de peixes representa lacuna relevante sob a perspectiva de exposição humana. Revisões internacionais apontam tendência semelhante (Prokić et al., 2021; Daniel et al., 2020), indicando que a questão permanece subexplorada globalmente, apesar de sua relevância para segurança alimentar.

A dependência de carcaças em estudos com herpetofauna, avifauna e mamíferos, frequentemente vinculados ao Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (De Farias et al., 2023; Gomes et al., 2024; Vanstreels et al., 2021; Baes et al., 2024), demonstra que a produção científica nesses grupos está fortemente condicionada a programas de licenciamento ambiental. Esse padrão sugere que parte do conhecimento disponível decorre de exigências regulatórias, e não de planejamento científico sistemático. Além disso, registros envolvendo macrodetritos em odontocetos e pinípedes (Padula et al., 2023; De Lima et al., 2024) indicam que a investigação de microplásticos ainda é incipiente nesses grupos.

A negligência de ecossistemas terrestres (Horton et al., 2017; De Melo et al., 2025) amplia a lacuna de compreensão sobre exposição indireta e potenciais riscos à saúde humana (Prokić et al., 2021). Considerando que espécies sem valor econômico direto desempenham funções ecológicas essenciais (Smith et al., 2018), a ausência de dados limita avaliações ecossistêmicas integradas.

Em síntese, embora a produção científica brasileira sobre microplásticos tenha avançado numericamente, persistem limitações estruturais relacionadas à padronização metodológica, integração multicompartimental e cobertura espacial. O fortalecimento qualitativo dessa agenda requer harmonização de protocolos, ampliação de séries temporais e incorporação de

abordagens sistêmicas capazes de integrar processos físicos, químicos e biológicos em diferentes escalas ambientais.

5 Conclusão

A síntese das publicações brasileiras sobre microplásticos no período analisado evidencia avanço quantitativo da produção científica, porém acompanhado de assimetrias metodológicas e lacunas estruturais relevantes. A heterogeneidade nos protocolos de digestão química, nos critérios de identificação polimérica e na quantificação das partículas compromete a comparabilidade dos dados em escala regional e nacional, reforçando a necessidade de harmonização metodológica.

Embora microplásticos tenham sido registrados em todos os compartimentos ambientais avaliados, a produção científica permanece concentrada em ambientes aquáticos, especialmente marinhos. A limitada integração entre água, sedimentos e biota, bem como a escassez de estudos em ecossistemas terrestres, restringe a compreensão sistêmica da dinâmica ambiental desses poluentes.

Adicionalmente, a predominância de análises focadas no trato gastrointestinal, sem investigação de tecidos comestíveis como o músculo de peixes, evidencia lacuna crítica sob a perspectiva de segurança alimentar e exposição humana. O fortalecimento de abordagens padronizadas, integradas e multicompartimentais é, portanto, essencial para ampliar a robustez científica das investigações e subsidiar avaliações mais consistentes sobre os riscos ambientais e potenciais impactos à saúde.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos membros do LABIRPesq pelo apoio prestado ao longo do desenvolvimento das pesquisas. Agradecem igualmente à equipe da Agregar Ambiental pelo incentivo e suporte técnico. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFMA).

FINANCIAMENTO

Este estudo foi financiado pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

Referências

- AVIO, Carlo Giacomo; GORBI, Stefania; REGOLI, Francesco. Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. **Marine environmental research**, v. 111, p. 18-26, 2015.
- BAES, Laura et al. Beached seabirds as plastic biomonitors in Brazil from the Beach Monitoring Project of the Santos Basin (PMP-BS). **Marine Pollution Bulletin**, v. 199, p. 115847, 2024.
- BEL HASSEN, Malika et al. Plastics pollution: pathways, impacts, and regulatory challenges in marine environments. **Frontiers in Environmental Science**, v. 13, p. 1635230, 2025.
- BELLI, Igor Marcon et al. A review of plastic debris in the South American Atlantic Ocean coast – Distribution, characteristics, policies and legal aspects. **Science of the Total Environment Elsevier B.V.**, 15 ago. 2024.
- CASTRO, Rebeca Oliveira et al. Spatio-temporal evaluation of macro, meso and microplastics in surface waters, bottom and beach sediments of two embayments in Niterói, RJ, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111537, 2020.
- CASTRO, Rebeca Oliveira; DA SILVA, Melanie Lopes; DE ARAÚJO, Fábio Vieira. Review on microplastic studies in Brazilian aquatic ecosystems. **Ocean & Coastal Management**, v. 165, p. 385-400, 2018.
- CHIA, Rogers Wainkwa et al. Errors and recommended practices that should be identified to reduce suspected concentrations of microplastics in soil and groundwater: a review. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 102933, 2022.
- COSTA, Leonardo Lopes et al. Multiple species ingest microplastic but few reflect sediment and water pollution on sandy beaches: A baseline for biomonitoring. **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, p. 115235, 2023.
- DANIEL, Damaris Benny; ASHRAF, P. Muhamed; THOMAS, Saly N. Microplastics in the edible and inedible tissues of pelagic fishes sold for human consumption in Kerala, India. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115365, 2020.
- DE FARIAS, Daniel Solon Dias et al. The use of an alimentary index to assess anthropogenic debris on green turtles (*Chelonia mydas*). **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, p. 115184, 2023.
- DE LIMA, Renan C. et al. Feeding habits of South American and sub-Antarctic fur seals during their nonbreeding season in the southwestern Atlantic Ocean. **Marine Mammal Science**, v. 40, n. 1, p. 26-53, 2024.

- DE MELO, Jéssica Fernandes et al. Plastic pollution in the Amazon: The first comprehensive and structured scoping review. **Ambio**, p. 1-16, 2025.
- DEHAUT, Alexandre; HERMABESSIERE, Ludovic; DUFLOS, Guillaume. Current frontiers and recommendations for the study of microplastics in seafood. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 116, p. 346-359, 2019.
- DI FIORE, Cristina; ISHIKAWA, Yukari; WRIGHT, Stephanie L. A review on methods for extracting and quantifying microplastic in biological tissues. **Journal of Hazardous Materials**, v. 464, p. 132991, 2024.
- DOKL, Monika et al. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. **Sustainable Production and Consumption**, v. 51, p. 498–518, 2024.
- DOS SANTOS SILVA, Jackiely et al. Microplastic pollution in the Amazon Basin: Current scenario, advances and perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 946, p. 174150, 2024.
- DINKU, David Edem et al. Microplásticos em sedimentos de água doce africanos: uma revisão sistemática de características, abundância e métodos analíticos. **Cleaner Water**, v. 4, p. 100095, 2025.
- DZIERŻYŃSKI, Eliaz et al. Microplastics in the Human Body: Exposure, Detection, and Risk of Carcinogenesis: A State-of-the-Art Review. **Cancers Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)**, 1 nov. 2024.
- ESCROBOT, Márcia et al. Microplastics in Brazilian coastal environments: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 59, p. e1719-e1719, 2024.
- FERREIRA, Leticia Carneiro; AZEVEDO, Juliana Souza. What do we know about plastic pollution in Brazilian aquatic ecosystems? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 14, p. 22119–22130, 1 mar. 2024.
- GOMES, Beatriz Guimarães et al. Assessment of the ingestion of anthropogenic debris by green turtles along the south-central coast of Rio de Janeiro, Brazil. **Ocean and Coastal Research**, v. 72, 2024.
- GUSENBAUER, Michael; GAUSTER, Sebastian P. How to search for literature in systematic reviews and meta-analyses: A comprehensive step-by-step guide. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 212, p. 123833, 2025.
- HADDAWAY, Neal R. et al. PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. **Campbell systematic reviews**, v. 18, n. 2, p. e1230, 2022.

- HARTMANN, Nanna B. et al. Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. **Environmental Science and Technology**, v. 53, n. 3, p. 1039–1047, 2019.
- HORTON, Alice 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.
- HOUSSINI, Khaoula; LI, Jinhui; TAN, Quanyin. Complexities of the global plastics supply chain revealed in a trade-linked material flow analysis. **Communications Earth & Environment**, v. 6, n. 1, p. 257, 2025.
- HUANG, Meina et al. Microplastics analysis: from qualitative to quantitative. **Environmental Science: Advances**, 2024.
- KÄPPLER, Andrea et al. Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both?. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 408, n. 29, p. 8377-8391, 2016.
- KARAMI, Ali et al. A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. **Science of the total environment**, v. 578, p. 485-494, 2017.
- LIN, Chun-Ting; CHIU, Ming-Chih; KUO, Mei-Hwa. Seasonality can override the effects of anthropogenic activities on microplastic presence in invertebrate deposit feeders in an urban river system. **Journal of Hazardous Materials**, v. 443, p. 130272, 2023.
- MOHER, D. L. A. T. et al. Group, TP, & the PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097.
- MORAIS, Leonardo Mario Siqueira et al. Microplastics in the Amazon biome: State of the art and future priorities. **Heliyon**, v. 10, n. 7, 2024.
- MULTISANTI, Cristiana Roberta et al. Sentinel species selection for monitoring microplastic pollution: A review on one health approach. **Ecological Indicators**, v. 145, p. 109587, 2022.
- PADULA, Antonella Daira et al. Marine debris ingestion by odontocete species from the Southwest Atlantic Ocean: absence also matter. **Marine Pollution Bulletin**, v. 186, p. 114486, 2023.
- PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Bmj**, v. 372, 2021.
- PRATA, Joana C. et al. Effects of spatial and seasonal factors on the characteristics and carbonyl index of (micro) plastics in a sandy beach in Aveiro, Portugal. **Science of The Total Environment**, v. 709, p. 135892, 2020.

- PROKIĆ, Marko D. et al. Studying microplastics: Lessons from evaluated literature on animal model organisms and experimental approaches. **Journal of Hazardous Materials**, v. 414, p. 125476, 2021.
- RAFA, Nazifa et al. Microplastics as carriers of toxic pollutants: Source, transport, and toxicological effects. **Environmental Pollution**, v. 343, p. 123190, 2024.
- ROCHMAN, C. M. Microplastics research—from sink to source. **Science**, v. 360, n. 6384, p. 28-29, 2018.
- SCHUAB, João Marcos et al. First record of microplastic in the Brazilian sea hare *Aplysia brasiliana* Rang, 1828 (Mollusca: Aplysiidae). **Science of The Total Environment**, v. 895, p. 165156, 2023a.
- SERRA-GONÇALVES, Catarina; LAVERS, Jennifer L.; BOND, Alexander L. Global review of beach debris monitoring and future recommendations. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 21, p. 12158-12167, 2019.
- SILVA, Ana B. et al. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. **Analytica Chimica acta**, v. 1017, p. 1-19, 2018.
- SMITH, Madeleine et al. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current environmental health reports*, v. 5, n. 3, p. 375-386, 2018.
- SOUZA, Laís A. et al. Occurrence and contents of trace metals and rare earth elements on plastic pellets. **Marine Pollution Bulletin**, v. 185, p. 114261, 2022.
- SYVERSEN, Tore; LILLENG, Grethe. Microplastics derived from commercial fishing activities. **Advances and Challenges in Microplastics**, p. 1-19, 2022.
- TURRA, Alexander et al. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p. 4435, 2014.
- VANSTREELS, Ralph Eric Thijl et al. Ingestion of plastics and other debris by coastal and pelagic birds along the coast of Espírito Santo, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 113046, 2021.
- WOOTTON, Nina; REIS-SANTOS, Patrick; GILLANDERS, Bronwyn M. Microplastic in fish—a global synthesis. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, p. 1-19, 2021.

Lista de Tabelas e Figuras

Tabela IV.1. Frequência dos métodos de digestão química empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.

Tipo de digestão química	Número	Frequência
Sem digestão química	37	41,1%
H ₂ O ₂	15	16,7%
KOH	11	12,2%
NaCl	6	6,7%
NaOH	6	6,7%
H ₂ O ₂ ; NaCl	8	8,9%
KOH; NaCl	2	2,2%
KOH; NaCl; H ₂ O ₂	1	1,1%
NaCl; ZnCl ₂	1	1,1%
ZnCl ₂ ; H ₂ O ₂	1	1,1%
Pool digestion	1	1,1%
Vários reagentes	1	1,1%

Tabela IV.2. Frequência das cores de microplásticos reportadas nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).

Cor	Quantidade
Azul	68
Preto	52
Vermelho	44
Transparente	46
Branco	40
Verde	29
Amarelo	18
Sem avaliação	14
Rosa	8
Marrom	5
Cinza	3
Colorido	2

Tabela IV.3. Tipos de polímeros identificados nos estudos incluídos na revisão sistemática. Os valores correspondem ao número de publicações que reportaram cada polímero.

Tipo de polímero	Quantidade
Polietileno (PE)	38
Sem avaliação	33
Poliamida (PA)	30
Polipropileno (PP)	27
Polietileno Tereftalato (PET)	21
Poliestireno (PS)	12
Poliéster	12
Poliuretano (PUR)	11
Cloreto de polivinila	9
Álcool polivinílico (PVA)	6
Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)	5
Polimetilmetacrilato (PMMA)	3
Polibutadieno (PB)	3
Policloreto de vinila não plastificado (uPVC)	3
Polietileno clorado (CPE)	3
EVA - Acetato de Etileno Vinila	2
Policarbonato (PC)	2
Acetato de celulose	2
Verniz alquídico (AV)	1
Dispersão de resina (RD)	1
Tereftalato de poliéster (PEsT)	1
Borracha de estireno-butadieno (SBR)	1

Figura IV.1. Evolução anual das publicações sobre microplásticos em ambientes aquáticos brasileiros incluídas na revisão sistemática (2020–2024).

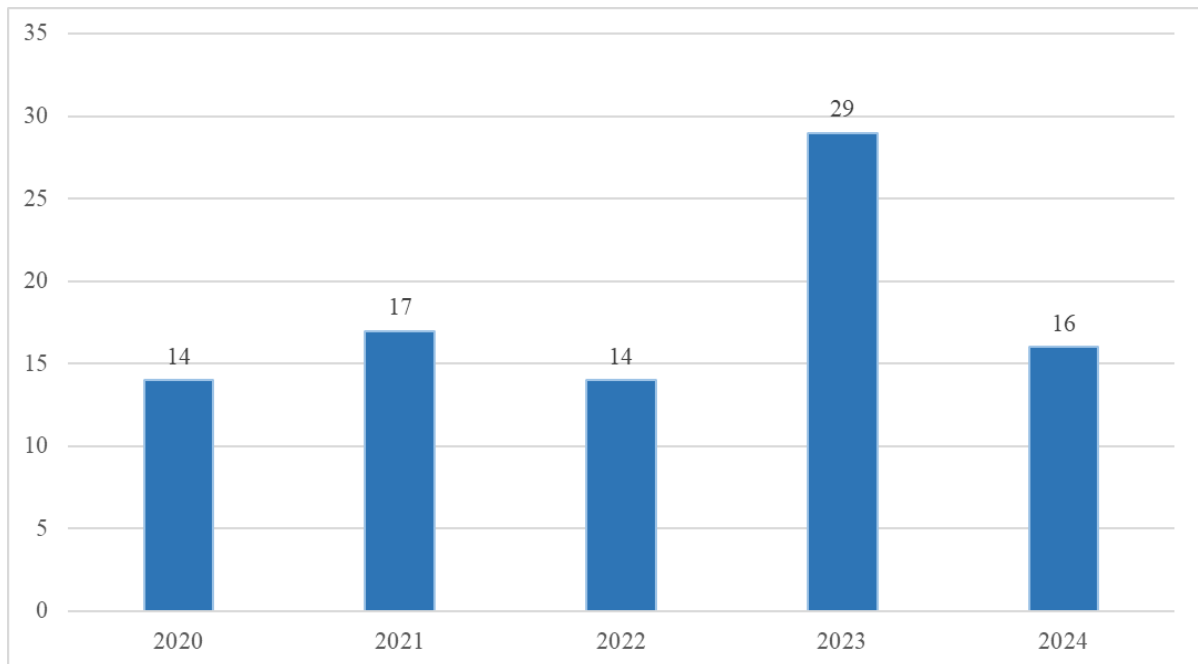


Figura IV.2. Distribuição espacial das publicações sobre microplásticos em ambientes aquáticos no Brasil (2020–2024).

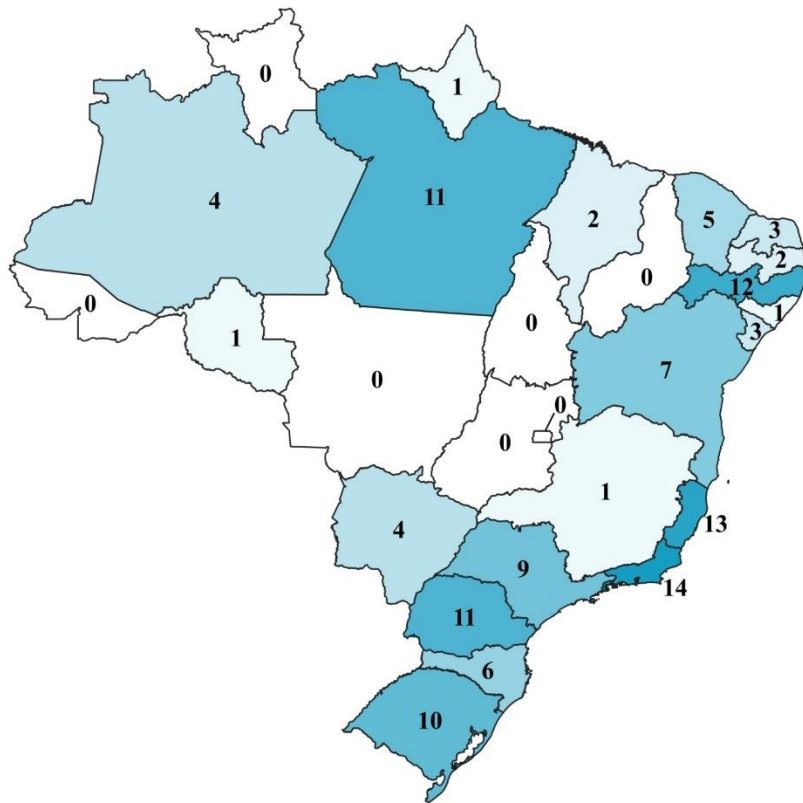


Figura IV.3. Frequência de ocorrência dos ambientes aquáticos investigados nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).

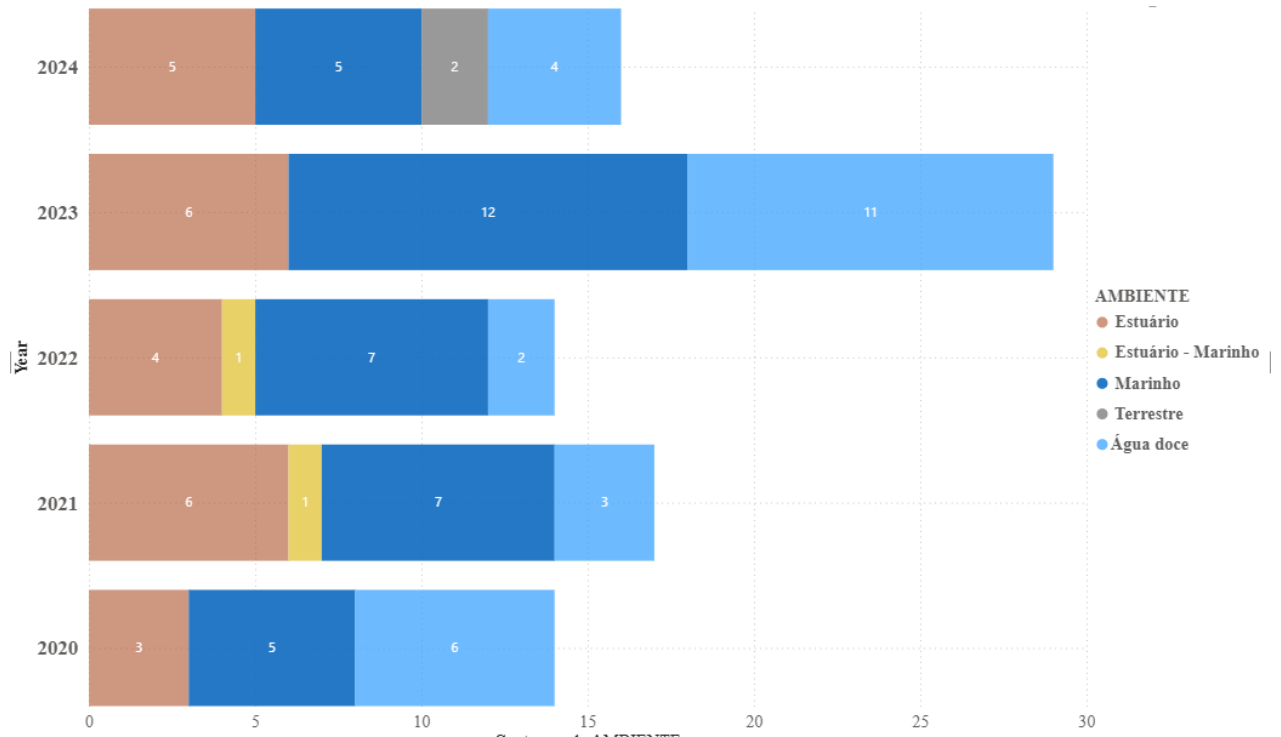


Figura IV.4. Frequência anual dos compartimentos ambientais analisados nos estudos incluídos na revisão sistemática (2020–2024).

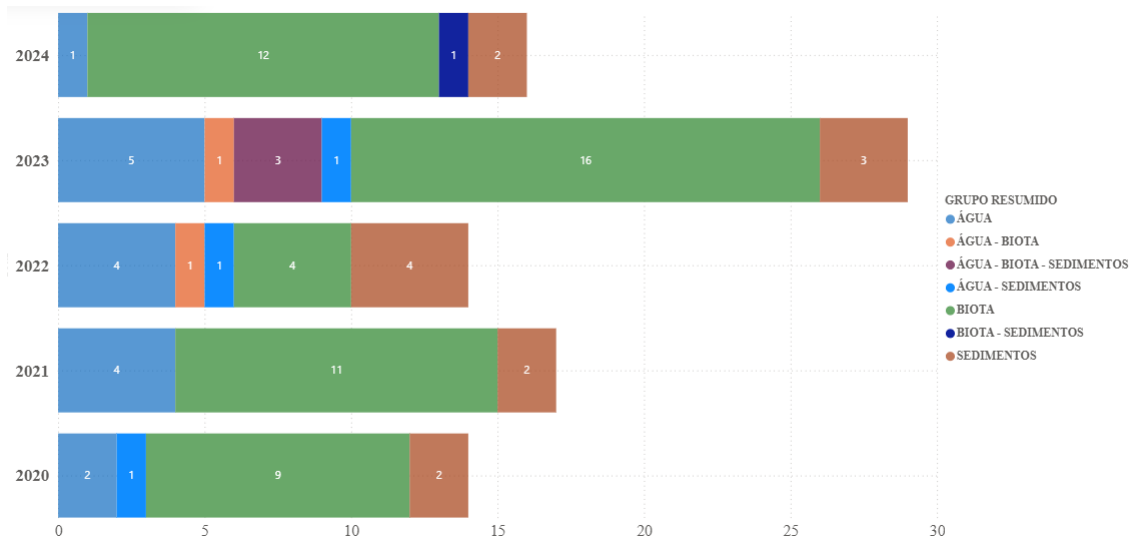


Figura IV.5. Frequência de ocorrência dos métodos de coleta empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.

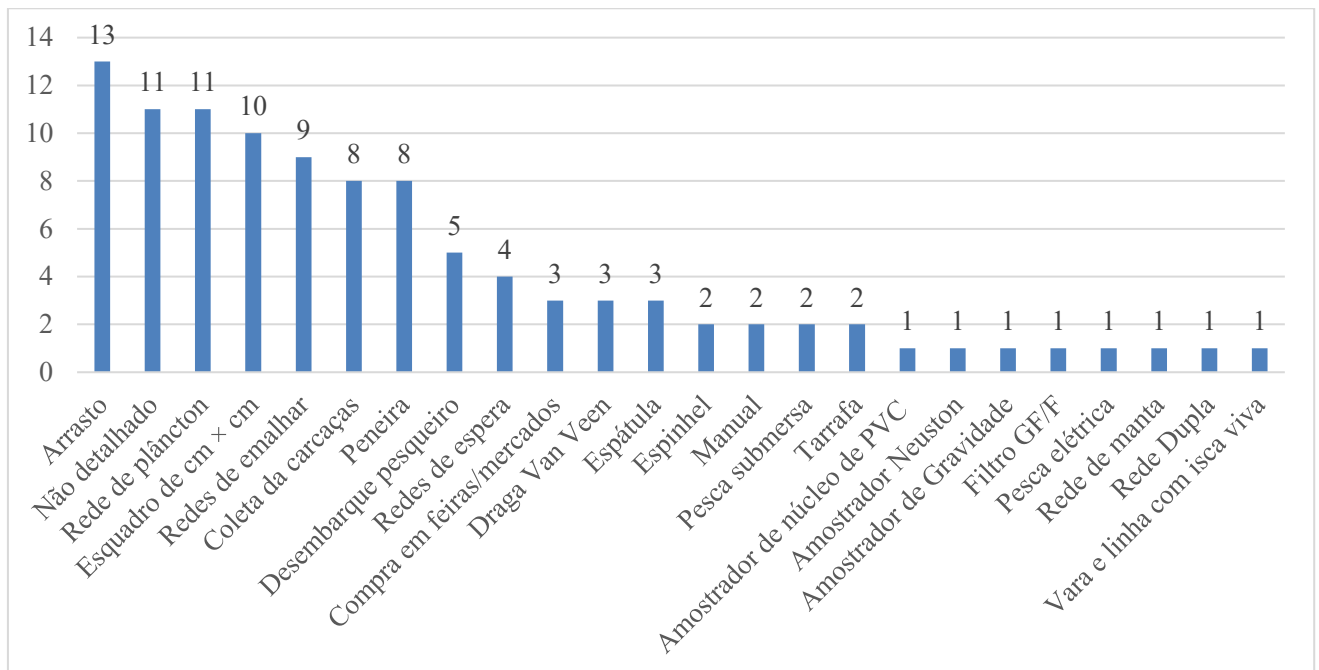


Figura IV.6. Relação entre matriz ambiental e tipos de digestão química empregados nos estudos incluídos na revisão sistemática.

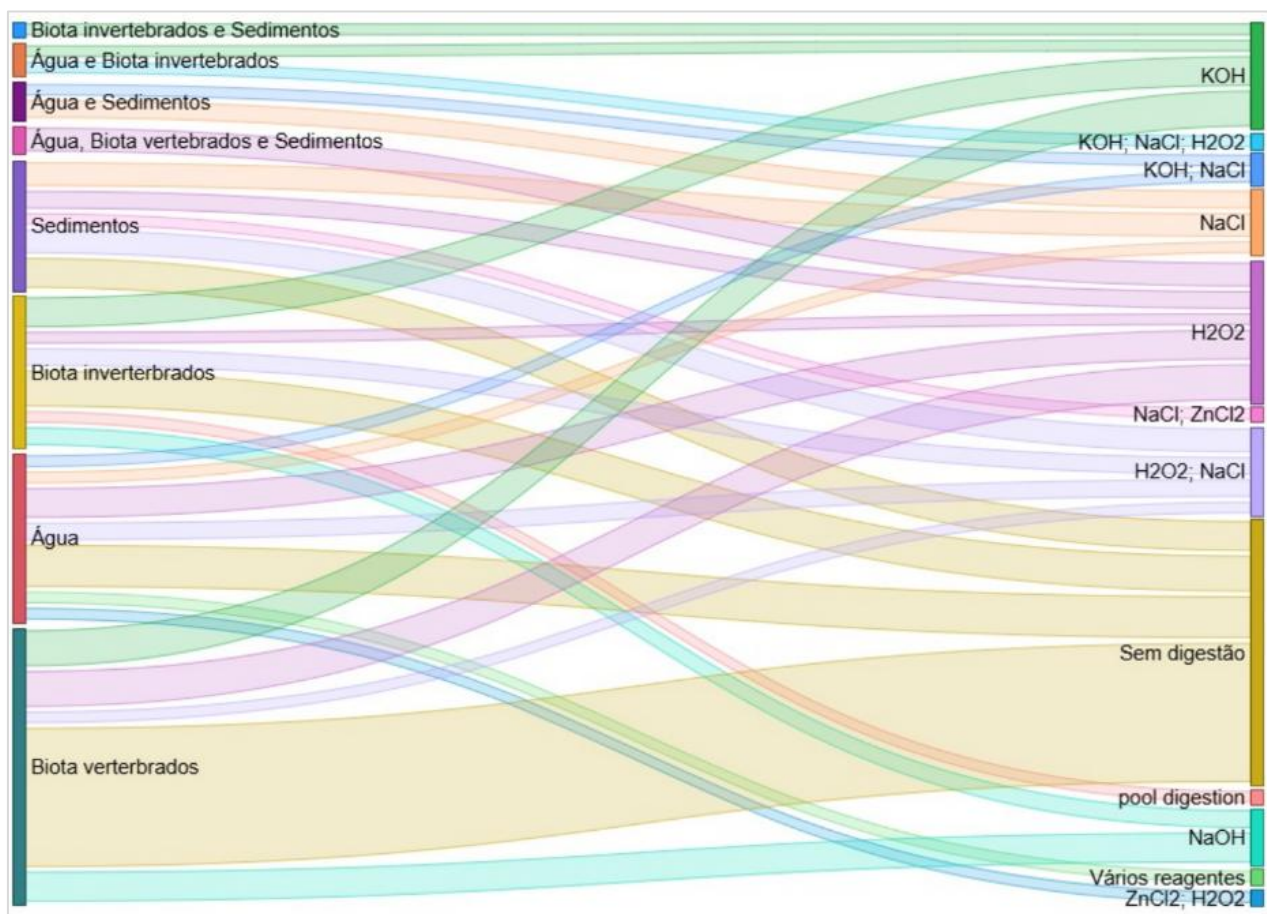


Figura IV.7. Frequência das formas de microplásticos reportadas nos estudos incluídos na revisão sistemática.

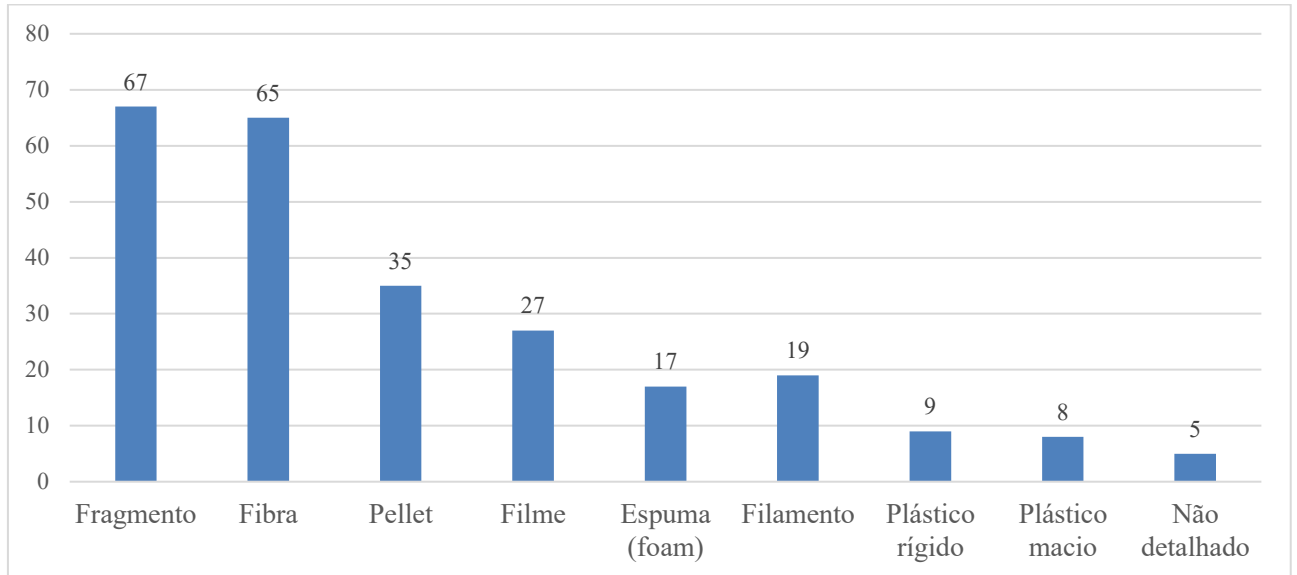


Figura IV.8. Frequência das técnicas de identificação química empregadas nos estudos incluídos na revisão sistemática.

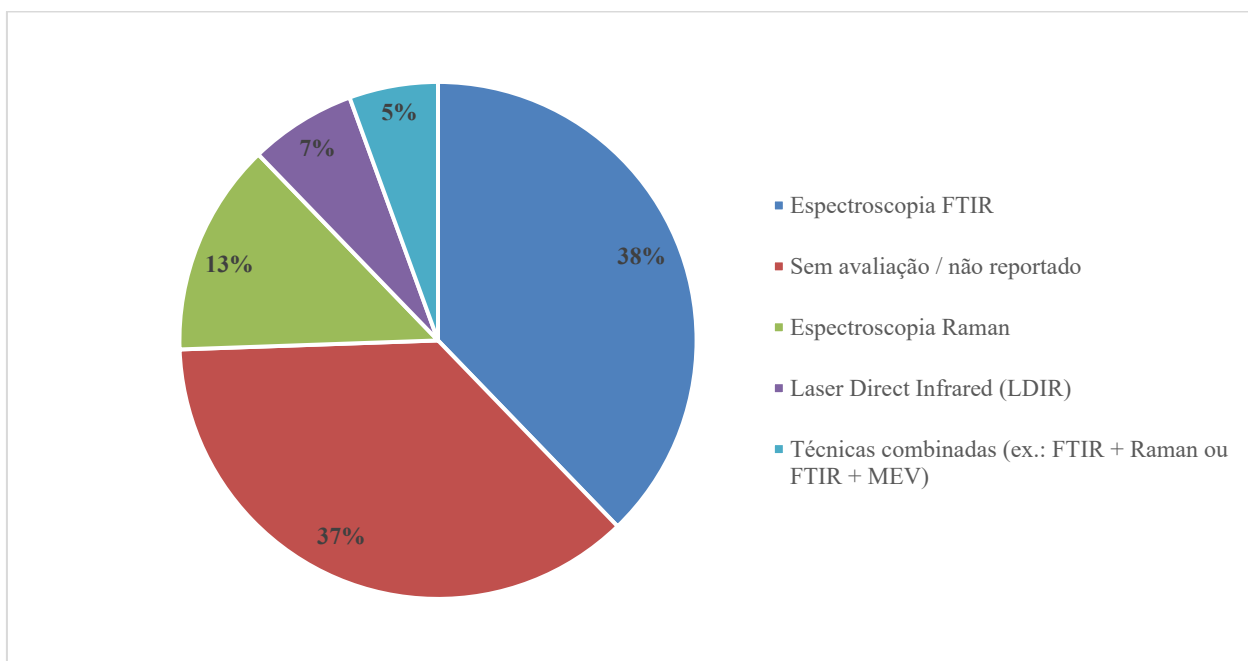
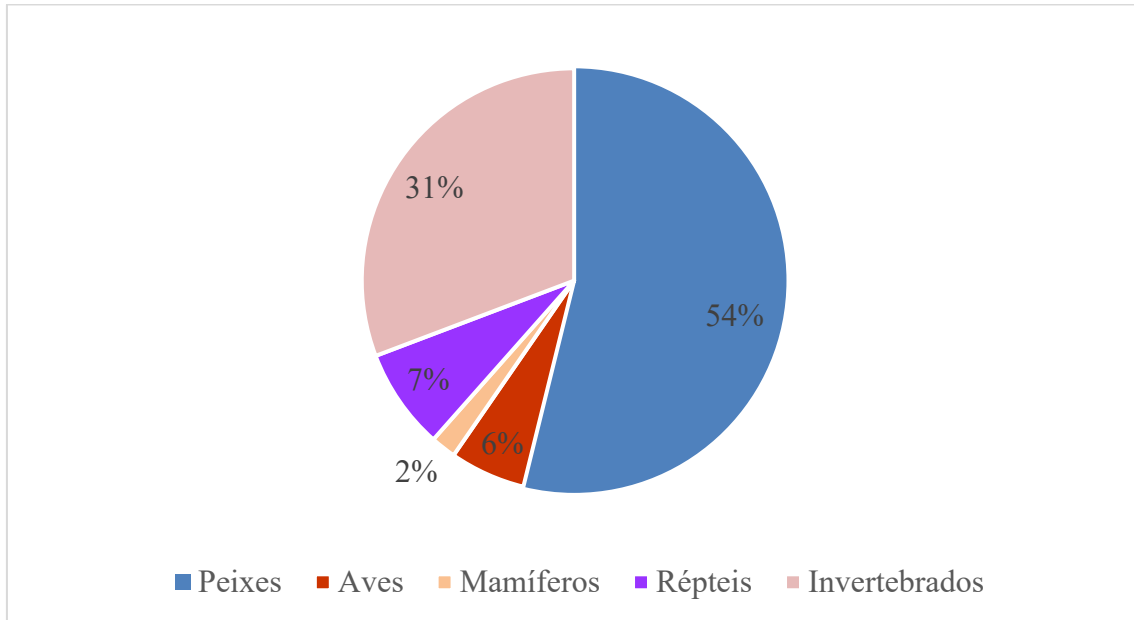


Figura IV.9. Distribuição percentual dos grupos da biota avaliados nos estudos incluídos na revisão.



Material suplementar

Material suplementar 1. Quadro de 1- 4

Quadro 1. Análise das publicações relacionadas a ocorrências de microplástico no meio aquático.

Compartimento ambiental	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Técnica para identificação do polímero	Forma do Plástico	Cor	Autor
Água	Água doce	RS	Sul	Não detalhado	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Bertoldi; Lara; Fernandes (2023)
Água	Água doce	RS	Sul	Rede de plâncton - Peneira	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Bertoldi et al. (2021)
Água	Água doce	MG - MS	Sudeste / Centro-Oeste	Rede de plâncton	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	De Faria et al. (2022)
Água	Água doce	AM	Norte	Peneira	Espectroscopia FTIR	Não detalhado	Sem avaliação	de Souza; da Silva; de Oliveira (2023)
Água	Estuário	RJ	Sudeste	Não detalhado	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Drabinski et al. (2023)
Água	Água doce	RS	Sul	Manual	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Ferraz et al. (2020)
Água	Marinho	AM - PA	Norte	Rede de plâncton	Sem avaliação	Sim	Sim	Garcia et al. (2020a)
Água	Estuário	SC	Sul	Rede de plâncton	Espectroscopia FTIR	Sim	Sem avaliação	Lorenzi et al. (2021)
Água	Estuário	PA	Norte	Rede de plâncton	Espectroscopia FTIR Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Mendes et al. (2024a)
Água	Estuário	SC	Sul	Rede de plâncton	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Monteiro et al. (2022)

Compartimento ambiental	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Técnica para identificação do polímero	Forma do Plástico	Cor	Autor
Água	Marinho	MA - PA	Nordeste/Norte	Rede de plâncton	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Queiroz et al. (2022)
Água	Estuário	BA	Nordeste	Peneira	Sem avaliação	Sim	Sim	Dos Santos Trindade et al. (2023)
Água	Água doce	MS	Centro-Oeste	Rede de plâncton	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	De Faria et al. (2021)
Água	Estuário – Marinho	PE	Nordeste	Rede de plâncton	Sem avaliação	Sim	Sim	Lins-Silva et al. (2021)
Água	Marinho	CE	Nordeste	Amostrador Neuston	Espectroscopia FTIR Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Nolasco et al. (2022)
Água	Estuário	PA	Norte	PENEIRA	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Santos et al. (2023)

Quadro 2. Análise das publicações relacionadas a ocorrências de microplástico em sedimento.

Compartimento ambiental	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Técnica para identificação do polímero	Forma do Plástico	Cor	Autor
Sedimentos	Água doce	MS	Centro-Oeste	Esquadro de cm × cm	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Camargo et al. (2022)
Sedimentos	Marinho	PE	Nordeste	Esquadro de cm × cm	Sem avaliação	Sim	Sim	Carvalho; Silva; Costa (2021)
Sedimentos	Água doce	AM	Norte	Não detalhado	Sem avaliação	Sim	Sim	de Oliveira; Hattori; Sant'Anna (2023)
Sedimentos	Marinho	BA - ES - RJ - SE	Nordeste / Sudeste	Esquadro de cm × cm	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Maynard et al. (2021)
Sedimentos	Estuário	PARÁ	Norte	Draga Van Veen	Espectroscopia FTIR Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Mendes et al. (2024b)
Sedimentos	Estuário	PR	Sul	Peneira	Sem avaliação	Sim	Sim	Mengatto; Nagai (2022)
Sedimentos	Marinho	PE	Nordeste	Esquadro de cm × cm	Sem avaliação	Sim	Sim	Monteiro; do Sul; Costa (2020)
Sedimentos	Estuário	PA	Norte	Esquadro de cm × cm	Sem avaliação	Sim	Sim	Novaes; Monteiro; Rollnic (2020)
Sedimentos	Estuário - Marinho	BA	Nordeste	Esquadro de cm × cm	Sem avaliação	Sim	Sim	Paes et al. (2022)
Sedimentos	Marinho	AL - BA - CE - ES - MA - PA - PB - PE - PR - RJ - RN - RS - SC - SE - SP	Norte / Nordeste / Sul / Sudeste	Esquadro de cm × cm	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Pegado et al. (2024)
Sedimentos	Água doce	PR	Sul	Não detalhado	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Silva-Cavalcanti et al. (2023)

Compartimento ambiental	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Técnica para identificação do polímero	Forma do Plástico	Cor	Autor
Sedimentos	Estuário	RS	Sul	Amostrador de Gravidade (gravity corer)	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Alves et al. (2023)
Sedimentos	Marinho	BA	Nordeste	Esquadro de cm × cm	Sem avaliação	Sim	Sim	Souza et al. (2022)

Quadro 3. Análise das publicações relacionadas a ocorrências de microplástico na biota.

Grupo	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Identificação do polímero	Forma do plástico	Cor	Autor
Peixes	Estuário	RJ	Sudeste	Arrasto - Compra em feiras/mercados - Redes de emalhar	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Alves; Figueiredo (2023)
Aves	Marinho	PR - RJ - SC - SP	Sul - Sudeste	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Baes et al. (2024)
Peixes	Estuário	RJ	Sudeste	Desembarque Pesqueiro	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Batalha et al. (2024)
Aves	Terrestre	SE	Nordeste	Coleta de carcaças	Espectroscopia FTIR	Não detalhado	Sem avaliação	Bomfim et al. (2024)
Invertebrados - Moluscos	Estuário	PE	Nordeste	Desembarque Pesqueiro	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Bruzaca et al. (2022)
Peixes	Marinho	BA - RJ - RN	Nordeste - Sudeste	Pesca Submersa	Sem avaliação	Sim	Sim	Cardozo-Ferreira et al. (2021)
Peixes	Água doce	RO	Norte	Arrasto	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Da Costa, et al. (2023)
Invertebrados - Crustáceos	Água doce	SP	Sudeste	Peneira	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Da Cruz et al. (2024)
Peixes	Estuário	SC	Sul	Arrasto	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Dantas et al. (2024)
Peixes	Marinho	CE	Nordeste	Arrasto	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Dantas et al. (2020)
Peixes	Estuário	PB	Nordeste	Arrasto	Sem avaliação	Sim	Sim	De Amorim; Ramos; Nogueira (2020)
Peixes	Água doce	AM	Norte	Compra em feiras/mercados	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	De Azevedo et al. (2024)
Peixes	Água doce	SP	Sudeste	Redes de espera	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	De Paiva et al. (2024)
Invertebrados - Moluscos	Marinho	PE	Nordeste	Arrasto	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Ferreira et al. (2022)

Grupo	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Identificação do polímero	Forma do plástico	Cor	Autor
Peixes	Marinho	PE	Nordeste	Arrasto	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Ferreira et al. (2023)
Peixes	Água doce	PR	Sul	Pesca Elétrica	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Garcia et al. (2020b)
Invertebrados - Crustáceos	Água doce	AM	Norte	Não detalhado	Espectroscopia FTIR Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Guimaraes et al. (2023)
Peixes	Marinho	PE - PR - RN	Nordeste - Sul	Arrasto	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Justino et al. (2023a)
Peixes	Marinho	PE	Nordeste	Desembarque Pesqueiro	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Justino et al. (2023b)
Peixes	Estuário	PE	Nordeste	Desembarque Pesqueiro	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Justino et al. (2021)
Invertebrados - Plâncton	Estuário	PE	Nordeste	Rede de plâncton	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Lima et al. (2023)
Peixes	Água doce	RJ	Sudeste	Redes de espera	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Lima et al. (2021)
Peixes	Marinho	ES	Sudeste	Pesca Submersa	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Macieira et al. (2021)
Peixes	Estuário	PE	Nordeste	Redes de emalhar	Espectroscopia FTIR Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	Sim	Sim	Melo et al. (2024)
Invertebrados - Cnidários	Estuário	PARÁ	Norte	Espátula	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Morais et al. (2020)
Peixes	Marinho	ES - PR - RJ - RS - SC	Sudeste - Sul	Arrasto - Redes de emalhar - Vara e linha com isca viva	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Neto et al. (2020)
Peixes	Estuário	BA	Nordeste	Desembarque Pesqueiro	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Nunes et al. (2021)
Peixes	Água doce	SP	Sudeste	Redes de espera	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Oliveira; Corrêa; Smith (2020)

Grupo	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Identificação do polímero	Forma do plástico	Cor	Autor
Invertebrados - Plâncton	Água doce	PA	Norte	Arrasto	Sem avaliação	Sim	Sim	Oliveira et al. (2023)
Invertebrados - Moluscos	Marinho	ES	Sudeste	Manual	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Otegui et al. (2024)
Mamíferos	Marinho	CE	Nordeste	Coleta de carcaças	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Pereira et al. (2023)
Peixes	Água doce	PA	Norte	Peneira	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Ribeiro-Brasil et al. (2020)
Invertebrados - Insetos	Terrestre	SP	Sudeste	Não detalhado	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Rodrigues et al. (2024)
Peixes	Água doce	RS	Sul	Redes de emalhar	Sem avaliação	Sim	Sim	Santos et al. (2020)
Invertebrados - Moluscos	Marinho	ES	Sudeste	Não detalhado	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Schuab et al. (2023a)
Peixes	Água doce	PA	Norte	Espinhel - Tarrafa	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Trindade et al. (2023)
Peixes	Água doce	SP	Sudeste	Redes de emalhar	Sem avaliação	Não detalhado	Sim	Urbanski et al. (2020)
Invertebrados - Moluscos	Estuário	PR	Sul	Não detalhado	Sem avaliação	Não detalhado	Sim	Vieira et al. (2021)
Peixes	Água doce	PR	Sul	Redes de emalhar	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Yofukuji et al. (2024)
Invertebrados - Moluscos	Marinho	ES	Sudeste	Compra em feiras/mercados	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Bom; Sá (2022)
Peixes	Água doce	MS	Centro-Oeste	Redes de espera	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Cardozo et al. (2023)
Peixes	Água doce	ES	Sudeste	Redes de emalhar - Tarrafa	Sem avaliação	Não detalhado	Sim	Coelho et al. (2023)
Invertebrados - Annelida	Marinho	ES	Sudeste	Espátula	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Costa et al. (2021)
Repteis	Marinho	CE - RN	Nordeste	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sim	De Farias et al. (2023)
Repteis	Marinho	RJ	Sudeste	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sim	Gomes et al. (2024)

Grupo	Ambiente	Estado	Região	Método para coleta	Identificação do polímero	Forma do plástico	Cor	Autor
Invertebrados - Crustáceos - Peixes	Marinho	SP	Sudeste	Arrasto - Rede Dupla	Sem avaliação	Sim	Sim	Gonçalves et al. (2023)
Repteis	Estuário	PR	Sul	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sim	Nunes; Broadhurst; Domit (2021)
Invertebrados - Cnidários	Marinho	ES	Sudeste	Peneira	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Otegui et al. (2023)
Peixes	Estuário	MA	Nordeste	Espinhel - Redes de emalhar	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Pegado et al. (2021)
Repteis	Marinho	RS	Sul	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sim	Petry et al. (2021)
Invertebrados - Porifera	Marinho	BA	Nordeste	Não detalhado	Espectroscopia Raman	Sim	Sem avaliação	Soares et al. (2022)
Aves	Marinho	ES	Sudeste	Coleta de carcaças	Sem avaliação	Sim	Sim	Vanstreels et al. (2021)

Quadro 4. Análise das publicações relacionadas a ocorrências de microplástico em estudos integrados.

Grupo	Ambiente	Estado	Região	Método para Coleta	Técnica usada de Identificação do Polímero	Forma do Plástico	Tipo de Polímeros	Cor	Autor
Água - Invertebrados - Moluscos	Marinho	ES	Sudeste	Não detalhado	Sem avaliação	Sim	Sem avaliação	Sim	Bom; De Brito; Sá (2022)
Água - Sedimentos	Marinho	RJ	Sudeste	Draga Van Veen - Rede de plâncton - Esquadro de cm × cm	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Castro et al. (2020)
Água - Peixes - Sedimentos	Marinho	RJ	Sudeste	draga van veen - redes de emalhar - rede de manta	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Costa; Costa; Zalmon (2023)
Água - Peixes - Sedimentos	Marinho	RJ	Sudeste	Arrasto	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Costa et al. (2023a)
Água - Sedimentos	Água doce	PR	Sul	Esquadro de cm × cm- peneira	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Garello et al. (2023)
Invertebrados - Moluscos - Sedimentos	Marinho	RS	Sul	Não detalhado	Laser Direct Infrared analysis (LDIR)	Sim	Sim	Sim	Jankauskas et al. (2024)
Água - Sedimentos	Estuário	RS	Sul	Amostrador de núcleo de PVC - Filtro GF/F acoplado a uma seringa	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Pinheiro et al. (2022)
Água - Annelida - Invertebrados	Marinho	ES	Sudeste	Espátula	Espectroscopia Raman	Sim	Sim	Sim	Schuab et al. (2023b)
Água - Peixes - Sedimentos	Marinho	RJ	Sudeste	Arrasto	Espectroscopia FTIR	Sim	Sim	Sim	Costa et al. (2023b)

Material suplementar 2. Referências utilizadas nos quadros 1-4

ALVES, F. L. et al. The use of microplastics as a reliable chronological marker of the Anthropocene onset in Southeastern South America. **Science of the Total Environment**, v. 857, p. 159633, 2023.

ALVES, Vivianne EN; FIGUEIREDO, Gisela M. Assessment of microplastic impacts on whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) and ecosystem services in Guanabara Bay, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v. 106, n. 12, p. 2177-2192, 2023.

BAES, Laura et al. Beached seabirds as plastic biomonitors in Brazil from the Beach Monitoring Project of the Santos Basin (PMP-BS). **Marine Pollution Bulletin**, v. 199, p. 115847, 2024.

BATALHA, Daniele C. et al. How are plastic debris affecting the diet of the whitemouth croaker in the Southeastern Brazilian Bight?. **Regional Studies in Marine Science**, v. 75, p. 103567, 2024.

BERTOLDI, Crislaine et al. First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 759, p. 143503, 2021.

BERTOLDI, Crislaine; LARA, Larissa Z.; FERNANDES, Andreia N. Revealing microplastic dynamics: the impact of precipitation and depth in urban river ecosystems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 51, p. 111231-111243, 2023.

BOM, Fabio Cavalca; DE BRITO, Wilson Vítor Ferreira; SÁ, Fabian. Microplastics concentration in bivalve of economic importance, a case study on the southeastern Brazilian coast. **Regional Studies in Marine Science**, v. 52, p. 102346, 2022.

BOM, Fabio Cavalca; SÁ, Fabian. Are bivalves a source of microplastics for humans? A case study in the Brazilian markets. **Marine Pollution Bulletin**, v. 181, p. 113823, 2022.

BOMFIM, Douglas Aran dos Santos et al. Inorganic contamination in roadkill birds in Northeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 24, p. e20231605, 2024.

BRUZACA, David NA et al. Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 179, p. 113659, 2022.

CAMARGO, Alan Lacerda Gomes et al. Microplastics in sediments of the Pantanal Wetlands, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 1017480, 2022.

CARDOZO, Ana Lúcia Paz et al. Plastic ingestion by carnivore fish in a neotropical floodplain: seasonal and interspecific variations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 14, p. 40712-40723, 2023.

CARDOZO-FERREIRA, Gabriel C. et al. Ecological traits influencing anthropogenic debris ingestion by herbivorous reef fishes. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 717435, 2021.

CARVALHO, Julia PS; SILVA, Thaiane S.; COSTA, Monica F. Distribution, characteristics and short-term variability of microplastics in beach sediment of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, p. 112212, 2021.

CASTRO, Rebeca Oliveira et al. Spatio-temporal evaluation of macro, meso and microplastics in surface waters, bottom and beach sediments of two embayments in Niterói, RJ, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111537, 2020.

COELHO, Paula Nunes et al. Besides mining, dams, non-native species... The ingestion of anthropogenic debris by fishes in the Doce River basin, Southeastern Brazil. **Oecologia Australis**, 2023.

COSTA, Mercia Barcellos et al. Quantitative evaluation of microplastics in colonies of *Phragmatopoma caudata* Krøyer in Mörch, 1863 (Polychaeta-Sabellariidae): Analysis in sandcastles and tissues and identification via Raman spectroscopy. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112127, 2021.

COSTA, Igor David; COSTA, Leonardo Lopes; ZALMON, Ilana Rosental. Are fishes selecting the trash they eat? Influence of feeding mode and habitat on microplastic uptake in an artificial reef complex (ARC). **Science of The Total Environment**, v. 904, p. 166788, 2023.

COSTA, Leonardo Lopes et al. “Microplastic ecology”: testing the influence of ecological traits and urbanization in microplastic ingestion by sandy beach fauna. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 290, p. 108406, 2023a.

COSTA, Leonardo Lopes et al. Multiple species ingest microplastic but few reflect sediment and water pollution on sandy beaches: A baseline for biomonitoring. **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, p. 115235, 2023b.

DA COSTA, Igor David et al. Microplastics in fishes in amazon riverine beaches: Influence of feeding mode and distance to urban settlements. **Science of the Total Environment**, v. 863, p. 160934, 2023.

DA CRUZ, Barbara Regina Fernandes et al. Natural diet of the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) in the Rio Grande, southeastern Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 59, n. 3, p. 931-940, 2024.

DANTAS, David V. et al. Influence of trophic overlaps and trophic niche amplitude on microplastic intake of fish species in shallow areas of a neotropical coastal lagoon. **Science of The Total Environment**, v. 927, p. 172235, 2024.

DANTAS, Natália CFM et al. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, p. 110959, 2020.

DE AMORIM, Ana Luisa Araújo; RAMOS, Jonas AA; JÚNIOR, Miodeli Nogueira. Ingestion of microplastic by ontogenetic phases of *Stellifer brasiliensis* (Perciformes, Sciaenidae) from the surf zone of tropical beaches. **Marine Pollution Bulletin**, v. 158, p. 111214, 2020.

DE AZEVEDO, Isreele Jussara Gomes et al. Microplásticos em bagres *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau 1855) e *Hoplosternum littorale* (Hancock, 1828) comercializados em Itacoatiara, Amazonas, Brasil. **Biologia Ambiental de Peixes**, v. 107, n. 1, p. 107-119, 2024.

DE FARIA, Érika et al. Poluição por microplásticos no pantanal sul-americano. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 3, p. 100088, 2021.

DE FARIA, Érika et al. Microsynthetics in waters of the South American Pantanal. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 878152, 2022.

DE FARIAS, Daniel Solon Dias et al. The use of an alimentary index to assess anthropogenic debris on green turtles (*Chelonia mydas*). **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, p. 115184, 2023.

DE PAIVA, Flavia Conceição et al. Evaluation of Microplastic Pollution in Gills of Freshwater Fish in a Neotropical Hydrographic Basin, Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, n. 10, p. 677, 2024.

DE SOUZA, Gleice Rodrigues; DA SILVA, Neliton Marques; DE OLIVEIRA, Davi Pontes. Longitudinal, vertical, and temporal distribution of microplastics in Igarapé do Mindu in Manaus, Amazonas; Distribuição longitudinal, vertical e temporal de microplásticos no Igarapé do Mindu em Manaus, Amazonas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 28, p. e20220234, 2023.

DOS SANTOS TRINDADE, Laiana et al. Microplastics in surface waters of tropical estuaries around a densely populated Brazilian bay. **Environmental Pollution**, v. 323, p. 121224, 2023.

DRABINSKI, Thiago L. et al. Microplastics in freshwater river in Rio de Janeiro and its role as a source of microplastic pollution in Guanabara Bay, SE Brazil. In: **Micro**. MDPI, 2023. p. 208-223.

FERRAZ, Marlon et al. Microplastic concentrations in raw and drinking water in the Sinos River, Southern Brazil. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3115, 2020.

FERREIRA, Guilherme VB et al. Plastic in the inferno: Microplastic contamination in deep-sea cephalopods (*Vampyroteuthis infernalis* and *Abralia veranyi*) from the southwestern Atlantic. **Marine pollution bulletin**, v. 174, p. 113309, 2022.

FERREIRA, Guilherme VB et al. Influencing factors for microplastic intake in abundant deep-sea lanternfishes (*Myctophidae*). **Science of the Total Environment**, v. 867, p. 161478, 2023.

GARCIA, Tatiane Martins et al. Microplastics in subsurface waters of the western equatorial Atlantic (Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, p. 110705, 2020a.

GARCIA, Thiago D. et al. Ingestion of microplastic by fish of different feeding habits in urbanized and non-urbanized streams in Southern Brazil. **Water, Air, & Soil A Pollution**, v. 231, n. 8, p. 434, 2020b.

GARELLO, Nicolás A. et al. Microplastics distribution in river side bars: The combined effects of water level and wind intensity. **Science of the Total Environment**, v. 897, p. 165406, 2023.

GOMES, Beatriz Guimarães et al. Assessment of the ingestion of anthropogenic debris by green turtles along the south-central coast of Rio de Janeiro, Brazil. **Ocean and Coastal Research**, v. 72, p. e24042, 2024.

GONÇALVES, Geslaine Rafaela Lemos et al. Unravelling the stomach contents of fish and crab species from Cananéia, São Paulo: Are they eating plastic? **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 63, p. e202363001, 2023.

GUIMARÃES, Gabriel dos Anjos et al. Microplastic contamination in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in Itacoatiara, Amazonas, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 3, p. 434, 2023.

JANKAUSKAS, Laura et al. Microplastic in clams: An extensive spatial assessment in south Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 201, p. 116203, 2024.

JUSTINO, Anne KS et al. Microplastic contamination in tropical fishes: An assessment of different feeding habits. **Regional Studies in Marine Science**, v. 45, p. 101857, 2021.

JUSTINO, Anne KS et al. Exploring microplastic contamination in reef-associated fishes of the Tropical Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 192, p. 115087, 2023a.

JUSTINO, Anne KS et al. From prey to predators: Evidence of microplastic trophic transfer in tuna and large pelagic species in the southwestern Tropical Atlantic. **Environmental Pollution**, v. 327, p. 121532, 2023b.

LIMA, Felipe P. et al. Plastic ingestion by commercial and non-commercial fishes from a Neotropical River basin. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, p. 1-8, 2021.

LIMA, C. D. M. et al. Zooplankton exposure to microplastic contamination in a estuarine plume-influenced region, in Northeast Brazil. **Environmental Pollution**, v. 322, p. 121072, 2023.

LINS-SILVA, Nathália et al. A fresh look at microplastics and other particles in the tropical coastal ecosystems of Tamandaré, Brazil. **Marine Environmental Research**, v. 169, p. 105327, 2021.

LORENZI, Luciano et al. Spatio-seasonal microplastics distribution along a shallow coastal lagoon ecocline within a marine conservation unit. **Marine Pollution Bulletin**, v. 170, p. 112644, 2021.

MACIEIRA, Raphael M. et al. Microplastic and artificial cellulose microfibers ingestion by reef fishes in the Guarapari Islands, southwestern Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, p. 112371, 2021.

MAYNARD, Isabella Ferreira Nascimento et al. Analysis of the occurrence of microplastics

in beach sand on the Brazilian coast. **Science of the Total Environment**, v. 771, p. 144777, 2021.

MELO, Roger RRCB et al. Top predator feeding ecology and microplastic (MP) contamination on the far eastern South American coast: Evidence of MP trophic biotransfer. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 301, p. 108736, 2024.

MENDES, Dayene Santiago et al. Microplastic distribution and risk assessment in estuarine systems influenced by traditional villages and artisanal fishery activities. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 29044, 2024a.

MENDES, Dayene Santiago et al. Comprehensive risk assessment of microplastics in tidal channel sediments in amazonian mangroves (northern Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 366, p. 121826, 2024b.

MENGATTO, Mateus Farias; NAGAI, Renata Hanae. A first assessment of microplastic abundance in sandy beach sediments of the Paranaguá Estuarine Complex, South Brazil (RAMSAR site). **Marine Pollution Bulletin**, v. 177, p. 113530, 2022.

MONTEIRO, Raqueline Cristina Pereira; SUL, Juliana Assunção Ivar do; COSTA, Monica Ferreira. Small microplastics on beaches of Fernando de Noronha Island, tropical atlantic ocean. **Ocean and Coastal Research**, v. 68, p. e20235, 2020.

MONTEIRO, Isabel B. et al. Composition and spatial distribution of floating plastic debris along the estuarine ecocline of a subtropical coastal lagoon in the Western Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 179, p. 113648, 2022.

MORAIS, L. M. S. et al. The sea anemone *Bunodosoma cangicum* as a potential biomonitor for microplastics contamination on the Brazilian Amazon coast. **Environmental Pollution**, v. 265, p. 114817, 2020.

NETO, J. Gabriel B. et al. Ingestion of plastic debris by commercially important marine fish in southeast-south Brazil. **Environmental Pollution**, v. 267, p. 115508, 2020.

NOLASCO, Maria E. et al. Morphology, chemical characterization and sources of microplastics in a coastal city in the equatorial zone with diverse anthropogenic activities (Fortaleza city, Brazil). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 7, p. 2862-2874, 2022.

NOVAES, Gabriela de Oliveira; MONTEIRO, Sury de Moura; ROLLNIC, Marcelo. Microplastics on the fluvio-estuarine beaches of cotijuba island, Pará River estuary (Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 95, n. SI, p. 780-784, 2020.

NUNES, Lucélia S. et al. Intake of microplastics by commercial fish: a Bayesian approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 7, p. 402, 2021.

NUNES, Tawane Y.; BROADHURST, Matt K.; DOMIT, Camila. Selectivity of marine-debris ingestion by juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) at a South American World Heritage Listed area. **Marine Pollution Bulletin**, v. 169, p. 112574, 2021.

OLIVEIRA, Cristian Wesley de Souza; CORRÊA, Cláudia dos Santos; SMITH, Welber Senteio. Food ecology and presence of microplastic in the stomach content of neotropical fish in an urban river of the upper Paraná River Basin. **Revista ambiente & água**, v. 15, n. 4, p. e2551, 2020.

OLIVEIRA, Leovando Gama de; HATTORI, Gustavo Yomar; SANT'ANNA, Bruno Sampaio. Microplastic contamination in bathing areas in the Central Amazon, Itacoatiara, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 55, p. 117748-117758, 2023.

OLIVEIRA, Lucas S. et al. Ichthyoplankton and plastic waste drift in a river in the Amazon Basin, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1068550, 2023.

OTEGUI, Mariana Beatriz Paz et al. Initial discovery of microplastic pollution in *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora: Lobata). **Water Biology and Security**, v. 2, n. 2, p. 100140, 2023.

OTEGUI, Mariana Beatriz Paz et al. Microplastic contamination in different shell length in *Tivela mactroides* (Born, 1778). **Science of The Total Environment**, v. 922, p. 171283, 2024.

PAES, Eldimar da Silva et al. Widespread microplastic pollution in mangrove soils of Todos os Santos Bay, northern Brazil. **Environmental Research**, v. 210, p. 112952, 2022.

PEGADO, Tamyris et al. Ingestion of microplastics by *hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine pollution bulletin**, v. 162, p. 111799, 2021.

PEGADO, Tamyris et al. Meso-and microplastic composition, distribution patterns and drivers: A snapshot of plastic pollution on Brazilian beaches. **Science of the Total Environment**, v. 907, p. 167769, 2024.

PEREIRA, Letícia Gonçalves et al. Exploring microplastic contamination in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*): Insights into plastic pollution in the southwestern tropical Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, p. 115407, 2023.

PETRY, Maria V. et al. Plastic ingestion by juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) off the coast of Southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, p. 112337, 2021.

PINHEIRO, Lara M. et al. Salt marshes as the final watershed fate for meso-and microplastic contamination: A case study from Southern Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 838, p. 156077, 2022.

QUEIROZ, Arnaldo Fabrício dos Santos et al. First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of The Total Environment**, v. 839, p. 156259, 2022.

RIBEIRO-BRASIL, Danielle Regina Gomes et al. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115241, 2020.

RODRIGUES, Karla Fernanda Sanches et al. Presence of Microplastics in Workers of Apis

mellifera (Linnaeus, 1758) in Different Landscapes in Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, n. 9, p. 593, 2024.

SANTOS, Tacieli dos et al. First record of microplastics in two freshwater fish species (*Iheringthys labrosus* and *Astyanax lacustris*) from the middle section of the Uruguay River, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e26, 2020.

SANTOS, Luana Francy Oliveira et al. Microplastics and microfibers in the Guajará Bay, Amazon delta: Potential sources and variability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, p. 115525, 2023.

SCHUAB, João Marcos et al. First record of microplastic in the Brazilian sea hare *Aplysia brasiliana* Rang, 1828 (Mollusca: Aplysiidae). **Science of The Total Environment**, v. 895, p. 165156, 2023a.

SCHUAB, João Marcos et al. Abundance of microplastic in different coastal areas using *Phragmatopoma caudata* (Kroyer in Morch, 1863) (Polychaeta: Sabelariidae) as an indicator. **Science of the Total Environment**, v. 880, p. 163219, 2023b.

SILVA-CAVALCANTI, Jacqueline Santos et al. Microplastic pollution in sediments of tropical shallow lakes. **Science of the Total Environment**, v. 855, p. 158671, 2023.

SOARES, Guilherme Moreira et al. Sponges as libraries: increase in microplastics in *Cinachyrella alloclada* after 36 years. **Marine Pollution Bulletin**, v. 185, p. 114339, 2022.

SOUZA, Laís A. et al. Occurrence and contents of trace metals and rare earth elements on plastic pellets. **Marine Pollution Bulletin**, v. 185, p. 114261, 2022.

TRINDADE, Paulo AA et al. First record of plastic ingestion by a freshwater stingray. **Science of The Total Environment**, v. 880, p. 163199, 2023.

URBANSKI, Bruna Q. et al. First record of plastic ingestion by an important commercial native fish (*Prochilodus lineatus*) in the middle Tietê River basin, Southeast Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, p. e20201005, 2020.

VANSTREELS, Ralph Eric Thijl et al. Ingestion of plastics and other debris by coastal and pelagic birds along the coast of Espírito Santo, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 113046, 2021.

VIEIRA, Khauê Silva et al. Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea Gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, p. 112225, 2021.

YOFUKUJI, Kátia Yasuko et al. Microplastic Ingestion by Fish in a Neotropical Reservoir: Effects of Reservoir Dynamics and Fish Traits. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 235, n. 2, p. 113, 2024.

V. CAPÍTULO 2: Registro de ocorrência de microplástico em diferentes tecidos de peixes do Golfão Maranhense, Costa Amazônica Maranhense, Brasil

Danielle de Jesus Silva^{1,2}, Marcelo Henrique Lopes Silva^{1,2}

¹Laboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros, Departamento de Oceanografia e Limnologia. (LABIRPesq), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Av. dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, Universidade Federal do Maranhão;

* Autor correspondente: Danielle de Jesus Silva. E-mail: daniellej.silva@hotmail.com.

RESUMO

Este estudo investigou a ocorrência de microplásticos no trato gastrointestinal e no músculo de peixes coletados nas baías de São Marcos e São José, Golfão Maranhense, Maranhão, Brasil. Foram analisadas sete espécies de peixes capturadas em três pontos de amostragem, submetidas à digestão química com hidróxido de potássio (KOH), seguida de filtração e análise microscópica para identificação das partículas. Microplásticos foram registrados no trato gastrointestinal e no músculo dos peixes em todos os pontos amostrais, com maior frequência de ocorrência no trato gastrointestinal. Diferenças na contaminação entre as áreas estudadas sugerem influência das atividades urbanas, industriais e portuárias presentes na região. As partículas do tipo fibra foram predominantes entre os microplásticos identificados. No músculo, as maiores frequências de ocorrência foram registradas em *Sciades herzbergii*, *Mugil* sp. e *Sciades* sp., representando um dos primeiros registros de microplásticos em tecido muscular de peixes coletados no Brasil. A ingestão diária estimada indicou que o consumo das espécies analisadas pode representar um potencial via de exposição humana aos microplásticos, embora os valores registrados tenham indicado baixa exposição. Os resultados reforçam a necessidade de ampliação de estudos sobre microplásticos em tecidos comestíveis de peixes, especialmente em regiões costeiras sob intensa influência antrópica.

Palavras-chave: Golfão maranhense; contaminação microplástica; poluição; segurança alimentar

ABSTRACT

This study investigated the occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract and muscle tissue of fish collected from São Marcos and São José bays, Maranhense Gulf, Maranhão, Brazil. Seven fish species collected from three sampling sites were analyzed through chemical digestion with potassium hydroxide (KOH), followed by filtration and microscopic analysis for particle identification. Microplastics were recorded in both the gastrointestinal tract and muscle tissue of fish from all sampling sites, with a higher frequency of occurrence in the gastrointestinal tract. Differences in contamination among the studied areas suggest the influence of urban, industrial, and port activities in the region. Fiber particles were predominant among the identified microplastics. In muscle tissue, the highest occurrence frequencies were recorded in *Sciades herzbergii*, *Mugil* sp., and *Sciades* sp., representing one of the first records of microplastics in the muscle tissue of fish collected in Brazil. The estimated daily intake indicated that the consumption of the analyzed species may represent a potential pathway of human exposure to microplastics, although the estimated values indicated low exposure. The findings reinforce the need to expand studies on microplastics in edible fish tissues, particularly in coastal regions under intense anthropogenic influence.

Keywords: Maranhão Gulf; microplastic contamination; pollution; food safety

1 Introdução

Microplásticos são partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 mm (Thompson et al., 2004; GESAMP, 2019) que se originam tanto de plásticos primários, como pellets e ingredientes de produtos de higiene pessoal, quanto de plásticos secundários, resultantes da fragmentação de objetos maiores (Olivatto et al., 2018; Lusher et al., 2020). A fragmentação do material plástico ocorre por diversos fatores, como por radiação UV, oxigênio, temperatura, umidade, ação das ondas, interação com contaminantes e microrganismos (Barnes et al., 2009; Olivatto et al., 2018).

Estudos destacam que nas últimas décadas os detritos plásticos têm sido encontrados em todos os oceanos como resultados da atividade industrial, hábitos de consumo e da má gestão dos resíduos (Pegado et al., 2024), sendo dispersos através de correntes oceânicas e padrões de vento (Barnes et al., 2009; Kershaw; Rochman, 2015).

As partículas plásticas são vetores de poluentes inorgânicos e orgânicos na água devido à sua grande área superficial, hidrofobicidade e resistência à degradação, logo representam risco para segurança ambiental e ecológica através da absorção uma vez que funcionam como transportadores de diversos poluentes (Yang, et al., 2019; Bradney et al. 2019; Sridharan et al.

2021). Além disso, os microplásticos estão associados a uma série de aditivos químicos e concentram poluentes orgânicos persistentes do ambiente (Brown et al., 2001; Samandra et al., 2022).

O registro de microplásticos tem sido descrito em diversas espécies marinhas e em diferentes grupos de organismos, como bivalves, cefalópodes, crustáceos, tartarugas marinhas, aves marinhas, baleias e golfinhos (Kühn; Van Franeker, 2020; Wootton; Reis-Santos; Gillanders, 2021; Gontarek-Castro, Emilia et al, 2026). Em peixes, o microplástico foi encontrado em sistemas aquáticos de água doce, marinhos e estuarinos (Dehaut; Hermabessiere; Duflos, 2019; Wootton; Reis-Santos; Gillanders, 2021; Kibria, 2023).

A ingestão de microplástico pela biota pode ocorrer por ingestão primária e secundária. No primeiro caso, os organismos consomem o plástico diretamente, confundindo-o com comida ou ingerindo-o de forma acidentalmente, enquanto no segundo caso, uma presa contendo plástico é ingerida (Watts et al., 2014; Worm et al., 2017). O consumo de microplástico por peixes pode provocar problemas para os espécimes como obstrução do trato digestivo, desnutrição, estresse e alterações hormonais que comprometem a sua taxa de reprodução e crescimento (Olivatto et al., 2018).

No entanto, ainda não se sabe exatamente como o ambiente marinho e os seus organismos responderão ecologicamente aos impactos da poluição plástica, nem o impacto sobre a saúde humana (Dantas et al., 2020). Estudos recentes indicam que microplásticos foram encontrados em órgãos humanos como placenta, pulmões, fígado, leite materno, fezes, urina e sangue, com efeitos associados como inflamação, estresse oxidativo, supressão da imunidade, promoção da carcinogênese e alteração das funções reprodutivas e cognitivas (Fuller et al., 2022; Niccolai et al., 2023; Dzierżyński et al., 2024).

No Brasil, a realização de estudos sobre a contaminação de organismos aquáticos por partículas plásticas tem se destacado nas últimas décadas (e.g. Bugoni, Krause, Petry, 2001; Ivar do Sul; Costa; Fillmann, 2014; Justino et al., 2023; Belli et al., 2024; Ferreira; Souza Azevedo, 2024). Entretanto, no Maranhão poucos trabalhos abordam a contaminação por microplásticos (e.g. Pegado et al., 2021; Queiroz et al., 2022; Carvalho et al. 2025).

As baías de São Marcos e de São José estão inseridas no Golfão Maranhense e são consideradas as mais importantes da zona costeira do Maranhão, tanto por serem desaguadouros dos maiores rios do estado e apresentarem intensa dinâmica da paisagem, quanto pela densidade das atividades humanas e a circulação de riquezas (Feitosa, 2006). No centro do Golfão fica a Ilha de São Luís, a zona mais urbanizada do litoral maranhense, que possui praias cada vez mais ocupadas pelo desenvolvimento urbano, fato que gera impactos na qualidade da água

(Pereira et al., 2016).

A urbanização associada à baixa cobertura de saneamento básico tem sido considerada um fator importante para a introdução de partículas sintéticas em ambientes aquáticos (Da Costa et al., 2023). Além disso, fontes marinhas também podem contribuir para a liberação de microplásticos, como resíduos de águas cinzas provenientes de navios (geradas durante o banho, lavagem de roupas e louça), descarga de água de lastro e desgaste de tintas e revestimentos aplicados em cascos de navios com a limpeza, manutenção e uso regular, liberando partículas plásticas no ambiente (Andrady, 2017; GESAMP, 2021).

Diante disso, estudos com foco na ingestão de microplásticos são necessários para compreender e prever as consequências dessa contaminação, tornando possível o desenvolvimento de planos de gestão eficazes para os ecossistemas costeiros e marinhos ameaçados pelas atividades humanas (Dantas et al., 2020). Com isso, este estudo teve por objetivo verificar a presença de microplásticos no trato gastrointestinal e no músculo de espécies de peixes capturados nas baías de São Marcos e São José, Golfão Maranhense, Costa Amazônica, Maranhão, Brasil.

2 Material e Métodos

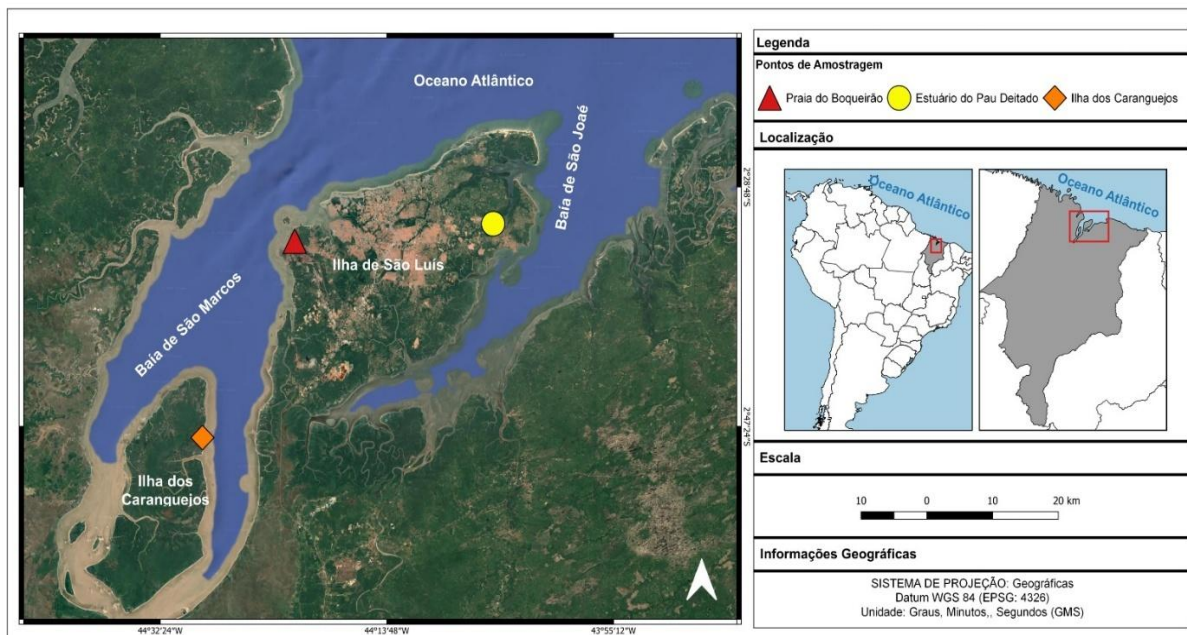
2.1 Área de estudo

O Golfão Maranhense está situado na região central da costa do estado do Maranhão, norte do Brasil, sendo constituído pelas baías de São Marcos, Arraial e São José, separadas pela Ilha do Maranhão (Silva et al., 2018). A região caracteriza-se pela elevada complexidade hidrodinâmica e geomorfológica, abrangendo estuários, estreitos, enseadas, canais de maré, ilhas e extensas áreas de manguezais (El-Robrini et al., 2015).

A baía de São Marcos apresenta, em sua porção nordeste uma costa subretilínea associada à de dunas e praias arenosas no setor norte da ilha de São Luís, enquanto a porção noroeste é marcada por feições costeiras recortada por “falsas rias” (El-Robrini et al., 2015). Nessa baía foram estabelecidos dois pontos amostrais: Praia do Boqueirão (P1) e Ilha dos Caranguejos (P2).

A baía de São José é limitada a oeste pela ilha de São Luís e a leste pelas ilhas associadas à baía de Tubarão, sendo considerada uma extensão estuarina rio Itapecuru. A região apresenta diferentes formações geológicas, refletidas na morfologia costeira e na distribuição das faces sedimentares (Coutinho; Morais, 1976). Nessa baía foi estabelecido o ponto amostral Pau Deitado (P3) (Figura 1).

Figura V.1. Localização dos pontos amostrais no Golfão Maranhense, Costa Amazônica Maranhense, Brasil.



2.2 Amostragem

Foram selecionadas sete espécies de peixes para realização da análise de microplástico (Figura 2): *Bagre bagre* (Linnaeus 1766) (bandeirado), *Diapterus rhombeus* (Cuvier 1829) (peixe-prata), *Genyatremus luteus* (Bloch 1790) (peixe-pedra), *Macrodon ancylodon* (Bloch & Schneider 1801) (pescadinha gó), *Mugil* sp. (tainha), *Sciades herzbergii* (Bloch 1794) (bagre guribú) e *Sciades* sp. (bagre).

Todos os espécimes foram adquiridos diretamente de pescadores artesanais no período de março a agosto de 2025. Após a captura, os peixes foram acondicionados em caixas isotérmicas contendo gelo e transportados ao Laboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros (LABIRPesq) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

Figura V.2. Espécies de peixes do Golfão Maranhense, utilizadas nesse estudo. a) *Bagre bagre* (bandeirado); b) *Diapterus rhombeus* (peixe-prata); c) *Genyatremus luteus* (peixe-pedra); d) *Macrodon ancylodon* (pescadinha gó); e) *Mugil* sp. (tainha); f) *Sciades herzbergii* (bagre guribú - vista dorsal e lateral); g) *Sciades* sp. (bagre - vista dorsal e lateral).



2.3 Caracterização ecológica das espécies

A classificação das espécies quanto à posição na coluna d'água, em demersais, bentopelágicos e pelágicos, foi realizada com base nas informações disponíveis na plataforma FishBase (Froese; Pauly, 2025).

Das sete espécies analisadas, seis foram classificadas como demersais: *Bagre bagre* (bandeirado), *Diapterus rhombeus* (peixe-prata), *Genyatremus luteus* (peixe-pedra), *Macrodon ancylodon* (pescadinha gó), *Sciades herzbergii* (bagre guribú) e *Sciades* sp. (bagre). Estas espécies habitam principalmente fundos arenosos ou lamosos de estuários e regiões costeiras, alimentando-se predominantemente de invertebrados bentônicos e pequenos peixes (Froese; Pauly, 2025).

A espécie *Mugil* sp. (tainha) foi classificada como pelágico nerítico, ocorrendo na coluna d'água sobre a plataforma continental, especialmente em áreas costeiras rasas. Dependendo do seu ciclo de vida, pode ocupar ambientes estuarinos e marinhos, apresentando hábito alimentar baseado principalmente em detritos e material vegetal (Froese; Pauly, 2025).

2.4 Preparação das amostras

Em laboratório, os peixes foram descongelados até atingirem a temperatura ambiente para mensuração de suas variáveis biométricas, incluindo comprimento total, comprimento padrão e peso, utilizando ictiômetro e balança digital. Em seguida, foram retirados 10 g de tecido muscular de cada indivíduo, bem como o estômago, que também foi pesado, para análise dos microplásticos.

O tecido muscular foi coletado preferencialmente da região dorsal dos peixes, por fornecer quantidade suficiente de amostra. Entretanto, para espécies de pequeno porte, em que a musculatura dorsal isoladamente não era suficiente para a obtenção da massa necessária, foi utilizado também tecido muscular proveniente de diferentes regiões do corpo do animal.

2.5 Fator de Condição

Para avaliar o estado nutricional e a saúde geral das populações dos peixes, foi aplicado o Fator de Condição de Fulton (K), conforme fórmula a seguir (Froese, 2006):

$K = 100 \times W/L^3$, onde K é o fator de condição de Fulton, W é o peso total do peixe (g) e L é o comprimento total (cm).

Um valor de K igual a 1 geralmente indica um peixe em boas condições, enquanto $K < 1$ sugere um indivíduo abaixo do peso e $K > 1$ sugere um peixe acima do peso, potencialmente devido à superalimentação ou condições ambientais favoráveis.

2.6 Análise dos microplásticos

As metodologias descritas por Dhimmer (2017) e Foekema et al. (2013) foram utilizadas, com adaptações, para o processamento das amostras. Os tratos gastrointestinais e músculos foram acondicionados separadamente em recipientes de vidro previamente higienizados com água destilada filtrada. Posteriormente, foi adicionada solução de hidróxido de potássio (KOH) a 10% para digestão química dos tecidos. Esse reagente é amplamente utilizado na digestão de vertebrados marinhos, invertebrados e tecidos animais (Di Fiore; Ishikawa; Wright, 2024).

As amostras digeridas foram filtradas em microfiltro de vidro GF-1 Macherey-Nagel (diâmetro: 47mm) com auxílio de bomba a vácuo. Posteriormente, os filtros foram encaminhados à estufa a 60 °C por 24 horas para secagem. Após esse procedimento, foi realizada a leitura e análise dos filtros.

Os materiais plásticos foram observados com auxílio de microscópio e classificados quanto à forma e cor, seguindo protocolos de identificação de microplásticos (GESAMP, 2019;

Lusher et al., 2020). As formas foram classificadas em fibras (material que apresenta comprimento substancialmente maior que sua largura), fragmentos (partícula de formato irregular, tem a aparência de ter se desfeito de um pedaço de detrito maior) e pellets (partícula dura, arredondada ou esférica, apresenta sinais de ter sido projetado especificamente para ter um formato e tamanho específicos). Enquanto as cores foram separadas em nível secundário (azul, vermelho, verde, amarelo, roxo, laranja), além de preto, branco e transparente.

2.7 Protocolo de controle de qualidade e extração

Para evitar a contaminação por microplásticos no laboratório, várias etapas foram implementadas, seguindo os procedimentos recomendados por Justino et al. (2021). O processo de digestão, filtragem, identificação e armazenamento das amostras de microplástico foi realizado em uma sala limpa e reservada, com fluxo de pessoas limitado. Foram utilizados, jalecos de algodão e luvas descartáveis, durante todo o processo de análise. Além disso, todas as ferramentas utilizadas foram previamente limpas com álcool e água destilada filtrada.

As soluções utilizadas nas análises, passaram por filtros de membrana de 47 mm. Os materiais de laboratório, como vidraria e utensílios, foram lavados três vezes com água destilada filtrada e, depois, foram cobertos com papel alumínio. A bancada e o microscópio foram higienizados e os reagentes utilizados para fixação das amostras, foram armazenados em recipientes de vidro.

Os brancos de procedimento foram realizados em cada dia de análise, antes do início das amostras. Para isso, recipientes semelhantes aos utilizados na digestão dos tecidos foram preenchidos com água destilada filtrada e vedados com tampas, sendo submetidos ao mesmo protocolo aplicado às amostras. Nos controles em branco foram identificadas partículas do tipo fibra. Assim, posteriormente durante as análises das amostras, todas as partículas de fibras identificadas com qualquer semelhança com a observada nos brancos foram desconsideradas das contagens, a fim de evitar superestimação decorrente de possível contaminação.

2.8 Análises estatísticas

Análises descritivas foram utilizadas para caracterizar a distribuição de microplásticos por ponto amostral, espécies e formatos das partículas. A frequência de ocorrência de microplásticos foi calculada por meio da fórmula: $FO\% = (N_i / N) \times 100$, em que FO% corresponde à frequência de ocorrência de partículas microplásticas, N_i ao número de amostras contendo microplásticos e N ao número total amostras analisadas.

A abundância média de microplásticos foi expressa em número de partículas por

indivíduo ($\text{itens} \cdot \text{ind}^{-1}$), sendo calculadas a média e o desvio padrão a partir do número total de partículas registradas por indivíduo amostrado.

Os testes de Shapiro-Wilk e teste de Levene foram utilizados para verificar os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados referentes ao número de partículas registradas nos estômagos e nos músculos por ponto de amostragem. Como os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis para comparação entre os grupos analisados. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico PAST 4.0.

2.9 Avaliação do risco de exposição aos microplásticos

Para avaliar o grau de exposição da população de São Luís aos microplásticos por meio do consumo de peixes, foi calculada a ingestão diária estimada (IDE) de microplásticos. Esse parâmetro geralmente é calculado multiplicando-se a abundância de microplásticos (MP/g) no alimento pela ingestão diária média (g/dia) e dividindo-se pelo peso corporal médio por idade (Heo; Moon; Kim, 2025). Assim, foi realizado o cálculo da ingestão diária estimada (IDE) de microplásticos usando a seguinte equação:

$$\text{IDE} = (C \times \text{IR}) / \text{BW}$$

Onde IDE corresponde à ingestão diária estimada de microplásticos ($\text{itens} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$), C representa a concentração de microplásticos no músculo dos peixes ($\text{itens} \cdot \text{kg}^{-1}$), IR corresponde à taxa de ingestão diária de pescado ($\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$) e BW ao peso corporal médio do consumidor (kg).

A concentração de microplásticos no músculo foi estimada a partir da média de partículas identificadas em 10 g de tecido muscular analisado, posteriormente convertida para itens por quilograma de peixe ($\text{itens} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Os cálculos foram realizados considerando o consumo médio anual de pescado per capita no estado do Maranhão, estimado em 6,038 kg (IBGE, 2018), e o peso corporal de 70 kg para adultos, frequentemente adotado em estudos ambientais e de segurança alimentar (Heo; Moon; Kim, 2025).

3 Resultados

Foram analisados 107 espécimes de peixes distribuídos em três pontos amostrais, sendo 37 indivíduos provenientes do ponto 1, Boqueirão (P1), 30 do ponto 2, Ilha dos caranguejos (P2), e 40 do ponto 3, Pau deitado (P3). Entre as espécies analisadas, *Sciades herzbergii* (bagre

guribú) e *Sciades* sp. (bagre) apresentaram maiores valores médios de comprimento total e peso, enquanto *Diapterus rhombeus* (peixe-prata) registrou os menores valores biométricos (Tabela 1).

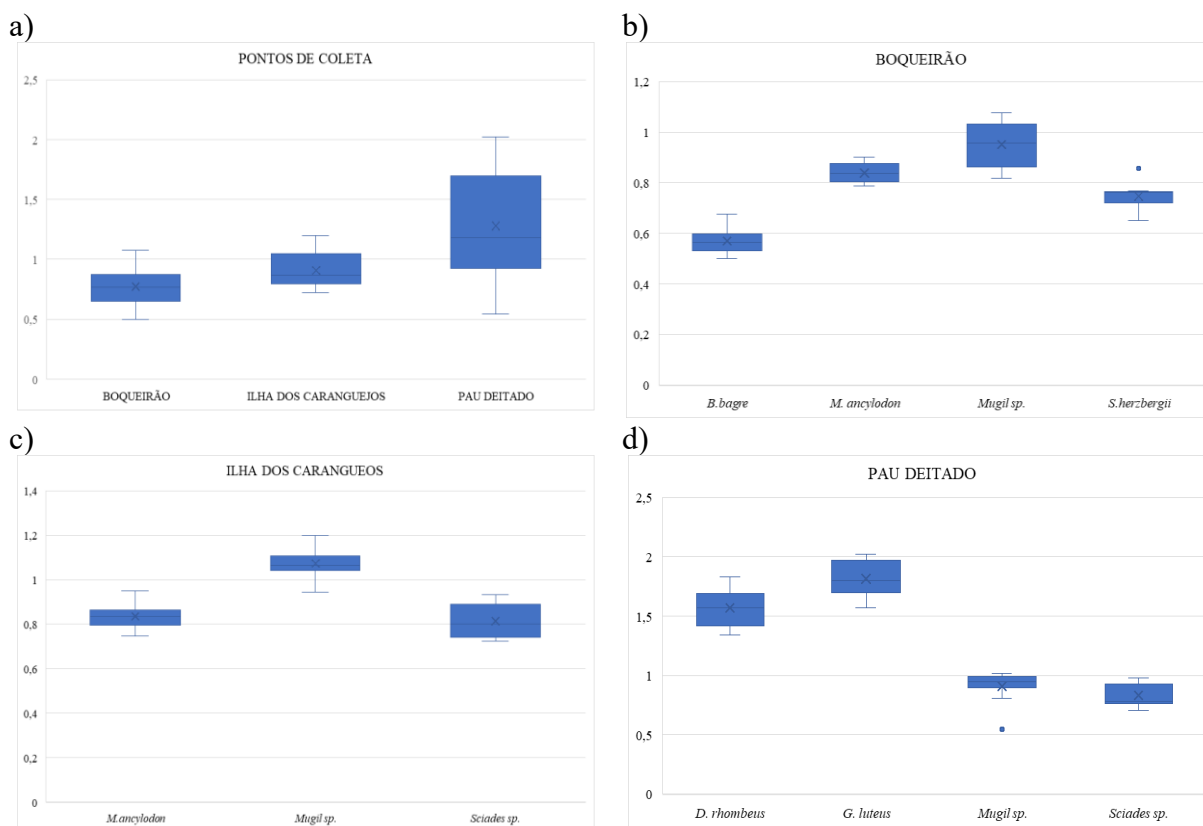
Tabela V.1. Locais de amostragem, espécies, classificação, número de amostra (n), tamanho (cm) e peso (g) das amostras de peixes.

Área de Estudo	Ponto amostral	Espécie	Classificação	N	Comprimento total médio (cm) $\pm$ DP	Peso médio (g) $\pm$ DP
Baía de São Marcos	P1	<i>Bagre bagre</i>	demersal	10	30,38 $\pm$ 3,05	166,13 $\pm$ 59,48
		<i>Macrodon ancylodon</i>	demersal	7	29,04 $\pm$ 2,91	209,44 $\pm$ 55,40
		<i>Mugil</i> sp.	pelágico	10	19,85 $\pm$ 0,92	74,21 $\pm$ 6,98
		<i>Sciades herzbergii</i>	demersal	10	39,59 $\pm$ 5,56	500,47 $\pm$ 315,47
Baía de São Marcos	P2	<i>Mugil</i> sp.	pelágico	10	22,75 $\pm$ 1,29	126,94 $\pm$ 19
		<i>Macrodon ancylodon</i>	demersal	10	25,04 $\pm$ 0,92	138,93 $\pm$ 27,60
		<i>Sciades</i> sp.	demersal	10	34,52 $\pm$ 3,68	348 57 $\pm$ 127,16
Baía de São José	P3	<i>Diapterus rhombeus</i>	demersal	10	14,38 $\pm$ 1,61	47,26 $\pm$ 12,91
		<i>Genyatremus luteus</i>	demersal	10	17,33 $\pm$ 3,13	102,17 $\pm$ 53,75
		<i>Mugil</i> sp.	pelágico	10	19,9 $\pm$ 3,13	72,06 $\pm$ 27,34
		<i>Sciades</i> sp.	demersal	10	29,03 $\pm$ 4,01	216,97 $\pm$ 119,08

O fator de Condição de Fulton apresentou variação entre os pontos amostrais e entre as espécies analisadas (Figura 3). Considerando os pontos de amostragem, Boqueirão apresentou o menor valor médio de K (0,7), seguido pela Ilha dos Caranguejos (0,9), enquanto Pau Deitado apresentou os maiores valores médios, K superior a 1 (1,2) (Figura 3a).

No Boqueirão, todas as espécies analisadas apresentaram valores médios de K inferiores a 1, com destaque para *Mugil* sp., que apresentou os maiores valores entre as espécies registradas no ponto (Figura 3b). Na Ilha dos Caranguejos, apenas *Mugil* sp. apresentou valor médio de K superior a 1 (Figura 3c). Já em Pau Deitado, *Diapterus rhombeus* e *Genyatremus luteus* apresentaram os maiores valores médios de K, ambos superiores a 1,5, enquanto *Mugil* sp. e *Sciades* sp. registraram valores inferiores a 1 (Figura 3d).

Figura V.3. Fator de Condição de Fulton entre os pontos de coleta e entre as espécies coletadas em cada ponto. a) Entre os 3 Pontos; b) Boqueirão; c) Ilha dos Caranguejos; d) Pau Deitado.



Microplástico foram registrados no trato gastrointestinal dos peixes em todos os pontos amostrais (Tabela 2). Todas as partículas encontradas foram classificadas como fibras ou fragmentos, não sendo observada a ocorrência de pellets nas amostras analisadas. A maior frequência de ocorrência de microplástico no estômago foi registrada na ilha dos Caranguejos (70%), seguida por Boqueirão (46%) e Pau deitado (35%).

A abundância média de microplásticos no trato gastrointestinal foi mais elevada na Ilha dos Caranguejos ($1,533 \pm 1,613$ itens·ind⁻¹), seguida por Boqueirão ($0,621 \pm 0,981$ itens·ind⁻¹), enquanto Pau Deitado apresentou os menores valores médios ($0,525 \pm 0,784$ itens·ind⁻¹). Fibras representaram o principal tipo de partícula nos pontos Boqueirão e Ilha dos Caranguejos, com médias de $0,567 \pm 0,987$ itens·ind⁻¹ e $1,517 \pm 1,572$ itens·ind⁻¹, respectivamente. Em Pau Deitado, observou-se distribuição mais equilibrada entre fibras ($0,250 \pm 0,543$ itens·ind⁻¹) e fragmentos ($0,275 \pm 0,505$ itens·ind⁻¹). A abundância média de microplásticos em relação ao peso do estômago foi maior na Ilha dos Caranguejos ($0,345 \pm 0,519$ itens·g⁻¹), seguida por Pau Deitado ($0,206 \pm 0,412$ itens·g⁻¹) e Boqueirão ($0,106 \pm 0,155$ itens·g⁻¹).

Tabela V.2. Frequência de ocorrência e abundância média de microplástico registrados no estômago por ponto de coleta.

Ponto amostral / Localidade	N	FO% de MP no estômago	Média de partícula (itens·ind ⁻¹)	Média de fibras (itens·ind ⁻¹)	Média de fragmentos (itens·ind ⁻¹)	Média de MPs por peso do estômago (itens·ind ⁻¹)
P1/ Boqueirão	37	46%	0,621 ± 0,981	0,567 ± 0,987	0,054 ± 0,229	0,106 ± 0,155
P2/ Ilha dos Caranguejos	30	70%	1,533 ± 1,613	1,517 ± 1,572	0,066 ± 0,253	0,345 ± 0,519
P3/ Pau Deitado	40	35%	0,525 ± 0,784	0,25 ± 0,543	0,275 ± 0,505	0,206 ± 0,412

Microplásticos também foram registrados no músculo dos peixes em todos os pontos amostrais (Tabela 3). A maior frequência de ocorrência foi observada na Ilha dos Caranguejos (70%), seguida por Boqueirão (54%) e Pau Deitado (45%). A abundância média de microplásticos no músculo foi mais elevada na Ilha dos Caranguejos ($1,300 \pm 1,087$ itens·ind⁻¹), seguida por Boqueirão ($0,648 \pm 0,789$ itens·ind⁻¹), enquanto Pau Deitado apresentou os menores valores médios ($0,550 \pm 0,677$ itens·ind⁻¹).

No músculo, fibras predominaram na Ilha dos Caranguejos, com média de $1,233 \pm 1,072$ itens·ind⁻¹, enquanto fragmentos apresentaram maiores abundâncias médias em Boqueirão ($0,513 \pm 0,768$ itens·ind⁻¹) e Pau Deitado ($0,400 \pm 0,590$ itens·ind⁻¹). A abundância média de microplásticos em relação ao peso muscular foi maior na Ilha dos Caranguejos ($0,130 \pm 0,108$ itens·g⁻¹), seguida por Boqueirão ($0,064 \pm 0,078$ itens·g⁻¹) e Pau Deitado ($0,050 \pm 0,071$ itens·g⁻¹).

Tabela V.3. Frequência de ocorrência e abundância média de microplástico registrados no músculo por ponto de coleta.

Ponto amostral / Localidade	N	FO% de MP no músculo	Média de partícula (itens·ind ⁻¹)	Média de fibras (itens·ind ⁻¹)	Média de fragmentos (itens·ind ⁻¹)	Média de MPs por peso* do músculo (itens·ind ⁻¹)
P1/ Boqueirão	37	54%	0,648 ± 0,789	0,135 ± 0,346	0,513 ± 0,768	0,064 ± 0,078
P2/ Ilha dos Caranguejos	30	70%	1,3 ± 1,087	1,233 ± 1,072	0,066 ± 0,253	0,13 ± 0,108
P3/ Pau Deitado	40	45%	0,55 ± 0,677	0,15 ± 0,426	0,4 ± 0,59	0,05 ± 0,071

* foi retirado 10g de músculo para análise.

A análise de Kruskal–Wallis indicou diferença significativa entre as quantidades de microplásticos encontrados entre os pontos amostrais, tanto em relação ao estômago ($H = 5,82$; $p < 0,05$), quanto em relação ao músculo ($H = 9,14$; $p < 0,05$). Para o trato gastrointestinal, a

análise pós-hoc de Dunn revelou diferenças entre os pontos Boqueirão e Ilha dos Caranguejos ($p = 0,02$), bem como entre Ilha dos Caranguejos e Pau Deitado ($p = 0,02$), enquanto não foram observadas diferença significativas entre Boqueirão e Pau Deitado ($p = 0,95$). Padrão semelhante foi observado para o músculo, com diferenças significativas entre Boqueirão e Ilha dos Caranguejos ($p = 0,007$) e entre Ilha dos Caranguejos e Pau Deitado ($p = 0,002$), enquanto não houve diferença entre Boqueirão e Pau Deitado ($p = 0,73$). Nos estômagos foram identificadas 90 partículas de microplásticos, sendo 78 classificadas como fibras e 12 como fragmentos (Figura 4 e Figura 5). As fibras representaram o principal tipo de partícula registrado, com predominância das colorações cinza, preta, azul e vermelha, enquanto os fragmentos foram predominantemente azuis.

Figura V.4. Quantidade e cor das partículas de microplástico identificadas nas amostras de estômago. a) fibras; b) fragmentos.

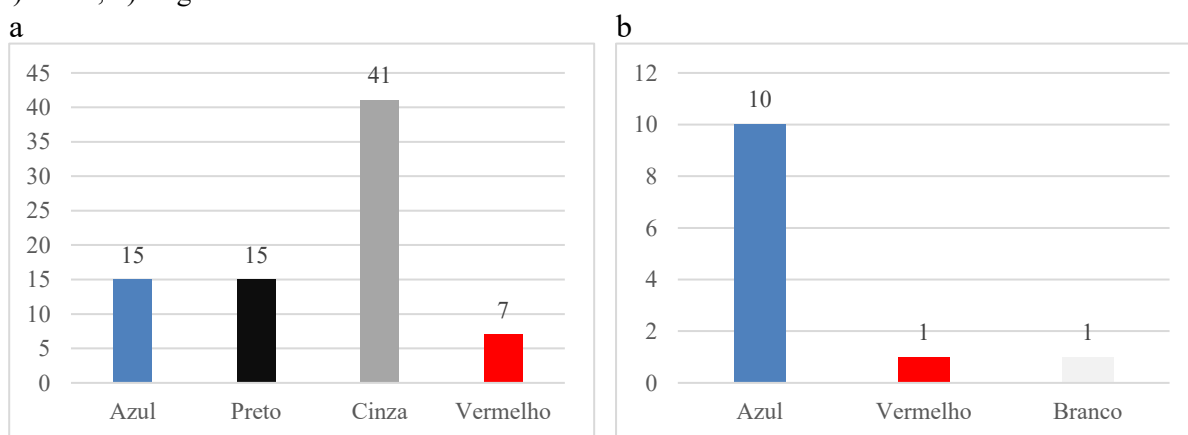
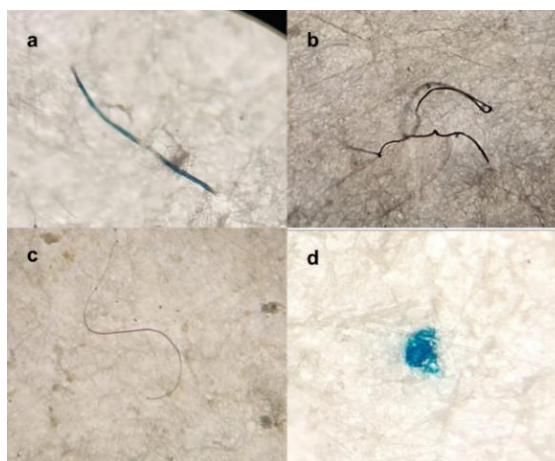


Figura V.5. Partículas de microplástico identificadas nas amostras de estômago analisadas. a) fibra azul; b) fibra preta; c) fibra vermelha e, d) fragmento azul.



A distribuição das partículas variou entre os pontos amostrais (Tabela 4). A Ilha dos

Caranguejos (P2) apresentou a maior quantidade de microplásticos no trato gastrointestinal (n = 46), com forte predominância de fibras cinza. Em Boqueirão (P1), foram registradas 23 partículas, caracterizadas principalmente pela ocorrência de fibras azuis e vermelhas. Já em Pau Deitado (P3), foram contabilizadas 21 partículas, com predominância de fibras pretas e fragmentos azuis.

Tabela V.4. Porcentagem das formas e cores de microplástico no estômago por ponto de coleta.

Local de coleta	Formato	Azul	Preto	Cinza	Vermelho	Branco	Total de MPs
P1/ Boqueirão	fibra	15 (71,42%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (28,57%)	0 (0%)	21
	fragmento	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)	2
P2/ Ilha dos Caranguejos	fibra	0 (0%)	3 (6,81%)	41(93,18%)	0 (0%)	0 (0%)	44
	fragmento	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	2
P3/ Pau Deitado	fibra	0 (0%)	12 (92,30%)	0 (0%)	1 (7,69%)	0 (0%)	13
	fragmento	8 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	8
Total		25	15	41	8	1	90

Nos músculos foram identificadas 85 partículas de microplásticos, das quais 48 foram classificadas como fibras e 37 como fragmentos (Figura 6 e Figura 7). As fibras representaram o principal tipo de partícula registrado, com predominância das colorações cinza, azul, vermelha. Entre os fragmentos, houve predominância da coloração azul, responsável pela maior parte das partículas identificadas nessa categoria.

Figura V.6. Quantidade e cor das partículas de microplástico identificadas nas amostras de músculo. a) fibras; b) fragmentos.

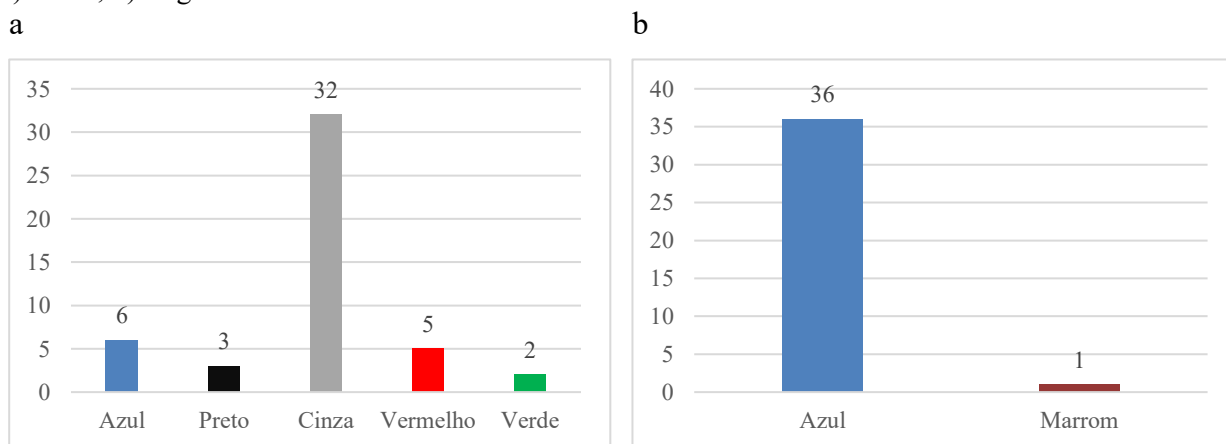
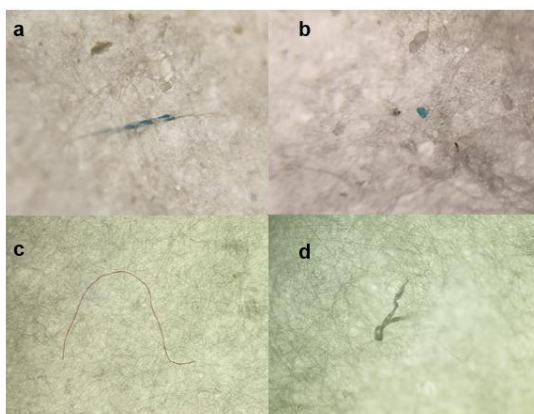


Figura V.7. Partículas de microplástico identificadas nas amostras de músculo analisadas. a) fibra azul; b) fragmento azul; c) fibra vermelha e, d) fibra cinza.



A composição e a quantidade de microplásticos nos músculos também apresentaram variação entre os pontos de coleta (Tabela 5). A Ilha dos Caranguejos apresentou a maior quantidade de microplásticos registrados no músculo ($n = 39$), com forte predominância de fibras cinza. Em Boqueirão (P1), foram registradas 24 partículas, caracterizadas principalmente pela ocorrência de fragmentos azuis e fibras vermelhas. Já em Pau Deitado (P3), foram contabilizadas 22 partículas, com predominância de fragmentos azuis e ocorrência exclusiva de fibras azuis.

Tabela V.5. Porcentagem das formas e cores de microplástico no músculo por ponto de coleta.

Local de coleta	Formato	Azul	Preto	Cinza	Vermelho	Verde	Marrom	Total de MPs
P1/ Boqueirão	fibra	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	5
	fragmento	19 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	19
P2/ Ilha dos Caranguejos	fibra	0 (0%)	3 (8,1%)	32 (86,48%)	0 (0%)	2 (5,4%)	0 (0%)	37
	fragmento	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	2
P3/ Pau Deitado	fibra	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	6
	fragmento	16 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	16
Total		42	3	32	5	2	1	85

Em relação as espécies analisadas, *Sciades* sp. coletado na Ilha dos Caranguejos (P2) apresentou a maior frequência de ocorrência de microplásticos (MP) no trato gastrointestinal (TG), com contaminação registrada em todos os indivíduos analisados (100%). Em seguida,

destacou-se *Macrodon ancylodon* coletada no Boqueirão (P1), com frequência de ocorrência 71,4% (Tabela 6). As menores frequências foram registradas para *Sciades herzbergii* em Boqueirão (P1) e *Mugil* sp. em Pau Deitado (P3), ambas com 20% de ocorrência.

As maiores abundâncias médias de microplástico no trato gastrointestinal foram observadas em *Sciades* sp. ($1,8 \pm 0,632$ itens·ind⁻¹) e *Macrodon ancylodon* ($1,7 \pm 2,406$ itens·ind⁻¹), ambas coletadas na Ilha dos Caranguejos (P2). Em relação aos fragmentos, *Sciades* sp. coletado em Pau Deitado (P3) apresentou a maior abundância média ($0,5 \pm 0,707$ itens·ind⁻¹), seguido por *Diapterus rhombeus* no mesmo ponto amostral ($0,3 \pm 0,483$ itens·ind⁻¹).

Quando considerada a abundância de microplásticos em relação ao peso do trato gastrointestinal, os maiores valores médios foram registrados para *Macrodon ancylodon* na Ilha dos Caranguejos ($0,495 \pm 0,738$ itens·g⁻¹) e *Diapterus rhombeus* em Pau Deitado ($0,443 \pm 0,695$ itens·g⁻¹).

Tabela V.6. Frequência de ocorrência e abundância média de microplásticos encontrados nos estômagos das espécies analisadas.

Pontos	Espécie	N	Indivíduos com MP (n)	FO %	Total MPs	Média de partícula (itens·ind ⁻¹)	Média de fibras (itens·ind ⁻¹)	Média fragmentos (itens·ind ⁻¹)	Média de MPs por peso do estômago (itens·ind ⁻¹)
P1	<i>Bagre bagre</i>	10	5	50	9	$1 \pm 1,523$	$0,9 \pm 1,523$	0 ± 0	$0,099 \pm 0,164$
	<i>Macrodon ancylodon</i>	7	5	71,4	8	$1,142 \pm 0,899$	$1 \pm 0,991$	$0,142 \pm 0,353$	$0,24 \pm 0,189$
	<i>Mugil</i> sp.	10	4	40	4	$0 \pm 0,516$	$0,4 \pm 0,516$	0 ± 0	$0,107 \pm 0,146$
	<i>Sciades herzbergii</i>	10	2	20	2	$0 \pm 0,421$	$0,1 \pm 0,316$	$0,1 \pm 0,316$	$0,017 \pm 0,036$
P2	<i>Macrodon ancylodon</i>	10	6	60	17	$1,7 \pm 2,406$	$1,7 \pm 2,407$	0 ± 0	$0,495 \pm 0,738$
	<i>Mugil</i> sp.	10	5	50	11	$1,1 \pm 1,370$	$1 \pm 1,247$	$0,1 \pm 0,316$	$0,39 \pm 0,499$
	<i>Sciades</i> sp.	10	10	100	18	$1,8 \pm 0,632$	$1,7 \pm 0,483$	$0,1 \pm 0,316$	$0,15 \pm 0,728$
P3	<i>Diapterus rhombeus</i>	10	4	40	5	$0,5 \pm 0,707$	$0,2 \pm 0,421$	$0,3 \pm 0,483$	$0,443 \pm 0,695$
	<i>Genyatremus luteus</i>	10	3	30	4	$0,4 \pm 0,699$	$0,3 \pm 0,674$	$0,1 \pm 0,316$	$0,112 \pm 0,197$
	<i>Mugil</i> sp.	10	2	20	4	$0,4 \pm 0,843$	$0,2 \pm 0,421$	$0,2 \pm 0,422$	$0,15 \pm 0,326$
	<i>Sciades</i> sp.	10	5	50	8	$0,8 \pm 0,918$	$0,3 \pm 0,674$	$0,5 \pm 0,707$	$0,119 \pm 0,155$

No músculo, a frequência de ocorrência de microplásticos variou entre as espécies e os pontos amostrais (Tabela 7). Os maiores valores foram registrados para *Sciades herzbergii* capturado no Boqueirão (P1), *Mugil* sp. proveniente da Ilha dos Caranguejos (P2) e *Sciades*

sp. registrado em Pau Deitado, todas com 80% dos indivíduos contendo microplásticos no tecido muscular.

As abundâncias médias de microplásticos também apresentaram variação entre as espécies analisadas. Os maiores valores médios foram observados para *Sciades* sp. ($1,6 \pm 1,349$ itens·ind⁻¹) e *Mugil* sp. ($1,3 \pm 0,948$ itens·ind⁻¹), ambas provenientes da Ilha dos Caranguejos. Nessas mesmas espécies e localidade, também foram registradas as maiores médias de fibras. Em relação aos fragmentos, os maiores valores médios foram observados para *Bagre bagre* ($0,8 \pm 1,229$ itens·ind⁻¹) e *Sciades herzbergii* ($0,7 \pm 0,483$ itens·ind⁻¹), no ponto do Boqueirão, e *Genyatremus luteus* ($0,7 \pm 0,674$ itens·ind⁻¹) no ponto do Pau deitado.

Considerando a abundância de microplásticos em relação ao peso muscular, os maiores valores médios foram registrados para *Sciades* sp. ($0,16 \pm 0,134$ itens·g⁻¹) e *Mugil* sp. ($0,13 \pm 0,094$ itens·g⁻¹), ambas provenientes da Ilha dos Caranguejos (Tabela 7).

Tabela V.7. Frequência de ocorrência e abundância média de microplásticos encontrados nos músculos das espécies analisadas.

Local	Espécie	N	Indivíduos com MP (n)	FO %	Total MPs	Média de partícula (itens·ind ⁻¹)	Média de fibras (itens·ind ⁻¹)	Média fragmentos (itens·ind ⁻¹)	Média de MPs por peso de músculo
P1	<i>Bagre bagre</i>	10	6	60	9	$0,9 \pm 1,197$	$0,1 \pm 0,316$	$0,8 \pm 1,229$	$0,09 \pm 0,119$
	<i>Macrodon ancylodon</i>	7	5	71,4	5	$0,714 \pm 0,487$	$0,285 \pm 0,487$	$0,428 \pm 0,534$	$0,071 \pm 0,048$
	<i>Mugil</i> sp.	10	1	10	1	$0,1 \pm 0,316$	0 ± 0	$0,1 \pm 0,316$	$0,01 \pm 0,031$
	<i>Sciades herzbergii</i>	10	8	80	9	$0,9 \pm 0,567$	$0,2 \pm 0,421$	$0,7 \pm 0,483$	$0,09 \pm 0,056$
P2	<i>Macrodon ancylodon</i>	10	6	60	10	$1 \pm 0,942$	$1 \pm 0,942$	0 ± 0	$0,1 \pm 0,094$
	<i>Mugil</i> sp.	10	8	80	13	$1,3 \pm 0,948$	$1,2 \pm 0,918$	$0,1 \pm 0,316$	$0,13 \pm 0,094$
	<i>Sciades</i> sp.	10	7	70	16	$1,6 \pm 1,349$	$1,5 \pm 1,354$	$0,1 \pm 0,316$	$0,16 \pm 0,134$
P3	<i>Diapterus rhombeus</i>	10	0	0	0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
	<i>Genyatremus luteus</i>	10	6	60	7	$0,7 \pm 0,674$	0 ± 0	$0,7 \pm 0,674$	$0,08 \pm 0,788$
	<i>Mugil</i> sp.	10	4	40	4	$0,4 \pm 0,516$	0 ± 0	$0,4 \pm 0,516$	$0,04 \pm 0,051$
	<i>Sciades</i> sp.	10	8	80	11	$1,1 \pm 0,737$	$0,6 \pm 0,699$	$0,5 \pm 0,707$	$0,11 \pm 0,073$

Os resultados demonstram que a ingestão diária estimada (IDE) de microplásticos variou entre os pontos amostrais, sendo mais elevada para os peixes capturados na Ilha dos Caranguejos ($0,00306$ itens·kg⁻¹·dia⁻¹) e menor no Pau Deitado ($0,00118$ itens·kg⁻¹·dia⁻¹). Boqueirão apresentou o valor intermediário de IDE ($0,00151$ itens·kg⁻¹·dia⁻¹).

De forma semelhante, a ingestão anual estimada de microplásticos por meio de consumo de pescado apresentou maiores valores na Ilha dos Caranguejos, com estimativa de 78,3 partículas por pessoa ao ano, seguida por Boqueirão (38,5 itens·ano⁻¹) e Pau Deitado (30,1 itens·ano⁻¹) (Tabela 8).

Tabela V.8. Estimativa de ingestão de microplásticos pelo consumo de peixe.

Local de coleta	MPs no músculo (itens·10 g ⁻¹)	MPs estimados (itens·kg ⁻¹)	IDE (itens·kg ⁻¹ ·dia ⁻¹)	Ingestão anual estimada (itens·ano ⁻¹)
Boqueirão	0,064 ± 0,078	6,4	0,00151	38,5
Ilha dos Caranguejos	0,13 ± 0,108	13	0,00306	78,3
Pau Deitado	0,05 ± 0,071	5	0,00118	30,1

4 Discussão

Os resultados demonstram ampla ocorrência de microplásticos em peixes do Golfão Maranhense, no litoral amazônico brasileiro, com registros tanto no trato gastrointestinal quanto no músculo das espécies analisadas. A presença de partículas em tecidos musculares representa um achado relevante, uma vez que este é um dos primeiros estudos a registrar microplásticos em músculos de em peixes coletados no Brasil, indicando potencial translocação de microplásticos para tecidos comestíveis e possíveis implicações para a segurança alimentar e exposição humana (Di Fiore; Ishikawa; Wright, 2024).

As maiores frequências de ocorrência e abundâncias médias foram registradas na Ilha dos Caranguejos e em Boqueirão, ambos localizados na baía de São Marcos, enquanto Pau Deitado, na baía de São José, apresentou os menores valores. Esse padrão sugere influência das atividades antrópicas desenvolvidas na região da baía de São Marcos, que recebe aporte fluvial dos rios Mearim, Grajaú e Pindaré e abriga importante complexo portuário brasileiro (Czizewski et al., 2020; Cassia, 2023). Além disso, as características hidrodinâmicas da baía podem favorecer o transporte, a dispersão e a retenção de microplásticos, influenciando sua distribuição espacial (Malli et al., 2022; Defontaine; Jalón-Rojas, 2023).

Além disso, a região sofre influência de processos relacionados à urbanização, ausência de saneamento básico, descarte inadequado de resíduos sólidos e lançamento de efluentes, fatores frequentemente associados ao aumento da disponibilidade de microplásticos em ambientes costeiros e estuarinos (ANA, 2012; Instituto Trata Brasil; GO Associados, 2025). Estudos realizados na Plataforma Continental Amazônica também registraram maiores concentrações de microplásticos em áreas próximas às baías de São Marcos e Marajó,

associadas à elevada descarga fluvial (Queiroz et al., 2022).

Os resultados do fator de Condição de Fulton indicaram que menores valores médios nos peixes provenientes dos pontos do Boqueirão e da Ilha dos Caranguejos, áreas que também apresentaram maiores frequências e abundâncias médias de microplásticos. Embora o fator de condição seja influenciado por múltiplos fatores ambientais e biológicos, alterações nessa métrica podem refletir diferenças na disponibilidade alimentar, qualidade ambiental e exposição a contaminantes (Froese, 2006).

A Ilha dos Caranguejos, apesar da baixa ocupação humana permanente, recebe influência indireta das atividades desenvolvidas ao longo das bacias hidrográficas que deságuam na baía de São Marcos, especialmente do rio Mearim, favorecendo o aporte de resíduos para a região (El-Robrini et al., 2015; Carvalho Neta, 2008). Em contraste, Pau Deitado apresentou menores frequências e abundâncias médias, possivelmente em função da menor urbanização, menor aporte direto de resíduos e predominância de atividades de pesca artesanal na região (Vidigal; Costa; Nunes, 2022; IMESC, 2025).

A elevada frequência de ocorrência dos microplásticos no tecido gastrointestinal confirma que a ingestão representa uma das principais vias de exposição dos peixes a esse contaminante (Wright et al., 2013; Akhbarizadeh; Moore; Keshavarzi, 2018). Estudos anteriores também registraram elevada ocorrência de microplásticos em organismos marinhos e estuarinos, incluindo raias do Atlântico Ocidental (Pegado et al., 2021), peixes da costa de Fortaleza (Dantas et al., 2020) e *Sciades herzbergii* no próprio Golfão Maranhense (Carvalho et al., 2025).

Em ambientes costeiros, essas partículas podem permanecer disponíveis tanto na coluna d'água quanto associados aos sedimentos, favorecendo sua ingestão direta ou indireta por diferentes espécies (Possatto et al., 2011; Dantas et al., 2020). Além disso, espécies demersais estuarinas normalmente apresentam maiores taxas de ingestão de microplásticos, pois habitam e se alimentam próximos ao substrato, aumentando o contato com sedimentos contaminados (Wootton; Reis-Santos; Gillanders, 2021).

A ocorrência de microplásticos no músculo das espécies analisadas representa um dos principais resultados deste estudo. Embora partículas maiores tendam a permanecer retidas no trato gastrointestinal, partículas menores podem atravessar barreiras biológicas e alcançar outros tecidos, incluindo fígado e sistema circulatório (Makhdoumi; Hossini; Pirsaeheb, 2023).

Estudos realizados no Golfo Pérsico (Akhbarizadeh; Moore; Keshavarzi, 2018) e na costa portuguesa (Lopes, et al., 2023) também registraram microplásticos em tecidos musculares de peixes marinhos, enquanto Srisiri et al. (2024) não identificaram contaminação muscular em

espécies analisadas no Golfo da Tailândia. As concentrações registradas no Golfão Maranhense foram compatíveis com valores descritos internacionalmente para espécies marinhas e estuarinas (Makhdoumi; Hossini; Pirsaeheb, 2023). Ressalta-se que esse é um dos primeiros trabalhos realizados no Brasil registrando microplástico no músculo de peixes (Cordeiro et al., 2026; Silveira et al., 2026), evidenciando importante lacuna de conhecimento sobre a contaminação de tecidos comestíveis em espécies exploradas comercialmente. A investigação de partículas em tecidos musculares possui elevada relevância ambiental e sanitária, considerando que o músculo representa a principal porção consumida pela população humana (Di Fiore; Ishikawa; Wright, 2024).

As diferenças observadas entre as espécies analisadas sugerem influência do comportamento alimentar e da posição na coluna d'água sobre a ingestão de microplásticos (Akhbarizadeh; Moore; Keshavarzi, 2018). Espécies demersais estuarinas, como *Sciades* sp., *Sciades herzbergii*, *Macrodon ancylodon* e *Bagre bagre*, apresentam elevadas frequência de ocorrência e abundâncias médias. Esses organismos vivem associados ao substrato e se alimentam de organismos bentônicos, aumentando a exposição a sedimentos contaminados (Wootton; Reis-Santos; Gillanders, 2021).

Os sedimentos marinhos atuam como importantes reservatórios e fontes secundárias de microplásticos em ecossistemas costeiros (Akhbarizadeh; Moore; Keshavarzi, 2018). Esse padrão pode explicar as maiores taxas observadas em espécies com hábito demersal, especialmente nas áreas mais influenciadas por aporte antrópico.

As partículas identificadas foram classificadas como fibras e fragmentos, padrão semelhante ao registrado em outros estudos realizados no Brasil e em ambientes costeiros internacionais (Dantas et al., 2020; Pegado et al., 2021; Queiroz et al., 2022; Belli et al., 2024; Carvalho et al., 2025). As fibras constituíram o principal tipo de partícula encontrado tanto no trato gastrointestinal quanto no músculo.

Esse tipo de material é frequentemente associado à degradação de linhas e redes de pesca, além do aporte de efluentes domésticos e urbanos (Browne et al., 2011; Pegado et al., 2021; Trindade et al., 2023). Já os fragmentos geralmente são originados de resíduos plásticos maiores presentes no ambiente, especialmente em regiões com manejo inadequado de resíduos sólidos urbanos (Trindade et al., 2023).

Pellet ou microesferas não foram identificados nas amostras analisadas. Esses materiais normalmente estão associados a produtos industriais e cosméticos, podendo alcançar ambientes aquáticos por meio de sistemas de drenagem doméstica e industrial (Auta et al., 2017). Carvalho et al. (2025) registraram apenas pequenas quantidades desse tipo de partícula no Golfão

Maranhense, indicando baixa representatividade dessa forma de microplástico na região estudada.

As cores predominantes foram cinza, azul e preta, com maior frequência de partículas cinza. Resultados semelhantes já foram descritos para o Golfão Maranhense (Carvalho et al., 2025), embora estudos realizados em outras regiões tenham registrado predominância de partículas azuis (Pegado et al., 2021; Srisiri et al., 2024).

A coloração dos microplásticos pode estar associada tanto à origem dos materiais quanto à seletividade alimentar dos organismos, uma vez que diferentes espécies podem confundir partículas coloridas com itens alimentares naturais (Zhang et al., 2024). Além disso, processos de degradação física e fotoquímica podem alterar a coloração original dos materiais ao longo do tempo (Abaroa-Pérez et al., 2022).

Além dos efeitos físicos, microplásticos podem atuar como vetores de contaminantes químicos, incluindo metais pesados e poluentes orgânicos persistentes adsorvidos em sua superfície (Dantas et al., 2020). Esses compostos podem ser transferidos ao longo da cadeia alimentar e atingir organismos de níveis tróficos superiores, incluindo os seres humanos (Makhdoumi; Hossini; Pirsheh, 2023).

Dessa forma, a ocorrência de microplásticos em tecidos comestíveis reforça a necessidade de monitoramento contínuo em espécies de interesse pesqueiro e alimentar. A investigação da concentração dessas partículas em tecidos biológicos é fundamental para compreender os níveis de exposição e os potenciais riscos associados ao consumo de pescado contaminado (Di Fiore; Ishikawa; Wright, 2024).

Ainda que não seja possível estabelecer relação causal direta entre a presença de microplásticos e alterações fisiológicas, estudos experimentais têm demonstrado que a ingestão dessas partículas pode provocar estresse metabólico e alterações no balanço energético de peixes (Makhdoumi; Hossini; Pirsheh, 2023; Muñiz; Rahman, 2025).

Os valores estimados de ingestão diária e anual de microplásticos provenientes do consumo de pescado no Golfão Maranhense foram inferiores aos registrados em estudos globais (Heo; Moon; Kim, 2025). Entretanto, mesmo em baixas concentrações, os resultados evidenciam a inserção de microplásticos nas cadeias tróficas locais e reforçam a importância do consumo de pescado como potencial via de exposição humana (De Amorim; Ramos; Júnior, 2020).

Considerando que as espécies analisadas representam importantes recursos pesqueiros para comunidades costeiras da região, o acúmulo de microplásticos em tecidos musculares pode representar preocupação ambiental e sanitária relevante. Embora os efeitos da exposição

humana aos microplásticos ainda não sejam completamente compreendidos, estudos recentes associam essas partículas a estresse oxidativo, alterações endócrinas, danos celulares e potenciais riscos cardiovasculares, metabólicos e reprodutivos (Makhdoumi; Hossini; Pirsahab, 2023; Kibria, 2023; Muñiz; Rahman, 2025).

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a necessidade de ampliar estudos sobre contaminação por microplásticos em organismos aquáticos da costa amazônica brasileira, especialmente em tecidos comestíveis, visando subsidiar estratégias de monitoramento ambiental, gestão de resíduos sólidos e avaliação de riscos à saúde humana.

5 Conclusão

Este estudo demonstrou ampla ocorrência de microplásticos em peixes do Golfão Maranhense, com registros tanto no trato gastrointestinal quanto no músculo das espécies analisadas. As maiores frequências e abundâncias foram observadas na baía de São Marcos, sugerindo influência das atividades antrópicas e do aporte fluvial sobre a disponibilidade desses contaminantes em ambientes costeiros amazônicos.

A predominância de fibras e a maior ocorrência em espécies demersais indicam que o comportamento ecológico e o contato com sedimentos contaminados podem influenciar a ingestão de microplásticos. Além disso, este é um dos primeiros registros de ocorrência de microplásticos em músculos de peixes coletados no Brasil, evidenciando potencial translocação para tecidos comestíveis e possíveis implicações para a segurança alimentar.

Embora os valores estimados de ingestão humana tenham sido inferiores aos registrados em estudos internacionais, os resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo da contaminação por microplásticos na costa amazônica brasileira, especialmente em áreas sob elevada influência antrópica. Dessa forma, o estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a poluição por microplásticos em ecossistemas tropicais estuarinos e subsidia futuras avaliações de risco ambiental e exposição humana.

Referência

ABAROA-PÉREZ, Bárbara et al. Yellowing, weathering and degradation of marine pellets and their influence on the adsorption of chemical pollutants. **Polymers**, v. 14, n. 7, p. 1305, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (BRASIL). Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012. Brasília: ANA, 2012.

AKHBARIZADEH, Razegheh; MOORE, Farid; KESHAVARZI, Behnam. Investigating a

probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. **Environmental pollution**, v. 232, p. 154-163, 2018.

ANDRADY, A. L. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 2017.

AUTA, Helen Shnada; EMENIKE, Chijioke U.; FAUZIAH, Shahul Hamid. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. **Environment international**, v. 102, p. 165-176, 2017.

BARNES, David KA et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.

BELLI, Igor Marcon et al. A review of plastic debris in the South American Atlantic Ocean coast – Distribution, characteristics, policies and legal aspects. **Science of the Total Environment Elsevier B.V.**, 15 ago. 2024.

BRADNEY, Lauren et al. Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. **Environment international**, v. 131, p. 104937, 2019.

BROWN, David M. et al. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. **Toxicology and applied pharmacology**, v. 175, n. 3, p. 191-199, 2001.

BROWNE, Mark Anthony et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011.

BUGONI, Leandro; KRAUSE, Lígia; PETRY, Maria Virgínia. Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1330-1334, 2001.

CARVALHO NETA, Raimunda Nonata Fortes; CASTRO, Antônio Carlos Leal de. Diversidade das assembléias de peixes estuarinos da Ilha dos Caranguejos, Maranhão. **Arquivo de Ciências do Mar**. Fortaleza, v.41 n. 1, p. 48-57, 2008.

CARVALHO, Marina Rocha et al. Presence of microplastics in *Sciades herzbergii* (Bloch, 1794) captured in harbor areas of the Amazon coast, Maranhão, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 215, 1 jun. 2025.

CASSIA, Gabriel Fernando Mateucci. **Complexo portuário do Maranhão e desenvolvimento regional**. 2023. 81p. **Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Socioeconômico)** – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

CORDEIRO, Laryssa et al. Influence of biological, ecological, and anthropogenic factors on microplastic contamination in coastal fishes from Southeastern Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v. 109, n. 2, p. 82, 2026.

COUTINHO, Paulo da Nóbrega; MORAIS, Jader Onofre de. Distribuição de sedimentos na baía de São José, estado do Maranhão (Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**. v. 16, n 2, p.123-127. 1976.

CZIZEWESKI, Anthea; PIMENTA, Felipe Mendonça; SAAVEDRA, Osvaldo Ronald. Numerical modeling of Maranhão Gulf tidal circulation and power density distribution. **Ocean Dynamics**, v. 70, n. 5, p. 667-682, 2020.

DA COSTA, Igor David et al. Microplastics in fishes in amazon riverine beaches: Influence of feeding mode and distance to urban settlements. **Science of the Total Environment**, v. 863, p. 160934, 2023.

DANTAS, Natália CFM et al. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 153, p. 110959, 2020.

DE AMORIM, Ana Luisa Araújo; RAMOS, Jonas AA; JÚNIOR, Miodeli Nogueira. Ingestion of microplastic by ontogenetic phases of *Stellifer brasiliensis* (Perciformes, Sciaenidae) from the surf zone of tropical beaches. **Marine Pollution Bulletin**, v. 158, p. 111214, 2020.

DEFONTAINE, Sophie; JALÓN-ROJAS, Isabel. Physical processes matters! Recommendations for sampling microplastics in estuarine waters based on hydrodynamics. **Marine Pollution Bulletin**, v. 191, p. 114932, 2023.

DEHAUT, Alexandre; HERMABESSIERE, Ludovic; DUFLOS, Guillaume. Current frontiers and recommendations for the study of microplastics in seafood. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 116, p. 346-359, 2019.

DHIMMER, Viren Rasiclal. Microplastics in gastrointestinal tracts of *Trachurus trachurus* and *Scomber colias* from the Portuguese Coastal Waters. 2017. 33p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente)** – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017.

DI FIORE, Cristina; ISHIKAWA, Yukari; WRIGHT, Stephanie L. A review on methods for extracting and quantifying microplastic in biological tissues. **Journal of Hazardous Materials**, v. 464, p. 132991, 2024.

DZIERŻYŃSKI, Eliaz et al. Microplastics in the human body: exposure, detection, and risk of carcinogenesis: a state-of-the-art review. **Cancers**, v. 16, n. 21, p. 3703, 2024.

EL-ROBRINI, Maâmar; FEITOSA, Antonio; ALVES, Marcelo Augusto Moreno da Silva; SANTOS, Jorge Hamilton Souza. **Maranhão: erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2015.

FEITOSA, A. C. Relevô do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, p. 1-11, 2006.

FERREIRA, Leticia Carneiro; SOUZA AZEVEDO, Juliana. What do we know about plastic pollution in Brazilian aquatic ecosystems? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 14, p. 22119–22130, 1 mar. 2024.

FOEKEMA, Edwin M. et al. Plastic in north ea fish. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 15, p. 8818-8824, 2013.

FROESE, Rainer. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. **Journal of applied ichthyology**, v. 22, n. 4, p. 241-253, 2006.

FROESE, R.; PAULY, D. 2025. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (04/2025). Disponível em: <https://www.fishbase.org>. Acesso em: 18 de maio de 2025.

FULLER, Richard et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*, v. 6, p. e535–e547, 2022. **Erratum in Lancet Planet Health**, v. 6, p. 535–547, 2022.

GESAMP. **Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean** (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP. No. 99, 130p, 2019.

GESAMP. **Sea-based sources of marine litter**, (Gilardi, K., ed.) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/ WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 108, 109 p, 2021.

GONTAREK-CASTRO, Emilia et al. Utilization routes of plastic waste from the marine environment: a review. **Waste Management**, v. 210, p. 115221, 2026.

HEO, Su Ji; MOON, Nalae; KIM, Ju Hee. A systematic review and quality assessment of estimated daily intake of microplastics through food. **Reviews on Environmental Health**, v. 40, n. 2, p. 371-392, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2017-2018**: aquisição alimentar por unidade da federação. Rio de Janeiro, 2018.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Atividade pesqueira no Maranhão: município de Raposa**. Elaboração: Silva, Nívea Karina Andrade da; Trovão, José Ribamar. São Luís: IMESC, 2025.

Instituto Trata Brasil; GO Associados. *Ranking do Saneamento 2025: estudo completo*. Rio de Janeiro: Instituto Trata Brasil; 2025. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/07/Versao-Final-de-Estudo-da-GO-Associados-Ranking-do-Saneamento-de-2025_Rio-Corrigido-V4.pdf. Acesso em: 01 de fevereiro de 2026.

IVAR DO SUL, Juliana A.; COSTA, Monica F.; FILLMANN, Gilberto. Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands of the Western Tropical Atlantic Ocean. **Water, air, & soil pollution**, v. 225, p. 1-13, 2014.

JUSTINO, Anne KS et al. From prey to predators: Evidence of microplastic trophic transfer in tuna and large pelagic species in the southwestern Tropical Atlantic. **Environmental Pollution**, v. 327, p. 121532, 2023.

JUSTINO, Anne KS et al. Microplastic contamination in tropical fishes: An assessment of different feeding habits. **Regional Studies in Marine Science**, v. 45, p. 101857, 2021.

KERSHAW, Peter J; ROCHMAN, Chelsea M. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. **Gesamp Reports and Studies**, 2015.

KIBRIA, Golam. Impacts of microplastic on fisheries and seafood security—Global analysis and synthesis. **Science of the Total Environment**, v. 904, p. 166652, 2023.

KÜHN, Susanne; VAN FRANEKER, Jan Andries. Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna. **Marine pollution bulletin**, v. 151, p. 110858, 2020.

LOPES, Clara et al. Microplastic distribution in different tissues of small pelagic fish of the Northeast Atlantic Ocean. **Science of the Total Environment**, v. 901, p. 166050, 2023.

LUSHER, Amy L. et al. Is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization. **Applied spectroscopy**, v. 74, n. 9, p. 1139-1153, 2020.

MALLI, Ali et al. Transport mechanisms and fate of microplastics in estuarine compartments: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 177, p. 113553, 2022.

MAKHDOUMI, Pouran; HOSSINI, Hooshyar; PIRSAHEB, Meghdad. A review of microplastic pollution in commercial fish for human consumption. **Reviews on environmental health**, v. 38, n. 1, p. 97-109, 2023.

MUÑIZ, Rebecca; RAHMAN, Md Saydur. Microplastics in coastal and marine environments: A critical issue of plastic pollution on marine organisms, seafood contaminations, and human health implications. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 18, p. 100663, 2025.

NICCOLAI, Elena; COLZI, Ilaria C; AMEDEI, Amedeo. Adverse effects of micro- and nanoplastics on humans and the environment. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 15822, 2023.

OLIVATTO, Glaucia P. et al. Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 2018.

MONTAGNER, Cassiana C. Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no antropoceno. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, 2018.

PEGADO, Tamyris et al. Ingestion of microplastics by *hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine pollution bulletin**, v. 162, p. 111799, 2021.

PEGADO, Tamyris et al. Meso-and microplastic composition, distribution patterns and drivers: A snapshot of plastic pollution on Brazilian beaches. **Science of the Total**

Environment, v. 907, p. 167769, 2024.

PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro et al. Maranhão beach systems, including the human impact on São Luís Beaches. In: **Brazilian Beach Systems**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 125-152.

POSSATTO, Fernanda E. et al. Plastic debris ingestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 5, p. 1098-1102, 2011.

QUEIROZ, Arnaldo Fabrício dos Santos et al. First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of the Total Environment**, v. 839, 2022.

SAMANDRA, Subharthe et al. Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. **Science of the Total Environment**, v. 802, p. 149727, 2022.

SILVA, Marcelo HL et al. Fish assemblage structure in a port region of the Amazonic coast. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 108, p. e2018018, 2018.

SILVEIRA, Daniela Correia et al. Microplastic Assessment In Liver, Kidney, Brain, And Muscle Tissue Of The Fish Species *Cyphocharax Voga*. **Revista de Geopolítica**, v. 17, n. 5, p. e2323-e2323, 2026.

SRIDHARAN, Srinidhi et al. Are microplastics destabilizing the global network of terrestrial and aquatic ecosystem services? **Environmental Research**, v. 198, p. 111243, 2021.

SRISIRI, Sirawich et al. Microplastic contamination in edible marine fishes from the upper Gulf of Thailand. **Marine pollution bulletin**, v. 198, p. 115785, 2024.

THOMPSON, Richard C. et al. Lost at sea: where is all the plastic. **Science**, v. 304, n. 5672, p. 838-838, 2004.

TRINDADE, Laiana et al. Microplastics in surface waters of tropical estuaries around a densely populated Brazilian bay. **Environmental Pollution**, v. 323, p. 121224, 2023.

VIDIGAL, Ingredy Eyllanne Monroe; COSTA, Nivea Fernanda Maria Ferreira; NUNES, Jorge Luiz Silva. A pesca artesanal em São José de Ribamar (MA). **Amazônica-Revista de Antropologia**, v. 14, n. 2, p. 453-462, 2022.

WATTS, Andrew JR et al. Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*. **Environmental science & technology**, v. 48, n. 15, p. 8823-8830, 2014.

WOOTTON, Nina; REIS-SANTOS, Patrick; GILLANDERS, Bronwyn M. Microplastic in fish—a global synthesis. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, p. 1-19, 2021.

WORM, Boris et al. Plastic as a persistent marine pollutant. **Annual review of environment and resources**, v. 42, p. 1-26, 2017.

WRIGHT, Stephanie L.; THOMPSON, Richard C.; GALLOWAY, Tamara S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. **Environmental pollution**, v. 178, p.

483-492, 2013.

YANG, Yuyi et al. Plastics in the marine environment are reservoirs for antibiotic and metal resistance genes. **Environment International**, v. 123, p. 79-86, 2019.

ZHANG, Le et al. The effects of land use types on microplastics in river water: A case study on the mainstream of the Wei River, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 4, p. 349, 2024.

VI. CAPÍTULO 3: Percepção ambiental em comunidades de pesca artesanal sobre a contaminação por microplásticos na Costa Amazônica Maranhense

Danielle de Jesus Silva^{1,2}, Marcelo Henrique Lopes Silva^{1, 2}

¹Laboratório de Ictiologia e Recursos Pesqueiros, Departamento de Oceanografia e Limnologia. (LABIRPesq), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Av. dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, Universidade Federal do Maranhão;

* Autor correspondente: Danielle de Jesus Silva. E-mail: daniellej.silva@hotmail.com.

RESUMO

Os microplásticos têm atraído atenção em todo mundo devido sua ampla distribuição e potencial de impacto ao meio ambiente e a saúde humana. Essas partículas são amplamente dispersas pelos ecossistemas e podem ser transferidas pela cadeia alimentar. Nesse contexto, estudos de percepção ambiental são fundamentais para entender as interrelações entre o homem e o ambiente e analisar as percepções de diferentes grupos sociais. Diante disso, esse estudo teve por objetivo analisar a percepção ambiental de comunidades residentes nas proximidades das baías de São Marcos e São José, localizadas no estado do Maranhão, quanto aos riscos associados aos microplásticos, bem como em relação à degradação ambiental do ecossistema. A pesquisa foi conduzida por meio de formulário, dividido em cinco sessões, aplicado nas comunidades de Coqueiro (São Marcos) e Pau Deitado (São José). Os resultados indicaram baixo nível de conhecimento entre os entrevistados sobre microplásticos e a maior percepção em relação a contaminado das baías de São Marcos e São José. Diante disso, a educação ambiental e a sensibilização da população representam ferramentas fundamentais para ampliar o conhecimento sobre o tema, além de serem essenciais para promover mudanças comportamentais. Além disso, a adoção de estratégias baseadas na economia circular, aliada à reorientação dos padrões de consumo e políticas públicas são essenciais para reduzir as fontes de plásticos no ambiente.

Palavras-chave: Comunidades pesqueiras; Poluição marinha; Educação ambiental, Poluição plástica, Segurança alimentar

ABSTRACT

Microplastics have attracted global attention due to their widespread distribution and their potential impacts on the environment and human health. These particles are broadly dispersed across ecosystems and can be transferred along the food chain. In this context, environmental perception studies are essential for understanding the interactions between humans and the environment, as well as for examining how different social groups perceive related risks. Thus, this study aimed to analyze the environmental perception of communities living near the São Marcos and São José bays, located in the state of Maranhão, Brazil, regarding the risks associated with microplastics and the environmental degradation of these ecosystems. The research was conducted using a structured questionnaire divided into five sections, applied in the communities of Coqueiro (São Marcos) and Pau Deitado (São José). The results indicated a low level of knowledge among respondents about microplastics, although there was a higher perception regarding the contamination of the São Marcos and São José bays. In this sense, environmental education and public awareness are key tools to expand knowledge on the subject and to promote behavioral change. Furthermore, the adoption of circular economy-based strategies, combined with shifts in consumption patterns and the strengthening of public policies, is essential to reduce plastic inputs into the environment.

Keywords: Fishing communities; Marine pollution; Environmental education; Plastic pollution; Food security

1 Introdução

Os microplásticos têm atraído atenção em todo mundo devido sua ampla distribuição e potencial de impacto sobre os ecossistemas e a saúde humana (Bennett et al., 2021; Stoett et al., 2024; Hossain, 2024; Sumaway et al., 2025;). Apesar do avanço sobre contaminação ambiental por microplásticos em ambientes aquáticos, ainda são escassas as investigações voltadas à percepção ambiental de comunidades pesqueiras artesanais, especialmente no Nordeste brasileiro, onde grande parte da população depende diretamente dos recursos naturais costeiros para subsistência e geração de renda (Henderson; Green, 2020).

Essas partículas, de dimensões inferiores a 5 mm, são amplamente dispersas pelos ecossistemas e frequentemente transmitidas pela cadeia alimentar (Thompson et al., 2004; Heo; Moon; Kim, 2025). Adicionalmente, têm sido encontrados em itens do dia a dia, como cerveja, sal marinho, açúcar, mel, água da torneira, água engarrafada e saquinhos de chá de plástico (Kamalasekaran; Sundramoorthy, 2026).

Diversos são os fatores que influenciam o comportamento de consumo de plástico

(Heidbreder et al., 2019; Dokl et al, 2024). Além do consumo, o desperdício de materiais também é um fator preocupante, pois tem se intensificado com a utilização de produtos de vida curta, como embalagens e plásticos de uso único (OCDE, 2022).

Segundo Beaumont et al. (2019), o plástico marinho impacta negativamente o bem-estar humano, em especial quando relacionado às atividades de pesca, ao patrimônio e ao lazer, sendo os custos econômicos estimados entre US\$ 3.300 e US\$ 33.000 por tonelada de plástico marinho por ano (Beaumont, et al. 2019). Diante disso, percebe-se que a poluição plástica engloba questões ambientais, econômicas e sociais, estando vinculada à justiça ambiental. (Stoett; Vince, 2019; Stoett et al., 2024).

Nesse contexto, a poluição plástica deve ser considerada dentro dos compromissos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma vez que pode afetar a segurança alimentar, ampliar desigualdades sociais e comprometer os ecossistemas marinhos e terrestres (Stoett; Vince, 2019; Stoett et al., 2024). Adicionalmente, seu enfretamento está diretamente relacionado à promoção da justiça ambiental e social em comunidades costeiras vulneráveis.

No Brasil, comunidades costeiras dependentes da pesca artesanal estão entre os grupos potencialmente mais vulneráveis aos impactos da poluição plástica e da degradação ambiental. Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (2025), a ilha de São Luís, localizada no estado do Maranhão, possui 43.785 pescadores artesanais. As atividades de pesca na região estão associadas a espécies marinhas e estuarinas, sendo parte dessas realizadas nos estuários das baías de São Marcos e São José, locais que possuem diferentes graus de urbanização, industrialização e contaminação (Silva et al., 2023).

Apesar de sua importância, diversos fatores representam riscos e perigos potenciais aos pescadores artesanais nessas regiões. Entre os principais fatores, pode-se citar a degradação ambiental e a sobrepesca intensiva, praticada principalmente pela pesca industrial (Torres; De Carvalho, 2020). Outros elementos, como a industrialização da zona costeira e transporte marítimo de substâncias tóxicas podem afetar a qualidade das águas e os ecossistemas marinhos (Torres; De Carvalho, 2020; Pereira et al., 2024).

Estudos recentes têm registrado a ocorrência de microplásticos no Golfão Maranhense e em áreas adjacentes da costa amazônica brasileira (Pegado et al., 2021; Queiroz et al., 2022; Carvalho et al. 2025), evidenciando a necessidade de monitoramento ambiental e acompanhamento das comunidades que dependem diretamente de recursos pesqueiros. A contaminação de peixes e mariscos pode comprometer a saúde das espécies e afetar a sustentabilidade dos estoques pesqueiros, gerando impactos ambientais e socioeconômicos para populações costeiras (Wootton et al., 2022; Kibria, 2023; Liu et al., 2024).

Adicionalmente, a exposição humana aos microplásticos pode causar efeitos tóxicos e agravos à saúde, principalmente para populações vulneráveis (Miller; Hamann; Kroon, 2020; Samandra et al., 2022; Pal et al., 2025). Evidências recentes indicam a possível associação com o desenvolvimento de diabetes, obesidade, distúrbios endócrinos, câncer, problemas cardiovasculares, reprodutivos e de desenvolvimento, além da translocação de partículas para os tecidos placentários e fetais (Kibria, 2023; Muñiz; Rahman, 2025; Kamalasekaran,; Sundramoorthy, 2026).

Logo, estudos sobre a percepção das comunidades em relação à contaminação ambiental podem fornecer um panorama de como as pessoas pensam sobre o assunto, fornecendo maior conhecimento para abordar o tema sob uma perspectiva social (Sumaway et al., 2025). Esses estudos são fundamentais para entender as interrelações entre o homem e o ambiente, uma vez que buscam compreender como os aspectos ambientais podem influenciar as ações, sentidos e emoções de satisfação e insatisfação dos indivíduos, de forma conjunta ou individualmente (Evangelista-Barreto et al., 2014).

Além disso, esses estudos podem ser considerados importantes ferramentas para a implantação de políticas públicas relacionadas ao meio ambiente e, consequentemente, às comunidades que dependem dos recursos naturais como forma de sustento (Oliveira; Corona, 2008). Diante disso, esse estudo teve por objetivo analisar a percepção ambiental de comunidades residentes nas proximidades das baías de São Marcos e São José, no Maranhão, quanto aos riscos associados aos microplásticos, bem como em relação à degradação ambiental do ecossistema.

2 Material e Métodos

Para avaliar a percepção da população em relação à degradação ambiental associada à presença de microplásticos e outras ações antrópicas, foi aplicado um formulário (Material suplementar) dividido em cinco sessões: perfil socioeconômico, perfil da atividade de pesca, hábito alimentar relacionado ao consumo de pescado, percepção ambiental sobre o microplástico no ambiente e percepção ambiental em relação a poluição ambiental. O instrumento foi aplicado por meio de entrevistas contendo perguntas fechadas e abertas, direcionadas a pescadores e consumidores de pescado das baías de São Marcos e São José. Juntamente ao formulário, foi disponibilizado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), visando obter a concordância dos participantes (Material suplementar).

A seleção dos participantes foi realizada por meio de uma abordagem não-probabilística mista, combinando a amostragem em bola de neve (*snowball sampling*), na qual os próprios

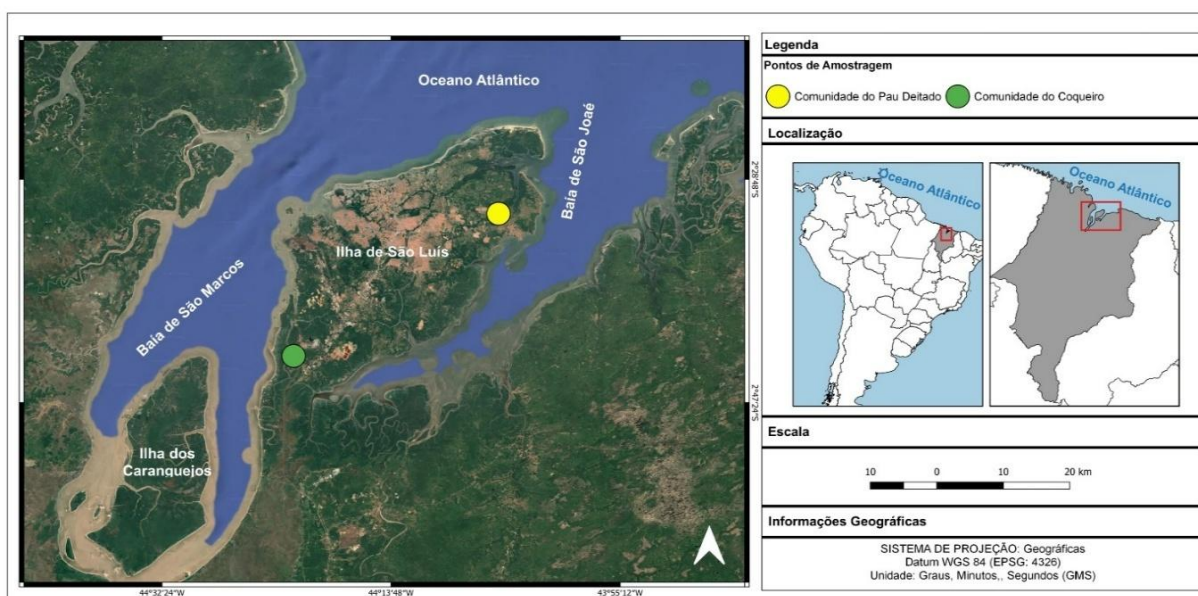
entrevistados indicavam outros participantes (Vinuto, 2014; Bockorni; Gomes, 2021), com a amostragem por conveniência, incluindo indivíduos presentes na comunidade no momento da coleta. Como critério mínimo de inclusão, todos os participantes deveriam ser pescadores ou consumidores de pescado proveniente da comunidade, garantindo vínculo com o tema investigado.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), sob parecer nº 7.712.485 (Material suplementar), seguindo os pressupostos da Resolução CNS nº 466/2012.

A seleção das áreas de estudo foi realizada visando compreender as diferenças ambientais, culturais e socioeconômicas entre as regiões e como esses fatores podem influenciar a percepção da comunidade. Foram incluídos na pesquisa pescadores e consumidores de pescado maiores de 18 anos que aceitaram participar voluntariamente do estudo. Como critérios de exclusão, foram considerados participantes que não responderam integralmente ao formulário e indivíduos que atuavam exclusivamente na captura de crustáceos e outros recursos pesqueiros não relacionados à pesca de peixe.

A coleta de dados foi realizada entre janeiro e fevereiro de 2026, durante visitas à comunidade do Coqueiro, localizada na baía de São Marcos, e à comunidade do Pau Deitado, situada na baía de São José.

Figura VI.1. Localização das comunidades do Coqueiro e do Pau Deitado.



O estreito do Coqueiro é um canal natural localizado na região central do Golfão

Maranhense, separando a ilha de Upaon-Açu (São Luís) da ilha de Tauá-Mirim (Castro, 1986). As populações residentes em suas proximidades dependem diretamente da pesca artesanal, utilizando embarcações de pequeno porte e artes de pesca tradicionais (Pinheiro et al., 2022). Já a comunidade de Vila São Pedro, conhecida como Pau Deitado, está situada no município de Paço do Lumiar, às margens de extensas áreas de manguezal, das quais parte dos moradores obtém recursos para subsistência (Lacerda et al., 2025).

O tamanho amostral foi definido a partir da recorrência dos padrões observados nas respostas obtidas. As questões fechadas foram analisadas por meio de estatística descritiva, utilizando frequências absolutas e relativas. As respostas abertas foram analisadas conforme a metodologia proposta por Bardin (2011), permitindo a identificação de categorias temáticas a partir do relato dos participantes.

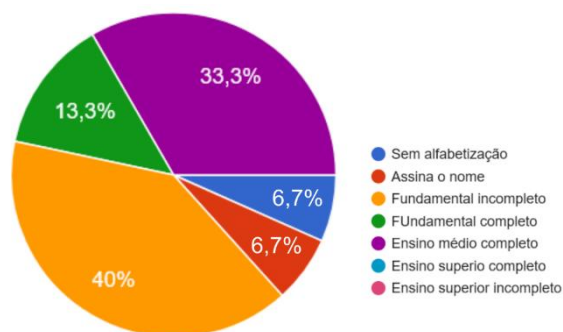
3 Resultados

Um total de 32 questionários foi aplicado durante a pesquisa, sendo 12 na comunidade do Coqueiro e 20 na comunidade do Pau Deitado. Do total de entrevistados, 22 foram homens e 10 mulheres. Entre os participantes, 13 se identificaram como pescadores, enquanto os demais se classificaram como consumidores de pescado. Somente 16 entrevistados aceitaram responder às questões relacionadas ao perfil socioeconômico, porém, todos às sessões demais do formulário.

3.1 Perfil Socioeconômico

Entre os 16 entrevistados que responderam à sessão de perfil socioeconômico, predominou o sexo masculino ($n=15$). A maior parte dos entrevistados apresentou faixa etária entre 51 e 60 anos, enquanto apenas um participante possuía idade superior a 60 anos. Em relação à escolaridade, observou-se predominância de ensino fundamental incompleto, seguido de ensino médio completo e ensino fundamental completo. Adicionalmente, 6,7 % ($n=1$) declararam não possuir alfabetização e outros 6,7% ($n=1$) informaram apenas assinar o nome (Figura 2).

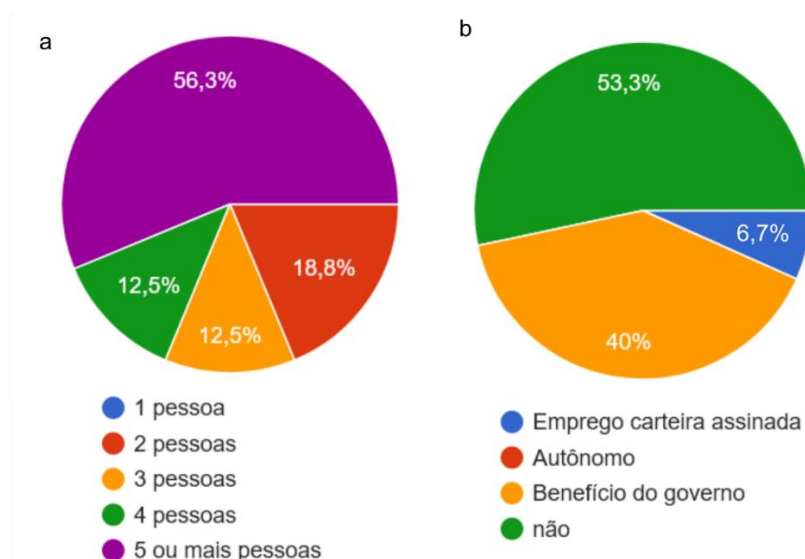
Figura VI.2. Nível de escolaridade dos entrevistados nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil.



A maior parte dos entrevistados declarou que sua renda é utilizada para o sustento de cinco ou mais pessoas (56,3%) (Figura 3a). Outros 18,8% informaram sustentar duas pessoas, enquanto 12,5% relataram sustentar três e quatro pessoas, respectivamente.

Em relação às fontes complementares de renda, 53,3% dos entrevistados afirmaram não possuir outras fontes de renda familiar. Por outro lado, 40% relataram receber benefícios do governo e apenas 6,7% declararam possuir emprego com carteira assinada (Figura 3b).

Figura VI.3. Informações sobre renda dos entrevistados nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil. **a.** Quantas pessoas dependem diretamente da renda do entrevistado. **b.** Se a família possui outras fontes de renda.



3.2 Perfil da atividade de pesca

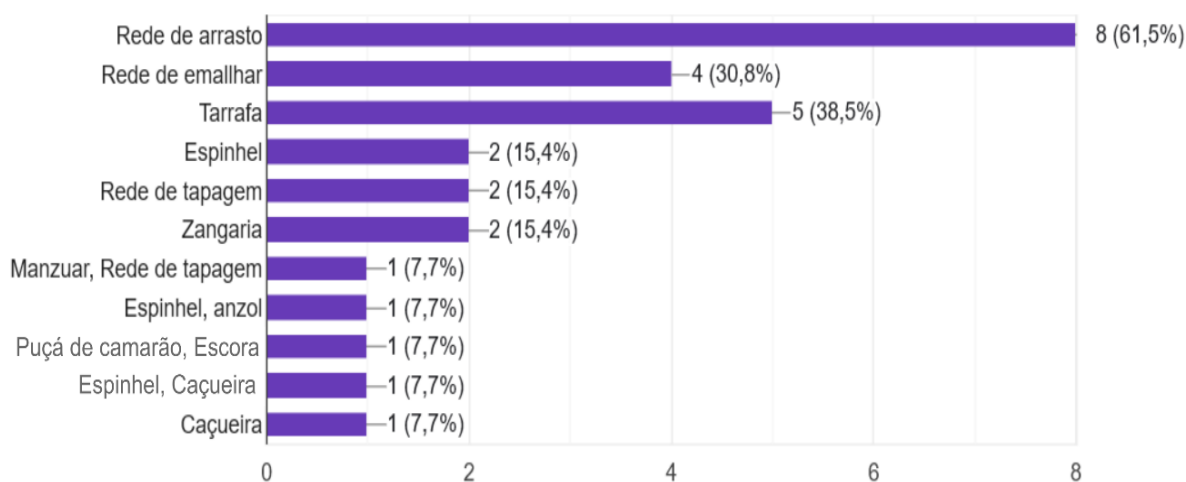
Entre as 13 pessoas que se identificaram como pescadores, sete pertenciam à comunidade do Coqueiro e seis à localidade de Pau Deitado. Apenas um entrevistado relatou

realizar a pesca para lazer, enquanto os demais informaram que exercer a atividade como principal fonte de renda. A maior parte dos entrevistados ($n=7$; 54,3%) relatou realizar atividades mais de três vezes por semana, enquanto os demais 31% ($n=4$) pescavam três e 2 vezes por semana e 15% ($n=2$) duas vezes por semana.

A rede de arrasto foi o principal apetrecho de pesca utilizado pelos entrevistados (61,5%), seguida de tarrafa (38,5%) e rede de emalhar (3,8%) (Figura 4). Outros apetrechos, como espinhel, rede de tapagem e zangaria, apresentaram menores frequências de utilização (15,4%), enquanto os demais métodos foram citados individualmente pelos participantes.

Os pescadores da comunidade Coqueiro relataram realizar as atividades no Rio Periz, Ilha dos Caranguejos, baía do Jacamim e baía do Jacaré. Enquanto os pescadores da comunidade de Pau Deitado citaram como principais áreas de pesca o rio do Pau Deitado, praia de Panaquatira, praia de Curupu, Sertãozinho, praias do município de Raposa, praia do Mangue seco e porto de Mocajituba.

Figura VI.4. Principais petrechos de pesca utilizados pelos pescadores nas comunidades do Coqueiro e do Pau deitado, no Golfão Maranhense, Brasil.



Foi observada maior diversidade de petrechos de pesca na comunidade de Coqueiro, com predomínio da rede de arrasto associada ao uso de tarrafa, rede de emalhar, espinhel e rede de tapagem. Em Pau Deitado, os entrevistados relataram principalmente a utilização de rede de emalhar, rede de tapagem, caçueira, manzuá e zangaria.

As espécies de peixes comercializadas e/ou consumidas nas comunidades entrevistadas foram identificadas popularmente pelos como bagre, uritinga, cangatão, pacamão, peixe-pedra, tainha, sardinha, guaravira, pescada, bandeirado, camurim e peixe-prata, além do camarão e siri. Um dos entrevistados utilizou o termo “peixes de escama” para se referir às espécies

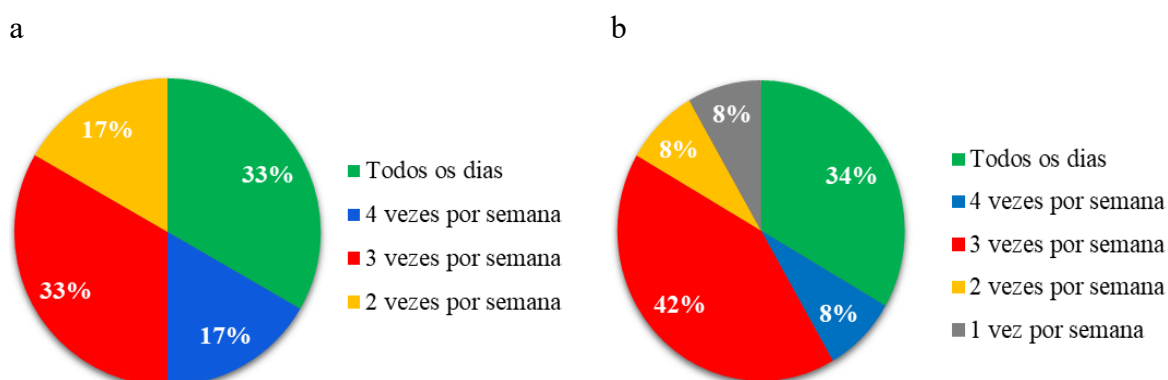
comercializadas. De forma geral, não foi observada distinção entre as espécies destinadas ao consumo e aquelas utilizadas para comercialização.

3.3 Hábitos de Consumo

A maior parte dos entrevistados da comunidade Coqueiro (66%) relatou consumir peixes e/ou mariscos todos os dias ($n=4$; 33%) ou três vezes por semana (33%) (Figura 5a). Frequências menores foram registradas para consumo quatro vezes por semana (17%) e duas vezes por semana (17%).

Quando questionados especificamente sobre o consumo de pescados oriundos da própria região, observou-se o aumento na frequência, com predominância de indivíduos que relataram consumir pescado regional três vezes por semana (42%) ou diariamente (34%) (Figura 5).

Figura VI.5. Frequência de consumo de pescado na comunidade do Coqueiro. **a.** Se alimentam de peixe e/ou mariscos. **b.** Se alimentam de peixe e/ou mariscos pescados na região.



No que diz respeito aos critérios utilizados na escolha do pescado, 64% ($n=7$) dos entrevistados indicaram o aspecto visual como principal fator considerado no momento da compra ou consumo (Figura 6). Entre as espécies preferidas foram citados bagre, pescada e tainha (Tabela 1).

Figura VI.6. Principal fator considerado no momento da escolha do pescado na comunidade do Coqueiro.

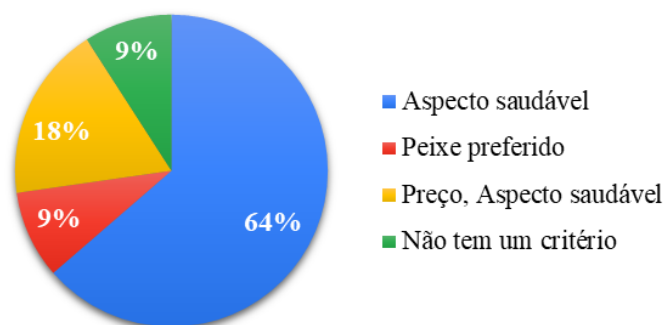


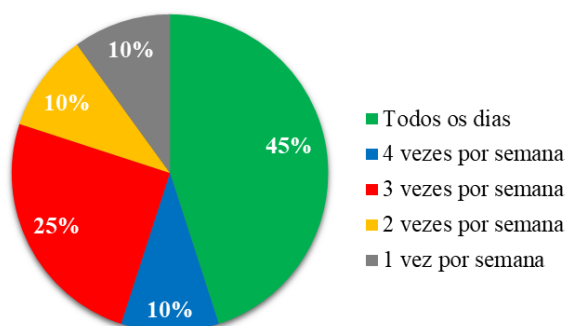
Tabela VI.1. Pescados consumidos na comunidade do Coqueiro.

Espécie	Nº de citações
Bagre	10
Pescada / Pescadinha / Pescada Amarela	9
Tainha	7
Uritinga	2
Camurim	2
Tilápia	1
Tambaqui	1
Arraia	1
Camarão	1
Jurupiranga	1
Solha	1

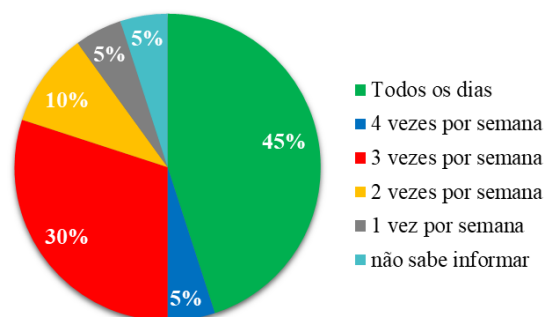
Na comunidade do Pau deitado, a maior parte dos entrevistados relatou consumir peixes e/ou mariscos diariamente (45%) ou três vezes por semana (25%) (Figura 7a). Padrão semelhante foi observado em relação ao consumo de pescado proveniente da própria região, com predominância de consumo diário (45%) e três vezes por semana (30%) (Figura 7b).

Figura VI.7. Frequência de consumo de pescado na comunidade do Pau deitado. **a.** Se alimentam de peixe e/ou mariscos. **b.** Se alimentam de peixe e/ou mariscos pescados na região.

a



b



Em relação aos critérios utilizados na escolha do pescado, a maior parte dos entrevistados (75%) indicou o aspecto saudável do alimento como principal fator considerado no momento da compra ou consumo (Figura 8). Outros 15% afirmaram priorizar a espécie de peixe de preferência, enquanto o preço e a ausência de um critério específico foram citados por 5% dos participantes, respectivamente. Foram citadas como espécies preferidas tainha, peixe pedra, pescada, bagre e sajuba (Tabela 2).

Alguns entrevistados relataram não consumir peixes capturados na própria região, pois acreditam que o ambiente local pode estar poluído, demonstrando preferência por espécimes provenientes de áreas mais distantes.

Figura VI.8. Principal fator considerado no momento da escolha do pescado na comunidade do Pau deitado.

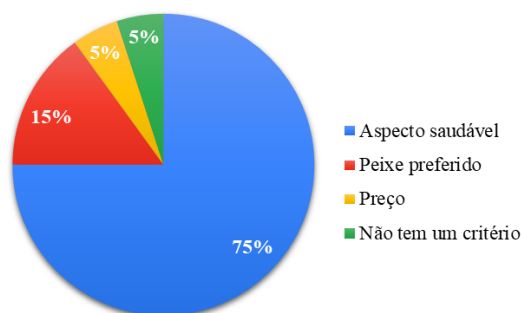


Tabela VI.2. Pescados consumidos na comunidade do Pau Deitado.

Espécie	Nº de citações
Tainha	17
Peixe pedra / Pedra	5
Pescada / Pescada Amarela / Pescadinha	5
Bagre / Bagrinho	4
Sajuba	4
Guaravira	3
Uritinga	3
Corvina	2
Peixe prata	2
Camarão	1
Cangatã	1
Camurim	1
Canguira / Canguiral	1
Magrinho	1
Pargo	1
Pitiu	1
Raia	1
Siri	1

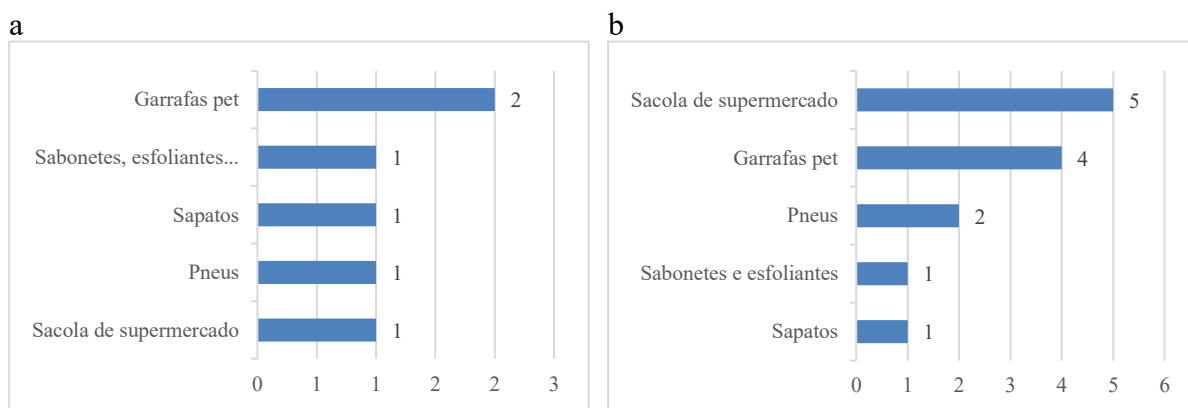
3.4 Percepção das comunidades sobre a contaminação por microplástico

Em relação a percepção das comunidades sobre a contaminação por microplástico, apenas nove dos 32 entrevistados afirmaram conhecer o termo, motivo pelo qual parte das perguntas foi direcionada exclusivamente a esse grupo.

Na comunidade do Coqueiro, dois entrevistados (17%) relataram já ter ouvido falar sobre o termo microplásticos, indicando a televisão como principal fonte de informação. Quando questionados sobre possíveis fontes geradoras de desse contaminante, ambos citaram garrafas PET, enquanto um dos entrevistados também mencionou sacolas de supermercado, pasta de dente, sabonetes, esfoliantes, sapatos e pneus (Figura 9a).

Na comunidade do Pau Deitado, sete pessoas (35%) afirmaram conhecer o termo microplástico, citando a internet, televisão, rádio, escola e conversa com familiares e amigos como fontes de informação. Em relação à possíveis fontes geradoras de microplásticos, houve predominância de citações relacionadas às sacolas de supermercado e garrafas PET, seguidas por pneus, sabonetes/esfoliantes e sapatos (Figura 9b).

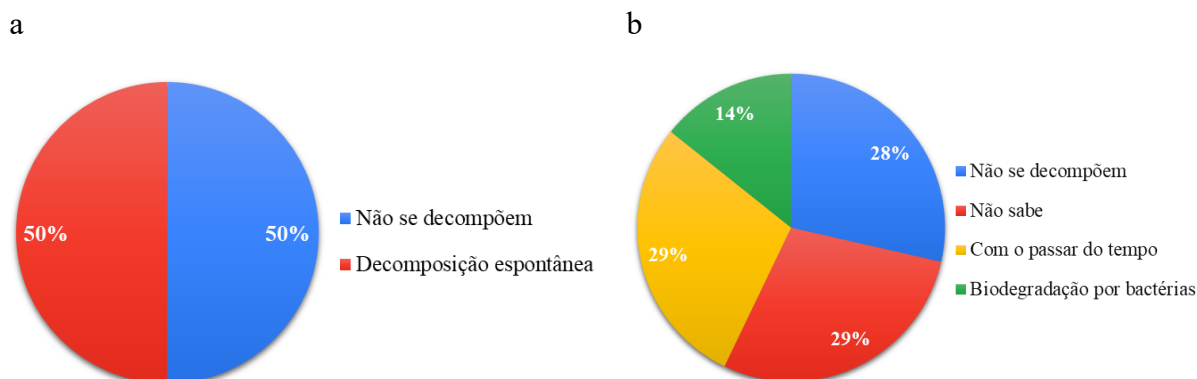
Figura VI.9. Percepção sobre fontes potenciais de microplásticos nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).



Na comunidade do Coqueiro, os dois participantes que afirmaram conhecer o termo microplástico apresentaram percepções distintas sobre sua decomposição no ambiente. Um entrevistado (50%) indicou que os microplásticos não se decompõem na natureza, enquanto o outro afirmou que a decomposição ocorre de forma espontânea (Figura 10a).

Na comunidade de Pau Deitado, predominou a percepção de que os microplásticos não se decompõem (28,6%) ou que sua decomposição ocorre apenas com o passar do tempo (28,6%) (Figura 10b). Outros 28,6% afirmaram não saber como ocorre esse processo, enquanto 14,3% relacionaram a decomposição à biodegradação por bactérias.

Figura VI.10. Percepção sobre a decomposição dos plásticos no ambiente nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).

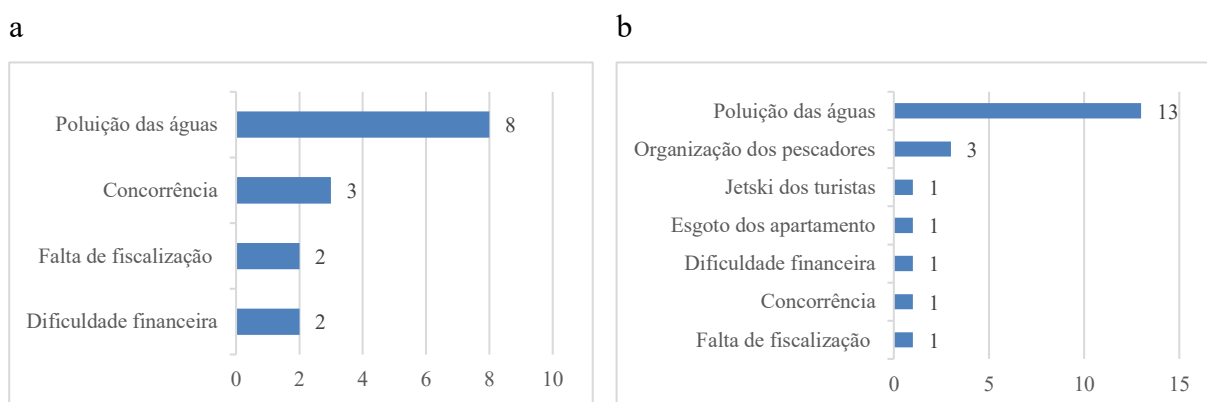


3.5 Percepção ambiental em relação a poluição ambiental

Os entrevistados da comunidade do Coqueiro indicaram a poluição das águas como a principal dificuldade enfrentada para a realização de atividade pesqueira (n=8), seguida pela concorrência entre pescadores (n=3), falta de fiscalização (n=2) e dificuldades financeira (n=2) (Figura 11a).

De forma similar, os entrevistados da comunidade Pau deitado apontaram a poluição das águas como a principal problema relacionado à atividade pesqueira (n=13). Outros fatores mencionados incluíram falta de organização dos pescadores (n=3), presença de jetskis de turistas, lançamento de esgoto, dificuldades financeiras, concorrência e ausência de fiscalização (n=1 para cada categoria) (Figura 11b).

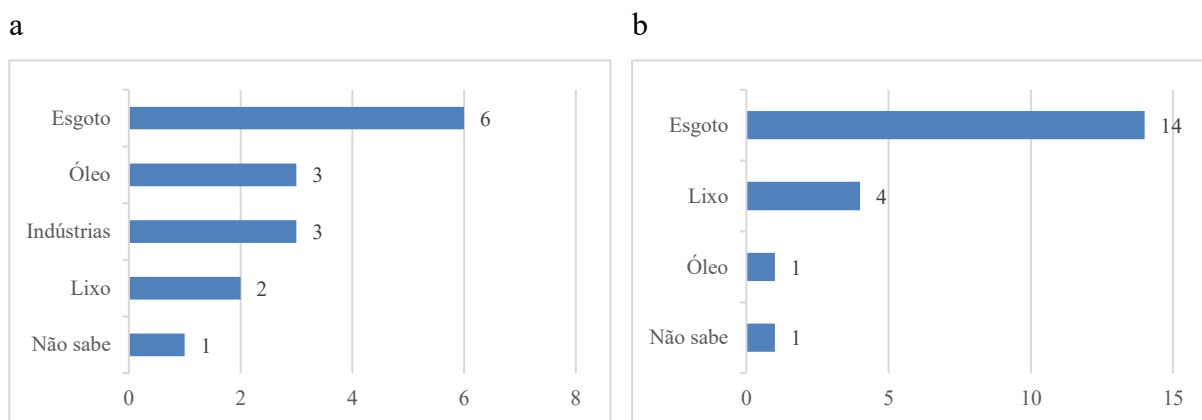
Figura VI.11. Percepção sobre as principais dificuldades para a atividade pesqueira nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).



Nas duas comunidades os entrevistados indicaram o esgoto como principal fonte de poluição ambiental (Figura 12). Na comunidade do Coqueiro, além do esgoto (n=6), também

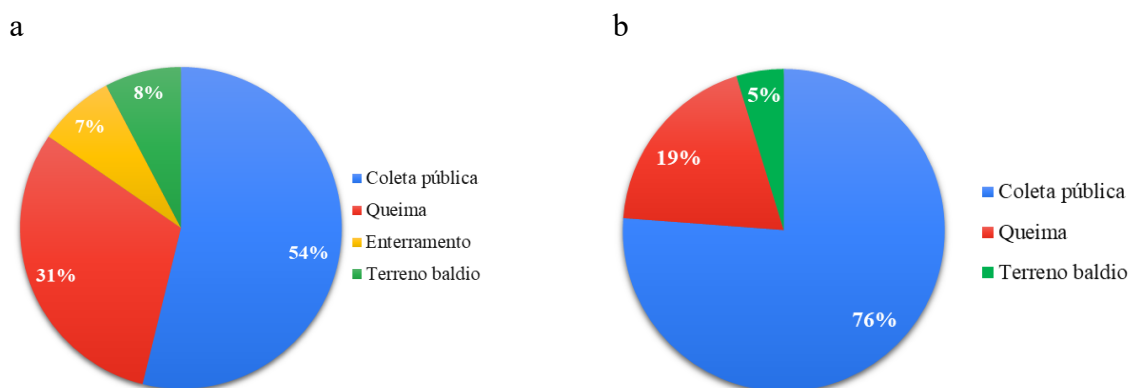
foram citados óleo e atividades industriais ($n=3$), bem como descarte de lixo ($n=2$) (Figura 12a). Em Pau Deitado, o esgoto apresentou frequência ainda mais elevada ($n=14$), seguido pelo lixo ($n=4$), enquanto óleo e a ausência de conhecimento sobre as fontes de poluição foram citados por apenas um entrevistado (Figura 12b).

Figura VI.12. Percepção sobre os tipos de poluição ambiental nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado(b).



Em relação ao manejo de resíduos sólidos, a maior parte dos participantes afirmou possuir acesso à coleta pública de lixo, correspondendo a 54% no Coqueiro e 76% em Pau Deitado (Figura 13). Entretanto, práticas inadequadas de descarte ainda foram registradas, especialmente na comunidade do Coqueiro, onde 31% dos entrevistados relataram queimar resíduos, 7% realizavam enterramento e 8% descartavam resíduos em terrenos baldios (Figura 13a). Em Pau Deitado, além da coleta pública, foram registrados relatos de queima de resíduos (19%) e descarte em terrenos baldios (5%) (Figura 13b).

Figura VI.13. Manejo de resíduos sólidos nas comunidades do Coqueiro (a) e do Pau deitado (b).



4 Discussão

O perfil socioeconômico dos entrevistados demonstrou que todos encontram-se em idade produtiva (IBGE, 2021) e a maior parte possui ensino fundamental incompleto. Este perfil é semelhante ao encontrado em outros estudos (Pinheiro et al. 2022; IMESC, 2025) e indica que a baixa escolaridade não decorre de fatores etários, mas possivelmente de fatores socioeconômicos e ocupacionais associados à dinâmica da pesca artesanal, como a dificuldade no ingresso e/ou a permanência na escola, devido a necessidade de auxiliar com a manutenção financeira familiar ou dificuldade de acesso as escolas, devido a distância das comunidades (Ferreira; Farias Filho; Ferreira, 2023).

A atividade pesqueira constitui uma importante base econômica para parte dos entrevistados, especialmente para os que se identificaram como pescadores, sendo apontada como única fonte de renda pela maioria dos participantes. Além disso, observou-se que a maioria dos pescadores é responsável pelo sustento de cinco ou mais pessoas e 40% dos entrevistados declararam receber algum tipo de auxílio governamental, evidenciando dependência familiar em relação à pesca artesanal e a presença de mecanismos complementares de suporte socioeconômico (Pinheiro et al. 2022).

Apesar desse cenário, parte dos participantes afirmaram que a renda é suficiente para suprir suas necessidades. Esse resultado pode refletir estratégias locais de adaptação econômica associadas ao custo de vida das comunidades. Esses dados são coerentes com achados de Ferreira; Farias Filho; Ferreira (2023), que destacaram a pesca artesanal na subsistência e dinâmica socioeconômica de comunidades tradicionais.

Em relação a atividade pesqueira, os entrevistados afirmaram que as espécies comercializadas são geralmente as mesmas que são consumidas. Além disso, foi relatado o uso de diferentes petrechos e locais de pesca. Os locais de pesca podem ser considerados indicadores de qualidade ambiental (Da Silva et al., 2014). Dessa forma, a mobilidade espacial relatada pelos pescadores pode estar relacionada tanto à busca por maior produtividade quanto à possível redução de estoques pesqueiros associada à degradação ambiental.

Em ambas as comunidades, o pescado representou uma das principais fontes de proteína animal. Esse padrão reforça a dependência direta dos recursos pesqueiros como principal fonte proteica em comunidades costeiras brasileiras (Begossi, 2006). A análise dos hábitos de consumo demonstra que os entrevistados utilizam de atributos sensoriais, especialmente a aparência, para realizar a escolha do pescado. Esse comportamento está alinhado com os resultados de Da Silva et al. (2012), que destacam a importância da avaliação visual na decisão de compra em mercados de São Luís.

Em relação a percepção ambiental sobre microplásticos, os resultados indicam baixo nível de conhecimento entre os entrevistados, especialmente na Comunidade do Coqueiro, o que evidencia que a conscientização pública sobre a poluição plástica pode não ser suficiente nas comunidades amostradas (Deng et al., 2020; Hossain, 2024). Apesar disso, os entrevistados que afirmaram conhecer o termo demonstraram reconhecer possíveis fontes geradoras de microplásticos, citando garrafas pet, sacola de supermercado, sapatos, pneus, pasta de dente, sabonetes e esfoliantes como produtos geradores de microplástico. Além disso, na comunidade do Coqueiro, um dos dois entrevistados afirmou adotar práticas de gestão adequadas, enquanto na comunidade do Pau Deitado essa prática foi relatada por quatro dos sete entrevistados.

Como fontes de informação os entrevistados citaram a internet, televisão, rádio, escola e conversa com familiares e amigos. Esse resultado demonstra a influência dos meios de comunicação e das relações sociais na construção da percepção ambiental das comunidades. Além disso, reforça a importância de divulgação de informações acessíveis sobre os microplásticos (Hossain, 2024), bem como sua importância na construção de discursos públicos e políticos relacionados a conscientização pública e ação política (Henderson; Green, 2020).

No contexto da percepção da comunidade em relação a poluição ambiental, a maior parte dos entrevistados acredita que o ecossistema está contaminado e que há pontos de poluição na própria baía, sendo o esgoto a principal fonte de poluição citada. Enquanto outros informaram que queimam, enterram ou realizam a disposição em terrenos baldios. Esses resultados indicam que a percepção ambiental isoladamente pode não ser suficiente para promover mudanças comportamentais (O'Brien; Thondhlana, 2019; Nuojua et al., 2024).

Estudos demonstram que fatores como conveniência, reutilização e a facilidade de obtenção influenciam o comportamento sobre o uso de plástico (O'Brien; Thondhlana, 2019; Hossain, 2024). Dessa forma, torna-se necessária a implantação de estratégias compatíveis com as realidades locais para mitigação da poluição plástica, incluindo melhorias na infraestrutura de gestão de resíduos, fortalecimento da legislação, políticas públicas eficazes e ações contínuas de educação ambiental (Henderson; Green, 2020). Concomitantemente, é fundamental a instalação de locais de descarte adequados, com a devida sinalização e fiscalização das normas (Wootton et al., 2022), assim como a gestão adequada de resíduos plásticos no âmbito local e estadual (Mendes et al. 2024)

Diante desse cenário, estratégias de mudança de comportamento também são relevantes e podem ser implantadas nas comunidades analisadas. Estratégias informativas, visuais, contextuais, sociais e pessoais têm sido apontadas como importantes ferramentas para promover mudanças relacionadas ao consumo e descarte de plástico (Nuojua et al., 2024; Dokl

et al., 2024).

Adicionalmente, a implantação de estratégias de economia circular é essencial, pois incentiva a reciclagem, a reutilização e a redução da produção de plástico, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12 e ODS 11). Além disso, medidas preventivas e políticas voltadas a proteção da saúde pública (ODS3), ações de gestão de resíduos para preservar a qualidade da água (ODS6), medidas que visem reduzir a poluição marinha e proteger a biodiversidade (ODS14) e estratégias de gestão do solo (ODS 15) são fundamentais para combater a poluição plástica (Elsheekh et al., 2021; Dokl et al., 2024; Stoett et al., 2024).

Portanto, o combate à poluição plástica exige abordagens interdisciplinares envolvendo cientistas ambientais, sociais e comportamentais, associadas à produção de dados de alta qualidade, fortalecimento das políticas públicas e utilização da educação ambiental como ferramenta de conscientização e transformação social (Henderson; Green, 2020; Wootton et al., 2022).

5 Conclusão

Os resultados demonstraram baixo nível de conhecimento das comunidades pesqueiras sobre a contaminação por microplásticos, apesar da percepção de que os ambientes locais apresentam diferentes formas de poluição ambiental. Considerando a forte dependência da pesca e da coleta de mariscos como base alimentar e econômica, essas comunidades podem apresentar maior vulnerabilidade à exposição a contaminantes associados aos recursos pesqueiros.

Além disso, a percepção da população sobre a degradação ambiental não foi suficiente para promover mudanças comportamentais relacionadas ao descarte inadequado de resíduos, evidenciando a necessidade de estratégias de educação ambiental e sensibilização social voltadas à realidade local.

Dessa forma, ações integradas envolvendo educação ambiental, gestão adequada de resíduos sólidos, fortalecimento de políticas públicas e estratégias de economia circular são fundamentais para reduzir a entrada de resíduos plásticos nos ecossistemas costeiros e minimizar seus impactos ambientais e sociais.

Referências

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

BEAUMONT, Nicola J. et al. Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 189-195, 2019.

BEGOSSI, Alpina. Temporal stability in fishing spots: conservation and co-management in Brazilian artisanal coastal fisheries. **Ecology and Society**, v. 11, n. 1, 2006.

BENNETT, Nathan James et al. Blue growth and blue justice: Ten risks and solutions for the ocean economy. **Marine Policy**, v. 125, p. 104387, 2021.

BOCKORNI, Beatriz Rodrigues Silva; GOMES, Almiralva Ferraz. A amostragem em snowball (bola de neve) em uma pesquisa qualitativa no campo da administração. **Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR**, v. 22, n. 1, 2021.

CARVALHO, Marina Rocha *et al.* Presence of microplastics in *Sciades herzbergii* (Bloch, 1794) captured in harbor areas of the Amazon coast, Maranhão, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 215, 1 jun. 2025.

CASTRO, A.C.L. Aspectos bioecológicos do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763), no estuário do Rio dos Cachorros e Estreito do Coqueiro. **Bol. Lab. Hidrobiol.**, São Luís, v.7, p.1-7, 1986.

DA SILVA, A. P. et al. Pesca artesanal brasileira: aspectos conceituais, históricos, institucionais e prospectivos. **Embrapa Pesca e Aquicultura**, 2014.

DA SILVA, Iran Alves et al. Perfil de consumidores do pescado comercializado em mercados do município de São Luís, Maranhão, Brasil. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 19, n. 1, p. 59-63, jan./abr. 2012.

DENG, Lingzhi et al. Public attitudes towards microplastics: Perceptions, behaviors and policy implications. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, p. 105096, 2020.

DOKL, Monika et al. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. **Sustainable Production and Consumption**, v. 51, p. 498-518, 2024.

ELSHEEKH, K. M. et al. Achieving sustainable development goals from the perspective of solid waste management plans. **Journal of Engineering and Applied Science**, v. 68, p. 1-15, 2021.

EVANGELISTA-BARRETO, Norma Suely et al. Indicadores socioeconômicos e percepção ambiental de pescadores em São Francisco do Conde, Bahia. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 3, p. 459-470, 2014.

FERREIRA, Lana Costa; FARIAS FILHO, Marcelino Silva; FERREIRA, Vitória Gleyce Sousa. Pesca artesanal e desenvolvimento socioeconômico do município de São João Batista – MA, Amazônia Oriental. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 40, n. 3, 2023.

HEIDBREDE, Lea Marie et al. Tackling the plastic problem: A review on perceptions, behaviors, and interventions. **Science of the total environment**, v. 668, p. 1077-1093, 2019.

HENDERSON, Lesley; GREEN, Christopher. Making sense of microplastics? Public understandings of plastic pollution. **Marine pollution bulletin**, v. 152, p. 110908, 2020.

HEO, Su Ji; MOON, Nalae; KIM, Ju Hee. A systematic review and quality assessment of estimated daily intake of microplastics through food. **Reviews on Environmental Health**, v. 40, n. 2, p. 371-392, 2025.

HOSSAIN, Md Shakhawat. People's attitudes regarding plastics and microplastics pollution: Perceptions, behaviors, and policy implications. **Marine Policy**, v. 165, p. 106219, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS (IMESC). **Atividade pesqueira no Maranhão: município de Raposa**. São Luís: IMESC, 2025. 49 p.

KAMALASEKARAN, Kavitha; SUNDRAMOORTHY, Ashok K. A review on microplastics: sources, environmental fate, degradation pathways, and analytical identification methods. **RSC advances**, v. 16, n. 15, p. 13851-13874, 2026.

KIBRIA, Golam. Impacts of microplastic on fisheries and seafood security—Global analysis and synthesis. **Science of the Total Environment**, v. 904, p. 166652, 2023.

LACERDA, D. M. A.; et al. Environmental Education Practices On Mangrove Plants In The Community Of Vila São Pedro, Paço Do Lumiar, Maranhão, Brazil. **RealizAção**. UFGD – Dourados, MS, v. 12, n. 23, p. 1 – 14, e025011, 2025.

LIU, Huanpeng et al. Toxic effects of microplastic and nanoplastic on the reproduction of teleost fish in aquatic environments. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-19, 2024.

MENDES, Dayene Santiago et al. Microplastic distribution and risk assessment in estuarine systems influenced by traditional villages and artisanal fishery activities. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 29044, 2024.

MILLER, Michaela E.; HAMANN, Mark; KROON, Frederieke J. Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. **PloS one**, v. 15, n. 10, p. e0240792, 2020.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Painel unificado do registro geral da atividade pesqueira.2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/cadastro-registro-e-monitoramento/painel-unificado-do-registro-geral-da-atividade-pesqueira>. Acesso em: 02 fev. 2026.

MUÑIZ, Rebecca; RAHMAN, Md Saydur. Microplastics in coastal and marine environments: A critical issue of plastic pollution on marine organisms, seafood contaminations, and human health implications. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 18, p. 100663, 2025.

NUOJUA, Sohvi et al. Global scoping review of behavioral interventions to reduce plastic pollution with recommendations for key sectors. **Conservation Science and Practice**, v. 6, n. 8, p. e13174, 2024.

O'BRIEN, Joshua; THONDHLANA, Gladman. Plastic bag use in South Africa: Perceptions, practices and potential intervention strategies. **Waste management**, v. 84, p. 320-328, 2019.

OCDE – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. **OECD Publishing**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>. Acesso em: 8 jun. 2025.

OLIVEIRA, K.A.; CORONA. H.M.P.A. 2008 Percepção ambiental como ferramenta de propostas educativas e de políticas ambientais. **ANAP Brasil – Revista Científica**, 1(1): 53-72.

PAL, Divya et al. Microplastics in aquatic systems: A comprehensive review of its distribution, environmental interactions, and health risks. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 32, n. 1, p. 56-88, 2025.

PEGADO, Tamiris et al. Ingestion of microplastics by hypanus guttatus stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine pollution bulletin**, v. 162, p. 111799, 2021.

PEREIRA, Diogo Cesar; MATTAR, Luciano; NEVES, Jorge Alexandre Barbosa. Determinantes da Percepção da Existência de Conflito Socioambiental: Evidências Empíricas de um Projeto de Educação Ambiental com Pescadores Artesanais. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 29, n. 3, p. 1-25, 2024.

PINHEIRO, Andreia de Lourdes Ribeiro et al. O uso de materiais audiovisuais como instrumento de Educação Ambiental em Comunidades Pesqueiras. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 10-25, 2022.

QUEIROZ, Arnaldo Fabrício dos Santos et al. First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of The Total Environment**, v. 839, p. 156259, 2022.

SAMANDRA, Subharthe et al. Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. **Science of the Total Environment**, v. 802, p. 149727, 2022.

SILVA, Marcelo et al. Determination of metals in estuarine fishes in a metropolitan region of the coastal zone of the Brazilian Amazon. **Marine Pollution Bulletin**, v. 186, p. 114477, 2023.

STOETT, Peter et al. **Global plastic pollution, sustainable development, and plastic justice**. **World Development**. Elsevier Ltd, 2024.

STOETT, Peter; VINCE, Joanna. The plastic–climate nexus. **Climate change and ocean governance: Politics and policy for threatened seas**, p. 345-361, 2019.

SUMAWAY, Alexandra Marie Naval et al. Uma revisão sistemática da percepção dos microplásticos e seus fatores: implicações nos ODS. **Futuros Sustentáveis**, v. 10, p. 101417, 2025.

THOMPSON, Richard et al. Lost at sea: where is all the plastic. **Science**, 2004, 304, 5672.

TORRES, Rafael; DE CARVALHO Giannella, Letícia. A Vulnerabilidade dos pescadores artesanais brasileiros: uma análise sociodemográfica. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 38, p. 162–185, 17 dez. 2020.

VINUTO, Juliana. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. 2014.

WOOTTON, Nina et al. Percepções da poluição plástica em uma importante área pesqueira: Construindo estratégias para orientar a gestão. **Marine Policy** , v. 135, p. 104846, 2022.

Análise da percepção ambiental de duas comunidades pesqueiras sobre contaminação ambiental por microplástico no nordeste brasileiro

Material suplementar 1. Documentos apresentados ao Comitê de Ética em Pesquisa.

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O (A) Senhor (a) está sendo convidado (a) a participar como voluntário (a) na pesquisa do projeto “*ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR MICROPLÁSTICO NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ, MARANHÃO, BRASIL*”, sob a responsabilidade do pesquisador e estudante ***Danielle de Jesus Silva***, sob orientação do do Prof. Dr. ***Marcelo Henrique Lopes Silva***.

Após ler e compreender as informações descritas abaixo, se você concordar em participar respondendo ao questionário, por favor, assine ao final deste documento. O mesmo será disponibilizado em duas vias: uma para você e a outra para o pesquisador.

O nosso objetivo é ” *Avaliar a contaminação por microplásticos nas regiões da Baía de São Marcos e da Baía de São José associada à percepção ambiental das comunidades pesqueiras*”, tendo como um dos objetivos específicos “*Avaliar a percepção das comunidades das baías de São Marcos e São José em relação a degradação do ambiente marinho decorrente da presença de microplásticos*”, visando subsidiar estratégia de educação ambiental e gestão de resíduos.

O (A) senhor (a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não será divulgado, sendo mantido o mais rigoroso sigilo através da omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação será *respondendo um questionário sobre informações pessoais e perguntas voltadas ao tema deste estudo durante abordagens nos mercados da cidade*, com um tempo estimado *de 15 minutos* para sua realização.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são *cansaço físico e desconforto pelo tempo gasto na entrevista. Caso sinta-se desconfortável, não precisará continuar a responder*. Se o senhor (a) aceitar participar, estará contribuindo para: *identificar fatores socioeconômicos relacionados à degradação do ambiente marinho decorrente da presença de microplásticos, assim como, fornecer subsídios para campanhas de conscientização e contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficientes de modo a minimizar*

a chegada de microplásticos no ambiente marinho. Se houver danos decorrentes da pesquisa, o participante terá direito a indenização determinada pelo Código Civil, Lei 10.406/2002 e Resolução CNS nº 510/2016.

O (a) Senhor (a) pode se recusar a responder, ou participar de qualquer procedimento e de qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o (a) senhor (a).

Não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação, que será voluntária.

Os resultados da pesquisa serão divulgados aqui através do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, localizado na Av. dos Portugueses, n. 1966, Campus Dom Delgado, podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais utilizados na pesquisa ficarão sobre a guarda do pesquisador.

Se o (a) Senhor (a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor, telefone para: Danielle de Jesus Silva, na Universidade Federal do Maranhão – UFMA, no telefone nº (98) 981249405, de segunda-feira a quarta-feira no horário das 9:00h às 12:00h, disponível inclusive para ligação a cobrar, ou pelo email danielle.js@discente.ufma.br.

Este projeto foi Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do (CEP/UFMA). O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas sobre os direitos do participante da pesquisa podem ser obtidas através do telefone: (61) 3272-8708 ou e-mail: cepufma@ufma.br.

O senhor (a) receberá uma via deste termo assinado onde consta o telefone e o endereço institucional do pesquisador principal e do CEP, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios da minha participação na pesquisa e concordo em participar.

Local e data: _____, _____ de _____ de _____.

Pesquisador

Participante

FORMULÁRIOS

Formulários vinculados a Dissertação de Mestrado intitulada “**ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR MICROPLÁSTICO NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ, MARANHÃO, BRASIL**”. O formulário a seguir foi elaborado para explorar e analisar as percepções ambientais acerca da poluição ambiental. Os resultados desta pesquisa são fundamentais para subsidiar estratégia de educação ambiental e gestão de resíduos.

Sua resposta é anônima e não será vinculado nome em qualquer tipo de publicação dos dados.

Sua colaboração é muito importante para o sucesso desta pesquisa.

Data: _____ **Nº:** _____

IDENTIFICAÇÃO PESCADOR/ CONSUMIDOR

1. Você realiza atividade de pesca? ☐ Sim ☐ Não

Obs: Se o entrevistado se identificar como pescador, seguir para o “Formulário Pescador”. Se o entrevistado não se identificar como pescador, seguir para o “Formulário Consumidor”.

2.A atividade de pesca é realizada com qual finalidade? ☐ RENDA ☐ LAZER

3. Em qual local realiza pesca? _____

PERFIL SOCIOECONÔMICO

1. Qual é a sua idade? _____

2. Qual seu sexo: ☐ F ☐ M

3. Qual a sua escolaridade?

☐ Sem alfabetização ☐ Assina o nome ☐ Fundamental incompleto ☐ Fundamental completo

☐ Ensino médio completo ☐ Ensino superior completo ☐ Ensino superior incompleto

4. Qual a renda mensal média da família?

☐ < 1 salário mínimo ☐ 1 salário mínimo ☐ > 1 a 3 salários mínimos ☐ > 3 a 5 salários mínimos ☐ > 5 salários mínimos

5. Quantas pessoas dependem diretamente da sua renda?

☐ 1 pessoa ☐ 2 pessoas ☐ 3 pessoas ☐ 4 pessoas ☐ 5 ou mais pessoas

6. Quantas pessoas residem na casa? _____

7. Quantas pessoas que moram com você trabalham? _____

8. A família possui outras fontes de renda?

☐ Emprego carteira assinada ☐ Autônomo ☐ Benefício do Governo. Qual?

9. Você diria que sua renda é suficiente para suprir todas as necessidades durante o mês?

Sim ☐ Não ☐ ☐ Não sei

FORMULÁRIO PESCADOR

AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A ATIVIDADE DE PESCA

1. Quantos dias por semana você pesca?

☐ 1 dia ☐ 2 dias ☐ 3 dias ☐ mais de 3 dias

2. Quais petrechos usados para praticar a pesca?

☐ Rede de arrasto ☐ Rede de Malha ☐ Tarrafas ☐

Outros _____

3. Das espécies capturadas, quais são vendidas?

—

4. Das espécies capturadas, quais ficam para consumo? _____

AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A ALIMENTAÇÃO (*POR FAVOR, MARQUE APENAS UMA OPÇÃO POR LINHA)

1. Com qual frequência você se alimenta de peixe e/ou mariscos?

☐ 1 vez por semana ☐ 2 vezes por semana ☐ 3 vezes por semana ☐ 4 vezes por semana

☐ todos os dias ☐ Não sabe informar

2. Com qual frequência você se alimenta de peixe e/ou mariscos pescados nessa região?

☐ 1 vez por semana ☐ 2 vezes por semana ☐ 3 vezes por semana ☐ 4 vezes por semana

☐ todos os dias ☐ Não sabe informar

3. Quais as 3 espécies mais consumidas por você e sua família?

4. Quais aspectos você leva em consideração para escolha do pescado?

☐ Preço ☐ Aspecto saudável ☐ Peixe preferido ☐ Outros. Quais?

**AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A PERCEPÇÃO DA
COMUNIDADE SOBRE MICROPLÁSTICOS NO AMBIENTE**

(Microplásticos são partículas de plástico menores que 5 mm)

1. Você já ouviu falar no termo microplástico?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, seguir com as próximas perguntas. Em caso negativo, encerrar essa sessão aqui.

2. Onde você ouviu falar no termo microplástico?

☐ Televisão ☐ Rádio ☐ Internet ☐ Colégio ou Faculdade ☐ Revistas ou Jornais

☐ Conversa com familiares ou amigos

3. Para você, quais desses produtos podem liberar microplástico?

☐ Garrafas Pet ☐ Sacola de supermercado ☐ Pasta de dente ☐ Sabonetes e esfoliantes

☐ Roupas ☐ Sapatos ☐ Pneus

4. Você acha que o microplástico pode prejudicar o meio ambiente e os animais?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

5. Você acha que o microplástico pode fazer mal para a saúde humana?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

6. Você acha que seu lixo gera microplástico no ambiente?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

7. Em sua residência, você e sua família separam o lixo comum do reciclado?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

8. Como você acha que os plásticos se decompõem na natureza?

☐ Biodegradação por bactérias ☐ Decomposição Espontânea ☐ Não se decompõem

☐ Degradação por Luz ☐ Degradação Oxidativa ☐

Outros _____

**AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A PERCEPÇÃO AMBIENTAL DA
COMUNIDADE (*POR FAVOR, MARQUE APENAS UMA OPÇÃO POR LINHA)**

1. Em sua opinião, qual é a principal dificuldade para a atividade pesqueira na região?

Poluição das águas ☐ Falta de organização dos pescadores ☐ Concorrência ☐ Falta de fiscalização ambiental ☐ Excesso de fiscalização ambiental ☐ Falta de capacitação ☐

Dificuldade financeira () Outros () _____

2. Você acha que a baía (São Marcos ou São José) está poluída?

() Sim () Não () Não sei

3. Você acha que há pontos de poluição na baía (São Marcos ou São José)?

() Sim () Não () Não sei

4. Quais tipo de poluição pode acontecer nesses locais?

() Lixo () Esgoto () Indústrias () Óleo () Não sabem () Nenhum

5. No local onde mora qual o destino dado ao lixo doméstico?

() Coleta Pública () Terreno Baldio () Enterramento () Queima

6. Onde você mora tem coleta de lixo?

() Sim () Não

7. Você adotaria novos procedimento para melhorar o meio ambiente?

() Sim () Não () Não sei

FORMULÁRIO CONSUMIDOR

AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A ALIMENTAÇÃO (*POR FAVOR, MARQUE APENAS UMA OPÇÃO POR LINHA)

1. Com qual frequência você se alimenta de peixe e/ou mariscos?

- ☐ 1 vez por semana ☐ 2 vezes por semana ☐ 3 vezes por semana ☐ 4 vezes por semana
☐ todos os dias ☐ Não sabe informar

2. Com qual frequência você se alimenta de peixe e/ou mariscos pescados nessa região?

- ☐ 1 vez por semana ☐ 2 vezes por semana ☐ 3 vezes por semana ☐ 4 vezes por semana
☐ todos os dias ☐ Não sabe informar

3. Quais as 3 espécies mais consumidas?

—

4. Quais aspectos você leva em consideração para escolha do pescado?

- ☐ Preço ☐ Aspecto Saudável ☐ Peixe Preferido ☐ Outros.

Quais? _____

AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A PERCEPÇÃO DA COMUNIDADE SOBRE MICROPLÁSTICOS NO AMBIENTE

(Microplásticos são partículas de plástico menores que 5 mm)

1. Você já ouviu falar no termo microplástico?

- ☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, seguir com as próximas perguntas. Em caso negativo, encerrar essa sessão aqui.

2. Onde você ouviu falar no termo microplástico?

- ☐ Televisão ☐ Rádio ☐ Internet ☐ Colégio ou Faculdade ☐ Revistas ou Jornais
☐ Conversa com familiares ou amigos

3. Para você, quais desses produtos podem liberar microplástico?

- ☐ Garrafas Pet ☐ Sacola de supermercado ☐ Pasta de dente ☐ Sabonetes e esfoliantes
☐ Roupas ☐ Sapatos ☐ Pneus

4. Você acha que o microplástico pode prejudicar o meio ambiente e os animais?

- ☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

5. Você acha que o microplástico pode fazer mal para a saúde humana?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

6. Você acha que seu lixo gera microplástico no ambiente?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

7. Em sua residência, você e sua família separam o lixo comum do reciclado?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

8. Como você acha que os plásticos se decompõem na natureza?

☐ Biodegradação por bactérias ☐ Decomposição Espontânea ☐ Não decompõem

☐ Degradação por Luz ☐ Degradação Oxidativa ☐

Outros _____

**AS QUESTÕES ABAIXO SÃO RELACIONADAS A PERCEPÇÃO AMBIENTAL DA
COMUNIDADE (*POR FAVOR, MARQUE APENAS UMA OPÇÃO POR LINHA)**

1. Em sua opinião, qual é a principal dificuldade para a atividade pesqueira na região?

Poluição das águas ☐ Falta de organização dos pescadores ☐ Concorrência ☐ Falta de

fiscalização ambiental ☐ Excesso de fiscalização ambiental ☐ Falta de capacitação ☐

Dificuldade financeira ☐ Outros ☐ _____

2. Você acha que a baía (São Marcos ou São José) está poluída?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

3. Você acha que há pontos de poluição na baía (São Marcos ou São José)?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

4. Quais tipo de poluição pode acontecer nesses locais?

☐ Lixo ☐ Esgoto ☐ Industrias ☐ Óleo ☐ Não sabem ☐ Nenhum

5. No local onde mora qual o destino dado ao lixo doméstico?

☐ Coleta Pública ☐ Terreno Baldio ☐ Enterramento ☐ Queima

6. Onde você mora tem coleta de lixo?

☐ Sim ☐ Não

7. Você adotaria novos procedimento para melhorar o meio ambiente?

☐ Sim ☐ Não ☐ Não sei

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstraram que a produção científica relacionada a microplástico no Brasil é concentrada em ambientes aquáticos, especialmente marinhos, com destaque para pesquisa com biota, revelando uma importante lacuna em relação aos demais compartimento. A limitada integração entre água, sedimentos e biota, bem como a escassez de estudos em ecossistemas terrestres, é um fator que compromete a compreensão da dinâmica desse poluente, assim como a ausência de pesquisa em tecidos comestíveis.

Além disso, as metodológicas utilizadas precisam urgentemente de padronização, principalmente em relação aos protocolos de digestão química, critérios de identificação e quantificação das partículas. Essas lacunas, comprometem a comparabilidade dos dados e impacta o conhecimento em relação a segurança alimentar e exposição humana.

No contexto regional, a detecção de microplásticos no estômago e no músculo dos peixes das baías de São Marcos e São José confirma a presença desse contaminante no Golfão Maranhense, com destaque para a Ilha dos Caranguejos, e sugere que o consumo de espécies da região pode representar uma via de exposição humana a microplásticos.

No entanto, o risco atual pode ser considerado baixo devido os valores apresentados. Ainda assim, a ingestão de alimentos contaminados é considerada a principal via de exposição a microplásticos. Logo comunidades que possuem essa proteína como base alimentar apresentam maior risco de exposição aos microplásticos e necessitam de maiores ações de monitoramento e gestão.

No contexto social, as comunidades estudadas apresentaram baixo nível de percepção em relação aos riscos associados aos microplásticos. Diante disso, a educação ambiental representa uma ferramenta fundamental para ampliar o conhecimento sobre o tema e modificar comportamentos. Paralelamente, a adoção de estratégias baseadas na economia circular, aliada à reorientação dos padrões de consumo e políticas públicas são essenciais para reduzir a entrada de plásticos no meio ambiente.

Portanto, é fundamental que estudos sobre microplásticos adotem abordagens padronizadas, interdisciplinares e colaborativa nos diferentes compartimentos, assim como incluam a utilização da educação para promover mudanças na conscientização e o fortalecimento dos processos de gestão e política públicas, visando subsidiar avaliações integradas sobre os riscos ambientais e impactos à saúde humana.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Melanie V. et al. Advancing plastic pollution hotspotting at the subnational level: Brazil as a case study in the Global South. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, p. 115382, 2023.
- ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, 2011.
- ANDRADY, Anthony L.; NEAL, Mike A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977–1984, 2009.
- AQUINO, Gleyce et al. Anthropogenic microparticles ingestion patterns in fish across trophic guilds in mangrove estuaries. **Hydrobiologia**, p. 1–21, 2026.
- BANAEE, Mahdi et al. Environmental toxicology of microplastic particles on fish: A review. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 287, p. 110042, 2025.
- BARNES, David K. A. et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985–1998, 2009.
- BELLI, Igor M. et al. A review of plastic debris in the South American Atlantic Ocean coast – Distribution, characteristics, policies and legal aspects. **Science of the Total Environment**, Elsevier B.V., 15 ago. 2024.
- BORRELLE, Stephanie B. et al. Why we need an international agreement on marine plastic pollution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 38, p. 9994–9997, 2017.
- BUGONI, Leandro; KRAUSE, Lígia; PETRY, Maria V. Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1330–1334, 2001.
- CARVALHO, Marina R. et al. Presence of microplastics in *Sciades herzbergii* (Bloch, 1794) captured in harbor areas of the Amazon coast, Maranhão, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 215, 1 jun. 2025.
- CASSIA, Gabriel F. M. Complexo portuário do Maranhão e desenvolvimento regional. 2023. 81p. **Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Socioeconômico)** – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.
- COLE, Matthew et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588–2597, 2011.
- DOKL, Monika et al. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. **Sustainable Production and Consumption**, v. 51, p. 498–518, 2024.
- DZIERŻYŃSKI, Eliaz et al. Microplastics in the human body: exposure, detection, and risk of carcinogenesis. **Cancers**, v. 16, 2024.
- EVANGELISTA-BARRETO, Norma S. et al. Indicadores socioeconômicos e percepção ambiental de pescadores em São Francisco do Conde, Bahia. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 3, p. 459–470, 2014.
- FAO. The state of food security and nutrition in the world 2017. Rome: FAO, 2017.

- FOLEY, Carolyn J. et al. Effects of exposure to microplastics in aquatic organisms. **Science of the Total Environment**, v. 631, p. 550–559, 2018.
- FARRELL, Paul; NELSON, Kathryn. Trophic level transfer of microplastic. **Environmental Pollution**, v. 177, p. 1–3, 2013.
- FEITOSA, Antonio C. Relevô do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, p. 1-11, 2006.
- FERREIRA, Leticia C.; AZEVEDO, Juliana S. What do we know about plastic pollution in Brazilian aquatic ecosystems? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 14, p. 22119–22130, 1 mar. 2024.
- GESAMP. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. Rep. Stud. GESAMP n. 99, 2019.
- GESAMP. Sea-based sources of marine litter. Rep. Stud. GESAMP n. 108, 2021.
- GINIGE, Maneesha P.; WARDEN, Andrew C.; KAKSONEN, Anna H. Towards a circular plastics economy. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 25, n. 2, 2026.
- HARTMANN, Nanna B. et al. Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 3, p. 1039–1047, 2019.
- IMO. Hull scrapings and marine coatings as a source of microplastics. London. **International Maritime Organization**, 2019.
- IVAR DO SUL, Juliana A.; COSTA, Monica F.; FILLMANN, Gilberto. Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands of the Western Tropical Atlantic Ocean. **Water, air, & soil pollution**, v. 225, p. 1-13, 2014.
- JEFROY, Madeline et al. Microplastics in sediments: a systematic review. **Chemosphere**, v. 396, p. 144849, 2026.
- JUSTINO, Anne K. S. et al. Contaminação por microplásticos em peixes tropicais. **Regional Studies in Marine Science**, v. 45, p. 101857, 2021.
- JUSTINO, Anne K.S. et al. From prey to predators: Evidence of microplastic trophic transfer in tuna and large pelagic species in the southwestern Tropical Atlantic. **Environmental Pollution**, v. 327, p. 121532, 2023.
- KIBRIA, Golam. Impacts of microplastic on fisheries and seafood security. **Science of the Total Environment**, v. 904, p. 166652, 2023.
- KUMAR, Rakesh et al. Impacts of plastic pollution on ecosystem services. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9963, 2021.
- LIMA, Aline R. A.; COSTA, Maria F.; BARLETTA, Mario. Distribution patterns of microplastics. **Environmental Research**, v. 132, p. 146–155, 2014.
- LIU, Huanpeng et al. Toxic effects of microplastic on fish reproduction. **Environmental Science and Pollution Research**, 2024.
- LORENZI, Luciano et al. Plastic floating debris in estuarine gradient. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 8797–8806, 2020.
- LUNDEBYE, Anne-Katrine; LUSHER, Amy L.; BANK, Michael S. Marine microplastics and seafood. In: **Microplastic in the environment**. Cham: Springer, 2021.

- LUSHER, Amy L. et al. Visual classification in microplastic characterization. **Applied Spectroscopy**, v. 74, n. 9, p. 1139–1153, 2020.
- MAZZOLI, C. et al. Plastics' leachates and ecotoxicity. **Journal of Hazardous Materials**, 2026.
- MENDES, Dayene Santiago et al. Microplastic distribution in estuarine systems. **Scientific Reports**, v. 14, 2024.
- MEPEX CONSULT AS. Primary microplastic pollution. Oslo: Norwegian Environment Agency, 2016.
- MILLER, Michaela E.; HAMANN, Mark; KROON, Frederieke J. Bioaccumulation and biomagnification. **PLOS ONE**, v. 15, n. 10, 2020.
- NAPPER, Imogen E.; THOMPSON, Richard C. Environmental deterioration of plastics. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 9, p. 4775–4783, 2019.
- NAPPER, Imogen E.; THOMPSON, Richard C. Plastic debris in the marine environment. **Global Challenges**, v. 4, n. 6, 2020.
- OLIVATTO, G. P. et al. Microplásticos no Antropoceno. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968–1989, 2018.
- PAL, Divya et al. Microplastics in aquatic systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 32, 2025.
- PEGADO, Tamiris et al. Ingestion of microplastics by *hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, p. 111799, 2021.
- PEREIRA, Luci C. C. et al. Maranhão beach systems, including the human impact on São Luís Beaches. In: **Brazilian Beach Systems**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 125-152.
- PITT, Jordan A. et al. Maternal transfer of nanoplastics. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 324–334, 2018.
- QAYOOM, Irteza et al. Microplastic contamination in the cryosphere. **iScience**, 2025.
- QUEIROZ, Arnaldo F. S. et al. First assessment of microplastic and artificial microfiber contamination in surface waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of the Total Environment**, v. 839, 2022.
- RYAN, Peter G. et al. Monitoring plastic debris. **Philosophical Transactions B**, v. 364, p. 1999–2012, 2009.
- SAMANDRA, Subharthe et al. Microplastic contamination in groundwater. **Science of the Total Environment**, v. 802, 2022.
- SIGMUND, Gabriel et al. Chemical pollution in biodiversity research. **Global Change Biology**, v. 29, n. 12, p. 3240–3255, 2023.
- SILVA, Marcelo H. L. et al. Fish assemblage structure. **Iheringia**, v. 108, 2018.
- STOETT, Peter et al. Global plastic pollution. **World Development**, 2024.
- STOETT, Peter; VINCE, Joanna. The plastic–climate nexus. In: **Climate change and ocean governance**. 2019.
- SUMAWAY, Alexandra M. N. et al. Microplastics perception. **Sustainable Futures**, v. 10, 2025.

THOMPSON, Richard et al. Lost at sea. **Science**, v. 304, n. 5672, 2004.

TRINDADE, Laiana et al. Microplastics in tropical estuaries. **Environmental Pollution**, v. 323, 2023.

WAGNER, Martin et al. Microplastics in freshwater ecosystems. **Environmental Sciences Europe**, v. 26, 2014.

WATTS, Andrew J. R. et al. Microplastic effects on gills. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 10, p. 5364–5369, 2016.

ZHANG, Yang et al. Indicators for monitoring microplastic pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 182, 2022.

ZHANG, Yulan et al. Atmospheric microplastics. **Earth-Science Reviews**, v. 203, 2020.

ANEXOS

Anexo 1

Diretrizes da revista e comprovação de submissão do Artigo 1 “Microplastics in aquatic environments of Brazil: a systematic review of methodological standards applied to collection, processing, and identification”.

Writing and formatting

File format

We ask you to provide editable source files for your entire submission (including figures, tables and text graphics). Some guidelines:

- Save files in an editable format, using the extension .doc/.docx for Word files and .tex for LaTeX files. A PDF is not an acceptable source file.
- Format Word files in a single-column layout. Double-column formatting is only permitted for LaTeX submissions.
- Remove any strikethrough and underlined text from your manuscript, unless it has scientific significance related to your article.
- Use spell-check and grammar-check functions to avoid errors.

We advise you to read our [Step-by-step guide to publishing with Elsevier](#).

Title page

You are required to include the following details in the title page information:

- Article title. Article titles should be concise and informative. Please avoid abbreviations and formulae, where possible, unless they are established and widely understood, e.g. DNA.
- Author names. Provide the given name(s) and family name(s) of each author. The order of authors should match the order in the submission system. Carefully check that all names are accurately spelled. If needed, you can add your name between parentheses in your own script after the English transliteration.
- Affiliations. Add affiliation addresses, referring to where the work was carried out, below the author names. Indicate affiliations using a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the corresponding address. Ensure that you provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the email address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence for your article at all stages of the refereeing and publication process and also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about your results, data, methodology and materials. It is important that the email address and contact details of your corresponding author are kept up to date during the submission and publication process.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in your article was carried out, or the author was visiting during that time, a "present address" (or "permanent address") can

be indicated by a footnote to the author's name. The address where the author carried out the work must be retained as their main affiliation address. Use superscript Arabic numerals for such footnotes.

Abstract

You are required to provide a concise and factual abstract which does not exceed 250 words. The abstract should briefly state the purpose of your research, principal results and major conclusions. Some guidelines:

- Abstracts must be able to stand alone as abstracts are often presented separately from the article.
- Avoid references. If any are essential to include, ensure that you cite the author(s) and year(s).
- Avoid non-standard or uncommon abbreviations. If any are essential to include, ensure they are defined within your abstract at first mention.

Keywords

You are required to provide 1 to 7 keywords for indexing purposes. Keywords should be written in English. Please try to avoid keywords consisting of multiple words (using "and" or "of").

We recommend that you only use abbreviations in keywords if they are firmly established in the field.

Highlights

You are encouraged to provide article highlights at submission.

Highlights are a short collection of bullet points that should capture the novel results of your research as well as any new methods used during your study. Highlights will help increase the discoverability of your article via search engines. Some guidelines:

- Submit highlights as a separate editable file in the online submission system with the word "highlights" included in the file name.
- Highlights should consist of 3 to 5 bullet points, each a maximum of 85 characters, including spaces.

We encourage you to view example [article highlights](#) and read about the benefits of their inclusion.

Units, classifications codes and nomenclature

Units

This journal requires you to use the international system of units (SI) which follows internationally accepted rules and conventions. If other units are mentioned within your article, you should provide the equivalent unit in SI.

Math formulae

- Submit math equations as editable text, not as images.
- Present simple formulae in line with normal text, where possible.
- Use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms such as X/Y.
- Present variables in italics.
- Denote powers of e by exp.
- Display equations separately from your text, numbering them consecutively in the order they are referred to within your text.

Tables

Tables must be submitted as editable text, not as images. Some guidelines:

- Place tables next to the relevant text or on a separate page(s) at the end of your article.
- Cite all tables in the manuscript text.
- Number tables consecutively according to their appearance in the text.

- Please provide captions along with the tables.
- Place any table notes below the table body.
- Avoid vertical rules and shading within table cells.

We recommend that you use tables sparingly, ensuring that any data presented in tables is not duplicating results described elsewhere in the article.

Figures, images and artwork

Figures, images, artwork, diagrams and other graphical media must be supplied as separate files along with the manuscript. We recommend that you read our detailed [artwork and media instructions](#). Some excerpts:

When submitting artwork:

- Cite all images in the manuscript text.
- Number images according to the sequence they appear within your article.
- Submit each image as a separate file using a logical naming convention for your files (for example, Figure_1, Figure_2 etc).
- Text graphics may be embedded in the text at the appropriate position. If you are working with LaTeX, text graphics may also be embedded in the file.

Figure captions

All images must have a caption. A caption should consist of a brief title (not displayed on the figure itself) and a description of the image. We advise you to keep the amount of text in any image to a minimum, though any symbols and abbreviations used should be explained.

Read how to add captions to your submission [here](#).

Artwork formats

When your artwork is finalized, "save as" or convert your electronic artwork to the formats listed below taking into account the given resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations:

- Vector drawings: Save as EPS or PDF files embedding the font or saving the text as "graphics."
- Color or grayscale photographs (halftones): Save as TIFF, JPG or PNG files using a minimum of 300 dpi (for single column width: min. 1063 pixels, full page width: 2244 pixels).
- Bitmapped line drawings: Save as TIFF, JPG or PNG files, using a minimum of 1000 dpi (for single column width: min. 3543 pixels, full page width: 7480 pixels).
- Combinations bitmapped line/halftones (color or grayscale): Save as TIFF, JPG or PNG files using a minimum of 500 dpi (for single column: min. 1772 pixels, full page width: 3740 pixels).

Please do not submit:

- Files that are too low in resolution.
- Disproportionally large images compared to font size, as text may become unreadable.

Color artwork

If you submit usable color figures with your accepted article, we will ensure that they appear in color online.

Please ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision. Learn more about [color and web accessibility](#).

Generative AI and Figures, images and artwork

Please read our policy on the use of generative AI and AI-assisted tools in figures, images and artwork, which can be found in Elsevier's [GenAI Policies for Journals](#). This policy states:

- We do not permit the use of Generative AI or AI-assisted tools to create or alter images in submitted manuscripts.
- The only exception is if the use of AI or AI-assisted tools is part of the research design or methods (for example, in the field of biomedical imaging). If this is the case, such use must be described in a reproducible manner in the methods section, including the name of the model or tool, version and extension numbers, and manufacturer.
- The use of generative AI or AI-assisted tools in the production of artwork such as for graphical abstracts is not permitted. The use of generative AI in the production of cover art may in some cases be allowed, if the author obtains prior permission from the journal editor and publisher, can demonstrate that all necessary rights have been cleared for the use of the relevant material, and ensures that there is correct content attribution.

Supplementary material

We encourage the use of supplementary materials such as applications, images and sound clips to enhance research.

Some guidelines:

- Supplementary material should be accurate and relevant to the research.
- Cite all supplementary files in the manuscript text.
- Submit all supplementary materials at the same time as your manuscript.
- Include a concise, descriptive caption for each supplementary file, describing its content.
- After submission supplementary files can only be added or replaced in the revision stage of the editorial process.
- Be aware that all supplementary materials provided will appear online in the exact same way as received. These files will not be checked, formatted or typeset by the production team.

Video

This journal accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. We encourage you to include links to video or animation files within articles. Some guidelines:

- When including video or animation file links within your article, refer to the video or animation content by adding a note in your text where the file should be placed.
- Clearly label files ensuring the given file name is directly related to the file content.
- Provide files in one of our [recommended file formats](#). Files should be within our preferred maximum file size of 150 MB per file, 1 GB in total.
- Provide "stills" for each of your files. These will be used as standard icons to personalize the link to your video data. You can choose any frame from your video or animation or make a separate image.
- Provide descriptive text in your manuscript to refer to the video content. This text helps ensure accessibility for visually impaired readers who rely on descriptive information. For journals publishing in print this is also essential, as video and animation files cannot be embedded in the print version.

We publish all video and animation files supplied in the electronic version of your article.

For more detailed instructions, we recommend that you read our guidelines on [submitting video content to be included in the body of an article](#).

Research data

We are committed to supporting the storage of, access to and discovery of research data, and our [research data policy](#) sets out the principles guiding how we work with the research community to support a more efficient and transparent research process.

Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings, which may also include software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Please read our guidelines on [sharing research data](#) for more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials.

Research data deposit, citation and linking

For this journal, **Option C** instructions from our [research data guidelines](#) apply. This means that you are **required** to:

- Deposit your research data in a relevant data repository.
- Cite and link to this dataset in your article.
- If this is not possible, make a statement explaining why research data cannot be shared.

Data statement

To foster transparency, you are required to state the availability of any data at submission.

Ensuring data is available may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you can state the reason why (e.g., your research data includes sensitive or confidential information such as patient data) during the submission process. This statement will appear with your published article on ScienceDirect.

Read more about the importance and benefits of providing a [data statement](#).

Data linking

Linking to the data underlying your work increases your exposure and may lead to new collaborations. It also provides readers with a better understanding of the described research.

If your research data has been made available in a data repository there are a number of ways your article can be linked directly to the dataset:

- Provide a link to your dataset when prompted during the online submission process.
- For some data repositories, a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.
- You can also link relevant data or entities within the text of your article through the use of identifiers. Use the following format: Database: 12345 (e.g. TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Learn more about [linking research data and research articles in ScienceDirect](#).

Co-submission of related data, methods or protocols

You are encouraged to publish a description of your research data, methods, or protocols related to your regular article as a co-submission article in [Data in Brief](#) or [MethodsX](#).

This co-submission can be submitted at the same time as your regular manuscript submission to this journal. If both your regular and co-submitted manuscripts are accepted for publication, they will be linked together on ScienceDirect, thereby promoting research reproducibility, interoperability, and open science.

- Prepare a separate manuscript describing your research data, methods, or protocols using the **mandatory templates** from [Data in Brief](#) or in [MethodsX](#).
- Submit this co-submission alongside your regular manuscript as a separate submission item; on the ‘**Attach files**’ page in Editorial Manager, after which it will be automatically forwarded to the *Data in Brief* or *MethodsX* and assigned an editor.
- For associated Article Processing Charge (APC) details, please visit:
 - [MethodsX](#)
 - [Data in Brief](#)

Please note: Due to the automated process of submitting to *Data in Brief* or *MethodsX*, only after acceptance will you be presented with a personalized OA Article Publishing Charge based on your individual context (your country, institutional affiliation, and any society membership for example).

Please visit [co-submission Researcher Support page](#) for more information on how to submit a co-submission.

Article structure

Article sections

- Divide your article into clearly defined and numbered sections. Number subsections 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), then 1.2, etc.
- Use the numbering format when cross-referencing within your article. Do not just refer to "the text."
- You may give subsections a brief heading. Headings should appear on a separate line.
- Do not include the article abstract within section numbering.

Theory and calculation

The theory section should lay the foundation for further work by extending the background you provided in the introduction to your article. The calculation section should represent a practical development from a theoretical basis.

Footnotes

We advise you to use footnotes sparingly. If you include footnotes in your article, ensure that they are numbered consecutively.

You may use system features that automatically build footnotes into text. Alternatively, you can indicate the position of footnotes within the text and present them in a separate section at the end of your article.

Acknowledgements

Include any individuals who provided you with help during your research, such as help with language, writing or proof reading, in the acknowledgements section.

Acknowledgements should be placed in a separate section which appears directly before the reference list. Do not include acknowledgements on your title page, as a footnote to your title, or anywhere else in your article other than in the separate acknowledgements section.

Author contributions: CRediT

Corresponding authors are required to acknowledge co-author contributions using [CRediT \(Contributor Roles Taxonomy\)](#) roles:

- Conceptualization
- Data curation

- Formal analysis
- Funding acquisition
- Investigation
- Methodology
- Project administration
- Resources
- Software
- Supervision
- Validation
- Visualization
- Writing – original draft
- Writing – review and editing

Not all CRediT roles will apply to every manuscript and some authors may contribute through multiple roles.

We advise you to read [more about CRediT and view an example of a CRediT author statement](#).

Appendices

We ask you to use the following format for appendices:

- Identify individual appendices within your article using the format: A, B, etc.
- Give separate numbering to formulae and equations within appendices using formats such as Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc. and in subsequent appendices, Eq. (B.1), Eq. (B. 2) etc. In a similar way, give separate numbering to tables and figures using formats such as Table A.1; Fig. A.1, etc.

References

References within text

Any references cited within your article should also be present in your reference list and vice versa. Some guidelines:

- References cited in your abstract must be given in full.
- We recommend that you do not include unpublished results and personal communications in your reference list, though you may mention them in the text of your article.
- Any unpublished results and personal communications included in your reference list must follow the standard reference style of the journal. In substitution of the publication date add "unpublished results" or "personal communication."
- References cited as "in press" imply that the item has been accepted for publication.

Linking to cited sources will increase the discoverability of your research. We encourage the use of Digital Object Identifiers (DOIs) as reference links, as they provide a permanent link to the electronic article referenced.

Before submission, check that all data provided in your reference list are correct, including any references which have been copied. Providing correct reference data allows us to link to abstracting and indexing services such as Scopus, Crossref and PubMed. Any incorrect surnames, journal or book titles, publication years or pagination within your references may prevent link creation.

Reference format

This journal does not set strict requirements on reference formatting at submission. Some guidelines:

- References can be in any style or format as long as the style is consistent.

- Author names, journal or book titles, chapter or article titles, year of publication, volume numbers, article numbers or pagination must be included, where applicable.

Our journal reference style will be applied to your article after acceptance, at proof stage. If required, at this stage we will ask you to correct or supply any missing reference data.

Reference style

All citations in the text should refer to:

- Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication.
- Two authors: both authors' names and the year of publication.
- Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations can be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa. Examples: "as demonstrated (Allan, 2020a, 2020b; Allan and Jones, 2019)" or "as demonstrated (Jones, 2019; Allan, 2020). Kramer et al. (2023) have recently shown".

The list of references should be arranged alphabetically and then chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Abbreviate journal names according to the [List of Title Word Abbreviations](#) (LTWA).

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Handgraaf, T., Lupton, R.A., 2020. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.sc.2020.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Handgraaf, T., Lupton, R.A., 2022. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in a book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2023. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 2023. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2023).

Reference to a dataset:

Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions [dataset]. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference to software:

Coon, E., Berndt, M., Jan, A., Svyatsky, D., Atchley, A., Kikinzon, E., Harp, D., Manzini, G., Shelef, E., Lipnikov, K., Garimella, R., Xu, C., Moulton, D., Karra, S., Painter, S., Jafarov, E., & Molins, S., 2020. Advanced Terrestrial Simulator (ATS) v0.88 (Version 0.88) [software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.

Web references

When listing web references, as a minimum you should provide the full URL and the date when the reference was last accessed. Additional information (e.g. DOI, author names, dates or reference to a source publication) should also be provided, if known.

You can list web references separately under a new heading directly after your reference list or include them in your reference list.

Data references

We encourage you to cite underlying or relevant datasets within article text and to list data references in the reference list.

When citing data references, you should include:

- author name(s)
- dataset title
- data repository
- version (where available)
- year
- global persistent identifier

Add [dataset] immediately before your reference. This will help us to properly identify the dataset. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

Preprint references

We ask you to mark preprints clearly. You should include the word "preprint" or the name of the preprint server as part of your reference and provide the preprint DOI.

Where a preprint has subsequently become available as a peer-reviewed publication, use the formal publication as your reference.

If there are preprints that are central to your work or that cover crucial developments in the topic, but they are not yet formally published, you may reference the preprint.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in popular reference management software products. These include products that support [Citation Style Language \(CSL\)](#) such as [Mendeley Reference Manager](#).

If you use a citation plug-in from these products, select the relevant journal template and all your citations and bibliographies will automatically be formatted in the journal style. We advise you to [remove all field codes](#) before submitting your manuscript to any reference management software product.

If a template is not available for this journal, follow the format given in examples in the reference style section of this Guide for Authors.

01/05/26, 20:50

Submit your manuscript | Regional Studies in Marine Science



Submit your manuscript

[Your submissions](#) [Account](#) [Sign out](#)


Regional Studies in Marine Science

This is a new submission service. Your [feedback](#) will help us improve it.

Your manuscript has now been submitted

Here's what you submitted

Submitted:	20:49, May 1, 2026
Journal:	<i>Regional Studies in Marine Science</i>
Article type:	Review Article
Title:	Microplastics in aquatic environments of Brazil: a systematic review of methodological standards applied to collection, processing, and identification
Authors:	1. Danielle de Jesus Silva Corresponding author daniellej.silva@hotmail.com Universidade Federal do Maranhão 2. Daniella Patrícia Brandão Silveira Universidade Federal do Maranhão 3. Danielle Viana Mendes Universidade Federal do Maranhão 4. Scarlleth Patricia Salomão da Silva Universidade Federal do Maranhão 5. Graziela Santos Leite Universidade Federal do Maranhão 6. Beatriz Câmara Xavier Universidade Federal do Maranhão 7. João Marcelo da Silva Abreu Universidade Federal do Maranhão 8. José de Ribamar Pinheiro Júnior Universidade Federal do Ceará 9. Antonio Carlos Leal de Castro Universidade Federal do Maranhão 10. James Werllen de Jesus Azevedo Universidade Federal do Maranhão 11. Marcelo Henrique Lopes Silva Universidade Federal do Maranhão

Anexo 2

Parecer consubstanciado do CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DO
MARANHÃO - UFMA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR MICROPLÁSTICO NAS BAÍAS DE SÃO MARCOS E SÃO JOSÉ, MARANHÃO, BRASIL

Pesquisador: MARCELO HENRIQUE LOPES SILVA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 84051924.3.0000.5087

Instituição Proponente: Universidade Federal do Maranhão

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.712.485

Apresentação do Projeto:

O presente projeto de pesquisa intitulado "Análise da contaminação ambiental por microplástico nas baías de São Marcos e São José, Maranhão, Brasil", trata de um estudo para identificar o nível de contaminação por microplásticos influenciados pelas atividades industriais, urbanas e portuárias, afetando a saúde dos ecossistemas marinhos e representando um potencial risco à saúde humana. Serão selecionadas três espécies de peixe adquiridos diretamente de pescadores artesanais ou de feiras públicas utilizando técnicas de coleta de amostras de peixes, seguida de procedimentos laboratoriais de separação, identificação e quantificação dos microplásticos presentes. A pesquisa também pretende verificar a percepção da população em relação à degradação do ambiente.

Para verificar a percepção da população em relação a degradação do ambiente marinho decorrente da presença de microplásticos, será aplicado um formulário dividido em cinco sessões (Perfil socioeconômico; Perfil da atividade de pesca; Hábito alimentar relacionado ao consumo de pescado; Percepção sobre o microplástico no ambiente; Percepção ambiental), utilizando a técnica de entrevistas com perguntas fechadas e abertas, em uma amostra da comunidade de São Marcos e São José. Junto ao formulário será inserido o Termo De Consentimento Livre e Esclarecido e TCLE para obter a concordância do participante.

Anexo 3

Diretrizes para submissão de manuscritos ao periódico *Marine Pollution Bulletin*, correspondentes aos Capítulos 2 e 3.

Writing and formatting

File format

We ask you to provide editable source files for your entire submission (including figures, tables and text graphics). Some guidelines:

- Save files in an editable format, using the extension .doc/.docx for Word files and .tex for LaTeX files. A PDF is not an acceptable source file.
- Format Word files in a single-column layout. Double-column formatting is only permitted for LaTeX submissions.
- Remove any strikethrough and underlined text from your manuscript, unless it has scientific significance related to your article.
- Use spell-check and grammar-check functions to avoid errors.

We advise you to read our [Step-by-step guide to publishing with Elsevier](#).

LaTeX

We encourage you use our [LaTeX template](#) when preparing a LaTeX submission. You will be asked to provide all relevant editable source files upon submission or revision.

Support for your LaTeX submission:

- [LaTeX submission instructions and templates](#)
- Journal Article Publishing Support Center [LaTeX FAQs and support](#)
- Researcher Academy's [Beginners' guide to writing a manuscript in LaTeX](#)

Title page

You are required to include the following details in the title page information:

- Article title. Article titles should be concise and informative. Please avoid abbreviations and formulae, where possible, unless they are established and widely understood, e.g. DNA.
- Author names. Provide the given name(s) and family name(s) of each author. The order of authors should match the order in the submission system. Carefully check that all names are accurately spelled. If needed, you can add your name between parentheses in your own script after the English transliteration.
- Affiliations. Add affiliation addresses, referring to where the work was carried out, below the author names. Indicate affiliations using a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the corresponding address. Ensure that you provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the email address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence for your article at all stages of the refereeing and publication process and also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about your results, data, methodology and materials. It is important that the email address and contact details of your corresponding author are kept up to date during the submission and publication process.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in your article was carried out, or the author was visiting during that time, a "present address" (or "permanent address") can be indicated by a footnote to the author's name. The address where the author carried out the work must be retained as their main affiliation address. Use superscript Arabic numerals for such footnotes.

Abstract

You are required to provide a concise and factual abstract which does not exceed 250 words. The abstract should briefly state the purpose of your research, principal results and major conclusions. Some guidelines:

- Abstracts must be able to stand alone as abstracts are often presented separately from the article.
- Avoid references. If any are essential to include, ensure that you cite the author(s) and year(s).
- Avoid non-standard or uncommon abbreviations. If any are essential to include, ensure they are defined within your abstract at first mention.

Keywords

You are required to provide 1 to 7 keywords for indexing purposes. Keywords should be written in English.

Please try to avoid keywords consisting of multiple words (using "and" or "of").

We recommend that you only use abbreviations in keywords if they are firmly established in the field.

Highlights

You are required to provide article highlights at submission.

Highlights are a short collection of bullet points that should capture the novel results of your research as well as any new methods used during your study. Highlights will help increase the discoverability of your article via search engines. Some guidelines:

- Submit highlights as a separate editable file in the online submission system with the word "highlights" included in the file name.
- Highlights should consist of 3 to 5 bullet points, each a maximum of 85 characters, including spaces.

We encourage you to view example [article highlights](#) and read about the benefits of their inclusion.

Graphical abstract

You are encouraged to provide a graphical abstract at submission.

The graphical abstract summarizes the contents of your article in a concise, pictorial, professional form, highlighting important aspects of the research. It is designed to appeal to an interdisciplinary audience, and draw more attention to your online article. Some guidelines:

- Ensure you have obtained the necessary permission to include any third party owned material in a graphical abstract.
- Use of generative AI or AI-assisted tools in the production of graphical abstracts must align with Elsevier's [GenAI Policies for Journals](#).
- Submit your graphical abstract as a separate file in the online submission system.
- Ensure the image is 531 x 1328 pixels (h x w) or proportionally more, and is readable at a size of 5 x 13 cm.
- Preferred file types for graphical abstracts are TIFF, EPS, PDF or MS Office files.

More information, examples and a template can be found in the [graphical abstract guidelines](#).

Tables

Tables must be submitted as editable text, not as images. Some guidelines:

- Place tables next to the relevant text or on a separate page(s) at the end of your article.
- Cite all tables in the manuscript text.
- Number tables consecutively according to their appearance in the text.
- Please provide captions along with the tables.
- Place any table notes below the table body.
- Avoid vertical rules and shading within table cells.

We recommend that you use tables sparingly, ensuring that any data presented in tables is not duplicating results described elsewhere in the article.

Figures, images and artwork

Figures, images, artwork, diagrams and other graphical media must be supplied as separate files along with the manuscript. We recommend that you read our detailed [artwork and media instructions](#). Some excerpts:

When submitting artwork:

- Cite all images in the manuscript text.
- Number images according to the sequence they appear within your article.
- Submit each image as a separate file using a logical naming convention for your files (for example, Figure_1, Figure_2 etc).
- Text graphics may be embedded in the text at the appropriate position. If you are working with LaTeX, text graphics may also be embedded in the file.

Figure captions

All images must have a caption. A caption should consist of a brief title (not displayed on the figure itself) and a description of the image. We advise you to keep the amount of text in any image to a minimum, though any symbols and abbreviations used should be explained.

Read how to add captions to your submission [here](#).

Artwork formats

When your artwork is finalized, "save as" or convert your electronic artwork to the formats listed below taking into account the given resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations:

- Vector drawings: Save as EPS or PDF files embedding the font or saving the text as "graphics."

- Color or grayscale photographs (halftones): Save as TIFF, JPG or PNG files using a minimum of 300 dpi (for single column width: min. 1063 pixels, full page width: 2244 pixels).
- Bitmapped line drawings: Save as TIFF, JPG or PNG files, using a minimum of 1000 dpi (for single column width: min. 3543 pixels, full page width: 7480 pixels).
- Combinations bitmapped line/halftones (color or grayscale): Save as TIFF, JPG or PNG files using a minimum of 500 dpi (for single column: min. 1772 pixels, full page width: 3740 pixels).

Please do not submit:

- Files that are too low in resolution.
- Disproportionally large images compared to font size, as text may become unreadable.

Color artwork

If you submit usable color figures with your accepted article, we will ensure that they appear in color online. Please ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision. Learn more about [color and web accessibility](#).

Generative AI and Figures, images and artwork

Please read our policy on the use of generative AI and AI-assisted tools in figures, images and artwork, which can be found in Elsevier's [GenAI Policies for Journals](#). This policy states:

- We do not permit the use of Generative AI or AI-assisted tools to create or alter images in submitted manuscripts.
- The only exception is if the use of AI or AI-assisted tools is part of the research design or methods (for example, in the field of biomedical imaging). If this is the case, such use must be described in a reproducible manner in the methods section, including the name of the model or tool, version and extension numbers, and manufacturer.
- The use of generative AI or AI-assisted tools in the production of artwork such as for graphical abstracts is not permitted. The use of generative AI in the production of cover art may in some cases be allowed, if the author obtains prior permission from the journal editor and publisher, can demonstrate that all necessary rights have been cleared for the use of the relevant material, and ensures that there is correct content attribution.

Supplementary material

We encourage the use of supplementary materials such as applications, images and sound clips to enhance research. Some guidelines:

- Supplementary material should be accurate and relevant to the research.
- Cite all supplementary files in the manuscript text.
- Submit all supplementary materials at the same time as your manuscript.
- Include a concise, descriptive caption for each supplementary file, describing its content.
- After submission supplementary files can only be added or replaced in the revision stage of the editorial process.
- Be aware that all supplementary materials provided will appear online in the exact same way as received. These files will not be checked, formatted or typeset by the production team.

Video

This journal accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. We encourage you to include links to video or animation files within articles. Some guidelines:

- When including video or animation file links within your article, refer to the video or animation content by adding a note in your text where the file should be placed.
- Clearly label files ensuring the given file name is directly related to the file content.
- Provide files in one of our [recommended file formats](#). Files should be within our preferred maximum file size of 150 MB per file, 1 GB in total.
- Provide "stills" for each of your files. These will be used as standard icons to personalize the link to your video data. You can choose any frame from your video or animation or make a separate image.
- Provide descriptive text in your manuscript to refer to the video content. This text helps ensure accessibility for visually impaired readers who rely on descriptive information. For journals publishing in print this is also essential, as video and animation files cannot be embedded in the print version.

We publish all video and animation files supplied in the electronic version of your article.

For more detailed instructions, we recommend that you read our guidelines on [submitting video content to be included in the body of an article](#).

Research data

We are committed to supporting the storage of, access to and discovery of research data, and our [research data policy](#) sets out the principles guiding how we work with the research community to support a more efficient and transparent research process.

Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings, which may also include software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Please read our guidelines on [sharing research data](#) for more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials.

Research data deposit, citation and linking

For this journal, **Option C** instructions from our [research data guidelines](#) apply. This means that you are **required** to:

- Deposit your research data in a relevant data repository.
- Cite and link to this dataset in your article.
- If this is not possible, make a statement explaining why research data cannot be shared.

Data statement

To foster transparency, you are required to state the availability of any data at submission.

Ensuring data is available may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you can state the reason why (e.g., your research data includes sensitive or confidential information such as patient data) during the submission process. This statement will appear with your published article on ScienceDirect.

Read more about the importance and benefits of providing a [data statement](#).

Data linking

Linking to the data underlying your work increases your exposure and may lead to new collaborations. It also provides readers with a better understanding of the described research.

If your research data has been made available in a data repository there are a number of ways your article can be linked directly to the dataset:

- Provide a link to your dataset when prompted during the online submission process.
- For some data repositories, a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.
- You can also link relevant data or entities within the text of your article through the use of identifiers. Use the following format: Database: 12345 (e.g. TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Learn more about [linking research data and research articles in ScienceDirect](#).

Co-submission of related data, methods or protocols

You are encouraged to publish a description of your research data, methods, or protocols related to your regular article as a co-submission article in [Data in Brief](#) or [MethodsX](#).

This co-submission can be submitted at the same time as your regular manuscript submission to this journal. If both your regular and co-submitted manuscripts are accepted for publication, they will be linked together on ScienceDirect, thereby promoting research reproducibility, interoperability, and open science.

- Prepare a separate manuscript describing your research data, methods, or protocols using the **mandatory templates** from [Data in Brief](#) or in [MethodsX](#).
- Submit this co-submission alongside your regular manuscript as a separate submission item; on the ‘**Attach files**’ page in Editorial Manager, after which it will be automatically forwarded to the *Data in Brief* or *MethodsX* and assigned an editor.
- For associated Article Processing Charge (APC) details, please visit:
 - [MethodsX](#)
 - [Data in Brief](#)

Please note: Due to the automated process of submitting to *Data in Brief* or *MethodsX*, only after acceptance will you be presented with a personalized OA Article Publishing Charge based on your individual context (your country, institutional affiliation, and any society membership for example).

Please visit [co-submission Researcher Support page](#) for more information on how to submit a co-submission.

Article structure

Article sections

Divide your manuscript into clearly defined sections covering all essential elements using headings.

Acknowledgements

Include any individuals who provided you with help during your research, such as help with language, writing or

proof reading, in the acknowledgements section.

Acknowledgements should be placed in a separate section which appears directly before the reference list. Do not include acknowledgements on your title page, as a footnote to your title, or anywhere else in your article other than in the separate acknowledgements section.

Author contributions: CRediT

Corresponding authors are required to acknowledge co-author contributions using [CRediT \(Contributor Roles Taxonomy\)](#) roles:

- Conceptualization
- Data curation
- Formal analysis
- Funding acquisition
- Investigation
- Methodology
- Project administration
- Resources
- Software
- Supervision
- Validation
- Visualization
- Writing – original draft
- Writing – review and editing

Not all CRediT roles will apply to every manuscript and some authors may contribute through multiple roles.

We advise you to read [more about CRediT and view an example of a CRediT author statement](#).

Appendices

We ask you to use the following format for appendices:

- Identify individual appendices within your article using the format: A, B, etc.
- Give separate numbering to formulae and equations within appendices using formats such as Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc. and in subsequent appendices, Eq. (B.1), Eq. (B. 2) etc. In a similar way, give separate numbering to tables and figures using formats such as Table A.1; Fig. A.1, etc.

References

References within text

Any references cited within your article should also be present in your reference list and vice versa. Some guidelines:

- References cited in your abstract must be given in full.
- We recommend that you do not include unpublished results and personal communications in your reference list, though you may mention them in the text of your article.
- Any unpublished results and personal communications included in your reference list must follow the standard reference style of the journal. In substitution of the publication date add "unpublished results" or "personal communication."
- References cited as "in press" imply that the item has been accepted for publication.

Linking to cited sources will increase the discoverability of your research. We encourage the use of Digital Object Identifiers (DOIs) as reference links, as they provide a permanent link to the electronic article referenced. Before submission, check that all data provided in your reference list are correct, including any references which have been copied. Providing correct reference data allows us to link to abstracting and indexing services such as Scopus, Crossref and PubMed. Any incorrect surnames, journal or book titles, publication years or pagination within your references may prevent link creation.

Reference format

This journal does not set strict requirements on reference formatting at submission. Some guidelines:

- References can be in any style or format as long as the style is consistent.
- Author names, journal or book titles, chapter or article titles, year of publication, volume numbers, article numbers or pagination must be included, where applicable.

Our journal reference style will be applied to your article after acceptance, at proof stage. If required, at this stage we will ask you to correct or supply any missing reference data.

Web references

When listing web references, as a minimum you should provide the full URL and the date when the reference

was last accessed. Additional information (e.g. DOI, author names, dates or reference to a source publication) should also be provided, if known.

You can list web references separately under a new heading directly after your reference list or include them in your reference list.

Data references

We encourage you to cite underlying or relevant datasets within article text and to list data references in the reference list.

When citing data references, you should include:

- author name(s)
- dataset title
- data repository
- version (where available)
- year
- global persistent identifier

Add [dataset] immediately before your reference. This will help us to properly identify the dataset. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

Preprint references

We ask you to mark preprints clearly. You should include the word "preprint" or the name of the preprint server as part of your reference and provide the preprint DOI.

Where a preprint has subsequently become available as a peer-reviewed publication, use the formal publication as your reference.

If there are preprints that are central to your work or that cover crucial developments in the topic, but they are not yet formally published, you may reference the preprint.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in popular reference management software products. These include products that support [Citation Style Language \(CSL\)](#) such as [Mendeley Reference Manager](#).

If you use a citation plug-in from these products, select the relevant journal template and all your citations and bibliographies will automatically be formatted in the journal style. We advise you to [remove all field codes](#) before submitting your manuscript to any reference management software product.

If a template is not available for this journal, follow the format given in examples in the reference style section of this Guide for Authors.