

## Poluição microplástica em um molusco bivalve comercial *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) em um estuário da Costa Amazônica Maranhense

Caio Brito Lourenço<sup>1\*</sup>, Milena Corrêa Nogueira<sup>2</sup>, José de Ribamar Lemos dos Santos<sup>3</sup>, Suellen Pinheiro Ribeiro<sup>4</sup>, Gilcimarques de Matos Ribeiro<sup>5</sup>, Ana Melissa de Moraes Câmara<sup>6</sup>, Yasmim Cristinne Oliveira Fonseca<sup>7</sup>, Beatriz Batista Muniz<sup>8</sup>, Maria Tereza Cantanhede Marques<sup>9</sup>, Isabel Cristina da Silva Almeida Funo<sup>10</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Ecologia Aplicada, Instituto Federal do Maranhão, Brasil. (\*Autor correspondente: caio.lourenco@ifma.edu.br)

<sup>2</sup>Graduada em Licenciatura em Ciências Agrárias, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>3</sup>Mestrando em Produção Animal, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>4</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>5</sup>Mestrando em Produção Animal, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>6</sup>Mestranda em Produção Animal, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>7</sup>Mestranda em Produção Animal, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

<sup>8</sup>Mestranda em Produção Animal, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil.

<sup>9</sup>Mestranda em Produção Animal, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil.

<sup>10</sup>Doutora em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Instituto Federal do Maranhão, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 12/06/2026 – Revisado em: 21/07/2026 – Aceito em: 30/07/2026

### RESUMO

A poluição por microplásticos representa uma crescente ameaça aos ecossistemas aquáticos, especialmente em ambientes costeiros e estuarinos sujeitos à intensa pressão antrópica. Nesse cenário, o presente estudo investigou a ocorrência e caracterização de microplásticos no molusco bivalve comercial *Anomalocardia flexuosa* (sarnambi), avaliando também o potencial da espécie como bioindicadora de poluição microplástica em um estuário da costa amazônica maranhense, Brasil. Foram analisados 58 indivíduos coletados em dois períodos sazonais distintos (estiagem e chuvoso) no estuário do Igarapé das Ostras, município de Raposa, Ilha de Upaon-Açu. Os tecidos moles foram submetidos à digestão química com KOH a 10%, seguida de filtração e identificação das partículas sob microscopia estereoscópica. Os microplásticos foram detectados em 94,8% das amostras analisadas, com abundância média de  $2,69 \pm 2,15$  MPs g<sup>-1</sup>. Embora tenham sido observadas variações sazonais, não houve diferença estatisticamente significativa entre os períodos avaliados. A análise morfológica revelou predominância de filamentos (91%), seguidos por fragmentos (7%) e filmes (2%), enquanto as cores azul e preta foram as mais frequentes. Esses resultados sugerem forte influência de fontes antrópicas, como efluentes domésticos, degradação de materiais têxteis e atividades pesqueiras. A ingestão humana estimada pelo consumo de *A. flexuosa* foi de aproximadamente 176 partículas por refeição. Os resultados indicam que *A. flexuosa* apresenta elevado potencial como bioindicadora de contaminação por microplásticos em ecossistemas estuarinos tropicais, além de evidenciar que o consumo desse recurso pode representar uma via potencial de exposição humana a microplásticos.

**Palavras-Chaves:** Plástico, molusco, Consumo humano, Água estuarina.

## Microplastic pollution in a commercial bivalve mollusk, *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767), in an estuary on the Amazonian coast of Maranhão

### ABSTRACT

Microplastic pollution represents a growing threat to aquatic ecosystems, especially in coastal and estuarine environments subject to intense anthropogenic pressure. In this context, the present study investigated the occurrence and characterization of microplastics in Lourenço, C. B., Nogueira, M. C., Santos, J. R. L., Ribeiro, S. P., Ribeiro, G. M., Câmara, A. M. M., Fonseca, Y. C. O., Muniz, B. B., Marques, M. T. C., & Funo, I. C. S. A. Poluição microplástica em um molusco bivalve comercial *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) em um estuário da Costa Amazônica Maranhense. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.14, n.2, p.281-298.



the commercial bivalve mollusk *Anomalocardia flexuosa* (sarnambi), also evaluating the species' potential as a bioindicator of microplastic pollution in an estuary on the Amazonian coast of Maranhão, Brazil. Fifty-eight individuals collected during two distinct seasonal periods (dry and rainy seasons) in the Igarapé das Ostras estuary, municipality of Raposa, Upaon-Açu Island, were analyzed. Soft tissues were subjected to chemical digestion with 10% KOH, followed by filtration and identification of particles under stereoscopic microscopy. Microplastics were detected in 94.8% of the analyzed samples, with an average abundance of  $2.69 \pm 2.15$  MPs g<sup>-1</sup>. Although seasonal variations were observed, there was no statistically significant difference between the periods evaluated. Morphological analysis revealed a predominance of filaments (91%), followed by fragments (7%) and films (2%), while blue and black were the most frequent colors. These results suggest a strong influence of anthropogenic sources, such as domestic effluents, degradation of textile materials, and fishing activities. The estimated human intake from the consumption of *A. flexuosa* was approximately 176 particles per meal. The results indicate that *A. flexuosa* has high potential as a bioindicator of microplastic contamination in tropical estuarine ecosystems and also show that the consumption of this resource may represent a potential route of human exposure to microplastics.

**Keywords:** Plastic, mollusk, human consumption, estuarine water.

## Contaminación por microplásticos en un molusco bivalvo comercial, *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767), en un estuario de la costa amazónica de Maranhão

### RESUMEN

La contaminación por microplásticos representa una amenaza creciente para los ecosistemas acuáticos, especialmente en ambientes costeros y estuarinos sometidos a una intensa presión antropogénica. En este contexto, el presente estudio investigó la presencia y caracterización de microplásticos en el molusco bivalvo comercial *Anomalocardia flexuosa* (sarnambi), evaluando también el potencial de la especie como bioindicador de contaminación por microplásticos en un estuario de la costa amazónica de Maranhão, Brasil. Se analizaron cincuenta y ocho individuos recolectados durante dos periodos estacionales distintos (temporada seca y lluviosa) en el estuario de Igarapé das Ostras, municipio de Raposa, isla Upaon-Açu. Los tejidos blandos se sometieron a digestión química con KOH al 10%, seguida de filtración e identificación de partículas bajo microscopía estereoscópica. Se detectaron microplásticos en el 94,8% de las muestras analizadas, con una abundancia promedio de  $2,69 \pm 2,15$  MPs g<sup>-1</sup>. Aunque se observaron variaciones estacionales, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los periodos evaluados. El análisis morfológico reveló un predominio de filamentos (91%), seguido de fragmentos (7%) y películas (2%), siendo el azul y el negro los colores más frecuentes. Estos resultados sugieren una fuerte influencia de fuentes antropogénicas, como efluentes domésticos, degradación de materiales textiles y actividades pesqueras. La ingesta humana estimada por el consumo de *A. flexuosa* fue de aproximadamente 176 partículas por comida. Los resultados indican que *A. flexuosa* tiene un alto potencial como bioindicador de contaminación por microplásticos en ecosistemas estuarinos tropicales, y también muestran que el consumo de este recurso puede representar una vía potencial de exposición humana a los microplásticos.

**Palabras clave:** Plástico, moluscos, consumo humano, agua estuarina.

### 1. Introdução

Nos últimos anos a produção mundial de plástico tem aumentado constantemente, chegando a aproximadamente 400,3 milhões de toneladas em 2022 (Plastics Europe, 2023). Com o uso em larga escala e o descarte irregular do plástico, estima-se que 85% desses resíduos estejam nos oceanos, e que até 2040 a quantidade de resíduos plásticos no oceano esteja entre 23 e 37 milhões de toneladas (UNEP, 2022). Essa contaminação pode vir em forma de microplástico que são definidos como qualquer partícula sólida de materiais poliméricos, com dimensões entre 1 µm a 5 mm, podendo serem de origem primária e secundária (Frias & Nash, 2019).

Com a ampla disponibilidade dos microplásticos nesses ambientes, muitas espécies acabam se contaminando através da ingestão, inalação e absorção (Bruzaca, 2021), gerando riscos à saúde desses organismos como alterações degenerativas e acumulação de poluentes químicos (Bruzaca et al., 2022). Dentro desse cenário, os moluscos bivalves estão ganhando atenção crescente como organismos indicadores, pois

possuem características como a filtragem de partículas na coluna de água e próximas ao solo e vasta distribuição, possibilitando assim a retenção de possíveis contaminantes em diversos estratos e ambientes.

Estudos ressaltam que bioindicadores são instrumentos estratégicos para observar a contaminação por plásticos e posicionam os bivalves entre os grupos mais promissores para análises temporais e espaciais, principalmente em regiões costeiras e estuarinas afetadas pela intervenção humana (Savoca et al., 2025). Pesquisas recentes em estuários urbanos revelam que a poluição por microplásticos em bivalves está ligada a alterações provocadas pelo homem na paisagem, densidade populacional e características ambientais da região, destacando a importância desses organismos em iniciativas de monitoramento ambiental (Ribeiro et al., 2025; Cesarini et al., 2025).

Em ecossistemas de manguezais tropicais, a detecção de microplásticos em bivalves destinados à alimentação humana enfatiza a urgência de investigações regionais, incluindo comparações entre diferentes espécies, ambientes e níveis de urbanização (Rabelo et al., 2025). De forma geral, esses resultados sugerem que a costa brasileira, incluindo a sua área amazônica, já possui evidências suficientes para fundamentar pesquisas mais específicas sobre espécies comerciais e zonas de uso tradicional.

Nesse contexto, a espécie de molusco bivalve, *Anomalocardia flexuosa*, conhecida popularmente como sarnambi, é um bivalve filtrador e está principalmente ligado a fundos areno-lamosos em áreas de intermarés e em zonas rasas protegidas (Pereira et al., 2017). Apresenta ampla tolerância a variações ambientais, sendo encontrado tanto em ambientes marinhos (baías e regiões entre-marés) quanto em sistemas estuarinos (Oliveira et al., 2025). Possui grande importância econômica e ampla distribuição na região costeira do Brasil (Rios, 1994; Trocon & Avelar, 2011; Pezzuto & Souza, 2015; Gomes et al., 2019).

A espécie *A. flexuosa*, desempenha um papel ecológico significativo, além de ser relevante para a atividade da mariscagem e a alimentação ao longo da costa brasileira, estando intimamente relacionada à coleta costeira (Mourão et al., 2021). Pesquisas recentes sugerem que a espécie tem grande potencial para a aquicultura, com possibilidade de reprodução para uso comercial, mostrando também uma sensibilidade a fatores ambientais como níveis de sal e chuvas (Lopes et al., 2023).

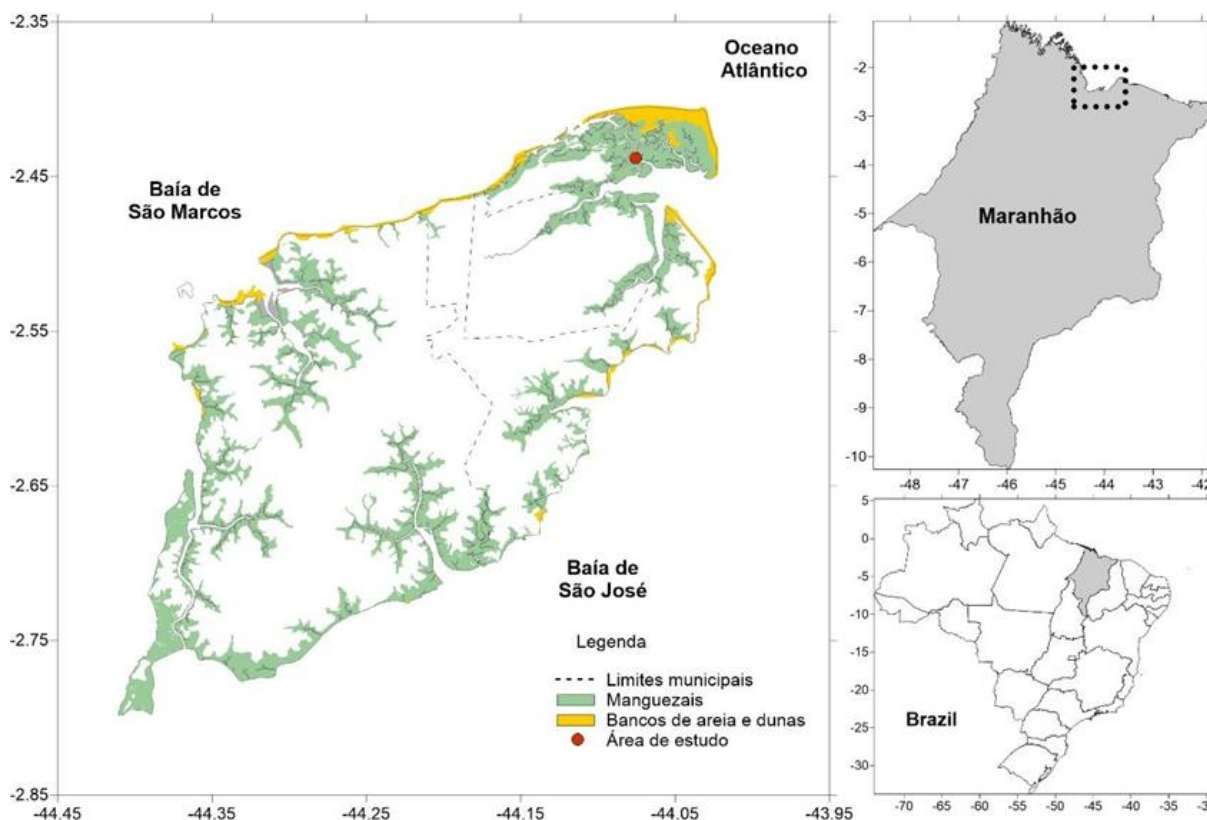
Na ilha de Upaon-Açu, no litoral maranhense, o sarnambi é cultural e alimentarmente relevante na área metropolitana de São Luís, e estudos socioeconômicos destacam a coleta de mariscos como uma atividade essencial para as comunidades tradicionais (Lima et al., 2024). Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo investigar a ingestão de microplástico em sarnambi (*A. flexuosa*) e avaliar a espécie como bioindicadora de poluição microplástica em um estuário na costa Amazônica Maranhense, Brasil.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

O estuário do Igarapé das Ostras na Costa Amazônica Maranhense, está localizado no município de Raposa, situado no quadrante nordeste da Ilha Upaon-Açu, entre as coordenadas geográficas 2° 24' e 2° 28' de latitude sul e 44° 01' e 44° 06' de longitude oeste (Figura 1).

**Figura 1** – Área de estudo no estuário de Igarapé das Ostras, município de Raposa, Maranhão, Brasil  
**Figure 1** - Study area in the Igarapé das Ostras estuary, municipality of Raposa, Maranhão, Brazil



Fonte: Autores (2026).

Source: Authors (2026).

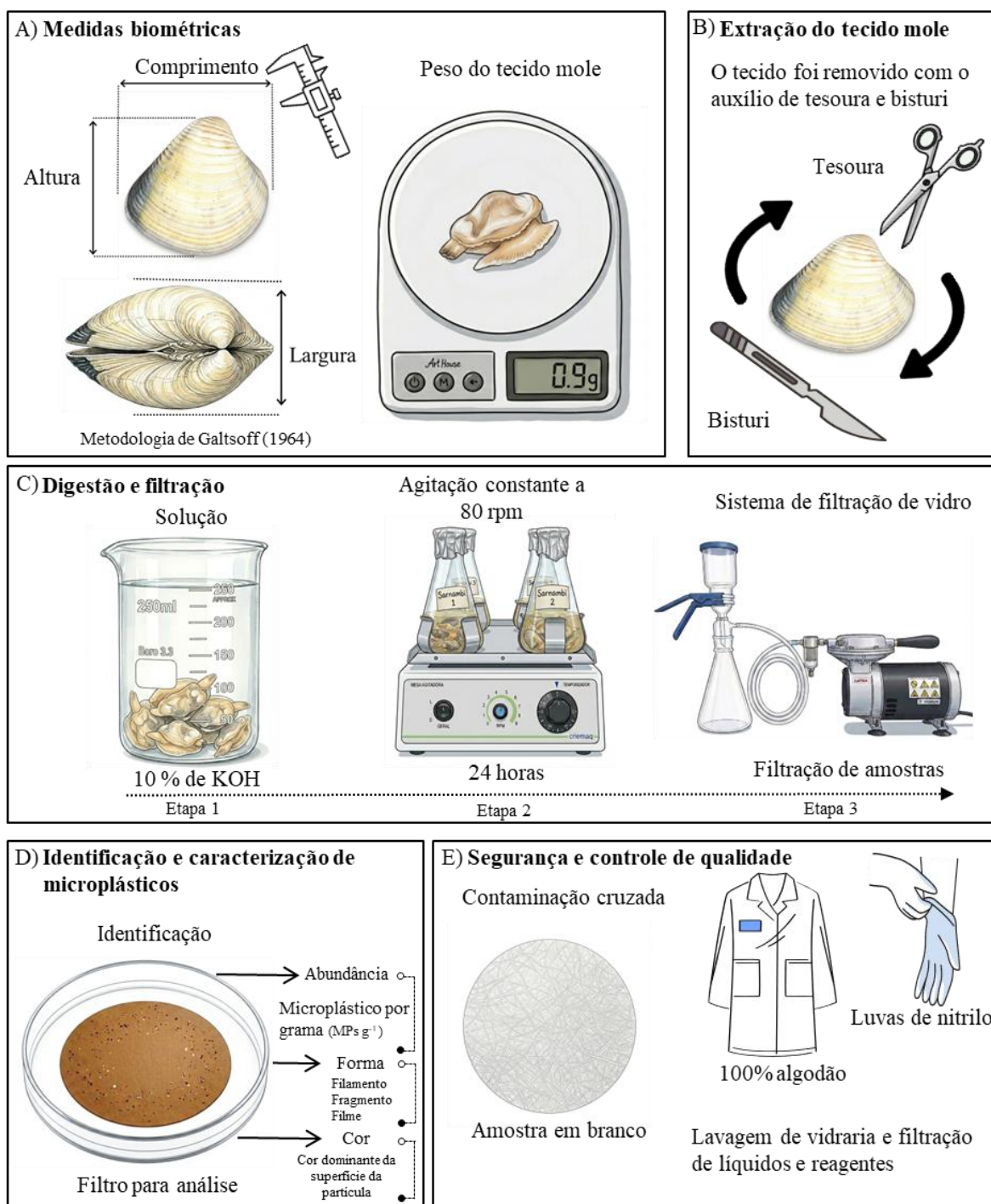
A região estuarina de Raposa compõe a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMa), que percorre uma área com cerca de 650 km de litoral em linha reta, abrangendo desde a Baía de Marajó (Pará) até a Ponta de Tubarão, na Baía de São José (Maranhão) (Souza Filho, 2005). O estuário da região possui uma tendência de velocidade da corrente da água influenciada pela pluviometria, principalmente em áreas estuarinas, devido ao acréscimo de água no sistema e a velocidade dos ventos (Costa, 2007).

Possui um clima úmido da região amazônica, a precipitação anual varia de 1.600 a 2.000 mm, com temperaturas do ar e da água variando de 29 a 31°C e de 20 a 26°C, respectivamente (Fialho, 2002). No estado do Maranhão, predominam dois períodos sazonais distintos: o período chuvoso e o período de estiagem (Nascimento et al., 2017). Dessa forma, para avaliar a ingestão por microplásticos no bivalve comercial *Anomalocardia flexuosa* em estuário amazônico, estabeleceu-se o período de estiagem, compreendendo os meses de junho a novembro, e o período chuvoso entre dezembro a maio (Moraes et al., 2005).

### 2.1.1 Procedimentos Metodológicos (amostragem)

Os indivíduos de sarnambis foram coletados diretamente na zona entremarés do estuário, em solo arenoso, com auxílio das mãos. Foram realizadas duas coletas de campo em dois períodos sazonais: no período de estiagem e no período chuvoso.

**Figura 2** – Fluxograma das principais etapas metodológicas aplicadas no estudo do bivalve marinho comercial *Anomalocardia flexuosa*  
**Figure 2** - Flowchart of the main methodological steps applied in the study of the commercial marine bivalve *Anomalocardia flexuosa*



Fonte: Autores (2026).  
 Source: Authors (2026).

Em cada coleta de campo, foram selecionados 29 indivíduos aleatoriamente. Após as coletas, os indivíduos foram armazenados em embalagens de alumínio e transportados para o Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) do Instituto Federal do Maranhão (IFMA). Em laboratório, utilizando um paquímetro de precisão (0,01 mm), foram mensuradas as variáveis biométricas dos indivíduos, consistindo em comprimento total da concha (mm), largura da concha (mm) e altura da concha (mm), conforme metodologia proposta por Galtsoff (1964). Para extração dos tecidos moles dos indivíduos, foram usados um bisturi e tesoura cirúrgica; posteriormente, foi aferido o peso dos tecidos com a utilização de uma balança de três dígitos (Figura 2).

## 2.2 Segurança e controle de qualidade

Para evitar contaminação cruzada no laboratório, medidas de segurança e controle de qualidade foram utilizadas durante todas as análises, incluindo o uso de luvas de nitrilo e jalecos de algodão. As substâncias líquidas (reagentes e água destilada filtrada) que foram utilizadas nas análises, foram filtradas com filtros de membrana com porosidade de 20  $\mu$ m e 47 mm de diâmetro. Os materiais de laboratório, como vidraria e utensílios, foram lavados três vezes com água destilada e, depois, coberto com papel alumínio. A bancada e o microscópio foram higienizados antes, durante e depois de cada análise de amostra. Além disso, durante as análises, foram expostas em placas de Petri filtros em branco a cada dez amostras, com a finalidade de identificar uma possível contaminação por microplásticos presente no ar da sala de análise (Figura 2).

## 2.3 Análise das amostras

Após a extração dos tecidos moles dos sarnambis, estes foram enxaguados com água destilada filtrada e adicionados em béqueres de 250 mL contendo 100 mL de KOH a 10% para digestão. Todos os recipientes foram cobertos com papel alumínio e colocados em uma incubadora oscilante a 80 rpm por 24 h. Após a digestão completa, as amostras foram filtradas a vácuo através de um filtro de microfibra de vidro, com tamanho de poro de 20  $\mu$ m e 47 mm de diâmetro. Cada filtro foi colocado em uma placa de Petri de vidro limpa para observação em microscópio estereoscópico com câmera digital, com o objetivo de identificar, quantificar, caracterizar os microplásticos presentes, de acordo com a metodologia estabelecida por Li et al. (2015) (Figura 2).

## 2.4 Identificação e caracterização dos microplásticos

Os microplásticos identificados nos filtros foram registrados de acordo com a sua abundância, forma e cor (Figura 2). A abundância dos MPs foi descrita em número de partículas por grama (MPs  $g^{-1}$ ), expressos em média  $\pm$  desvio padrão. As formas foram classificadas em filamentos, fragmentos e filmes. As cores foram determinadas com base na cor dominante da superfície da partícula, de acordo com metodologia de Li et al. (2015).

## 2.5 Estimativa de ingestão humana

A ingestão humana foi elaborada com base na metodologia estabelecida por Rabelo et al. (2025), sendo calculada através dos dados do peso do tecido mole e as concentrações dos MPs observadas nos indivíduos. Estabeleceu-se o uso de 30 unidades de sarnambi em um prato de porção de consumo, quantidade usualmente consumida na costa maranhense. Esses 30 indivíduos foram multiplicados pelo peso médio do tecido mole dos dois períodos sazonais. Obtendo esse valor, multiplicou-se pela concentração média de microplásticos dos dois períodos sazonais. Dessa forma, obteve o valor do consumo *per capita* da ingestão humana de MPs pelo consumo de bivalve marinho comercial *A. flexuosa*.

## 2.6 Análises estatísticas

A identificação das premissas de normalidade e homogeneidade dos dados obtidos foram por meio dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene. Observou-se que os dados apresentaram distribuição normal, dessa forma, aplicou-se o teste t e de ANOVA One-way para observar o nível de significância dos dados que foi estabelecido em  $p < 0,05$ . As análises foram aplicadas para determinar as diferenças na abundância de microplásticos, forma e cor entre os diferentes períodos sazonais. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico PAST 4.03 (Hammer et al., 2001).

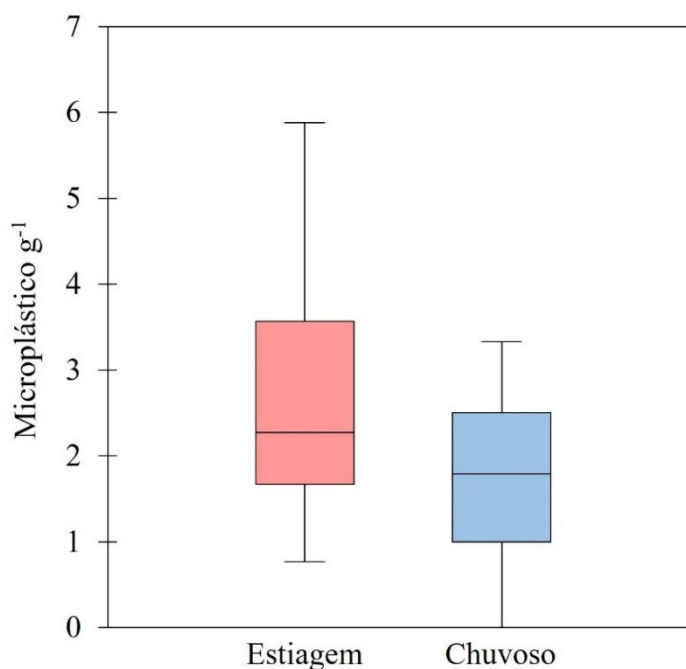
## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Abundância

Foram identificados microplásticos em 94,8% das amostras de sarnambis, com apenas três amostras do período de estiagem com ausência de partículas, no estuário do Igarapé das Ostras. Na análise do tecido mole dos sarnambis, observou-se uma abundância média de  $2,69 \pm 2,15$  MPs  $g^{-1}$ , sendo no período de estiagem de  $3,03 \pm 1,96$  MPs  $g^{-1}$  e  $2,34 \pm 2,24$  MPs  $g^{-1}$  no período chuvoso (Figura 3).

**Figura 3** – Boxplot de microplásticos por grama em *Anomalocardia flexuosa* em um estuário da Costa Amazônica Maranhense

**Figure 3** - Boxplot of microplastics per gram in *Anomalocardia flexuosa* in an estuary on the Amazonian coast of Maranhão



**Fonte:** Autores (2026).

**Source:** Authors (2026).

Embora haja uma diferença entre as médias dos períodos sazonais, não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,22$ ). Foi realizada uma análise de regressão para determinar a relação das variáveis



biométricas (comprimento, altura, largura e peso) com a concentração de microplásticos, no entanto, não foi significativa.

O bivalve *Anomalocardia flexuosa*, por se tratar de uma espécie pouco estudada no Brasil quando comparada com outras espécies de moluscos bivalves, ainda são escassos os estudos relacionados com a contaminação microplástica. Apenas um estudo foi realizado com a mesma espécie no nordeste brasileiro, especificamente no estado de Pernambuco, onde foram identificados resultados similares aos encontrados na presente pesquisa, com médias de  $3,66 \pm 2,59$  MPs  $g^{-1}$  (Bruzaca et al., 2022).

Em outros estudos realizados com bivalves, foram observados resultados inferiores aos do presente estudo. No Espírito Santo, no bivalve de areia *Donax hanleyanus*, foram identificadas concentrações médias de  $1,35 \pm 1,76$  MPs  $g^{-1}$  (Dalbó et al., 2025). Do mesmo modo, em ostras *Crassostrea gasar* em estuários amazônicos do estado do Pará, evidenciaram concentrações médias de  $0,23$  MPs  $g^{-1}$  (Pantoja et al., 2024). Além do mais, em três espécies de moluscos comerciais - *Crassostrea gigas*, *Perna perna* e *Nodipecten nodosus* - em Santa Catarina com concentrações de  $0,08 \pm 0,05$  MPs  $g^{-1}$ ,  $0,04 \pm 0,06$  MPs  $g^{-1}$  e  $0,07 \pm 0,02$  MPs  $g^{-1}$ , respectivamente (Brocardo et al., 2025).

A elevada concentração de microplásticos observada nos sarnambis pode ser atribuída à proximidade da área de coleta ao centro urbano do município de Raposa e a região metropolitana de São Luís. Ambientes marinhos localizados próximos a regiões urbanizadas geralmente apresentam maiores concentrações de poluentes, incluindo partículas plásticas, devido ao descarte inadequado e ao escoamento de resíduos provenientes dessas áreas (Li et al., 2022). Isso justificaria as concentrações de partículas encontradas no presente estudo, considerando que a área de coleta é próxima ao município de Raposa, que possui uma densidade populacional de  $389,32$  hab/ $km^2$  (IBGE, 2022). Além disso, por se tratar de um estuário de macromarés, elas facilitam a dispersão dos microplásticos para áreas adjacentes aos centros urbanos.

Nos municípios da Ilha de Upaon-Açu (São Luís, Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar), o saneamento básico é ineficiente onde apenas metade da população desses municípios é atendida com esgotamento sanitário, sendo  $54,28\%$  em São Luís,  $35,76\%$  em Paço do Lumiar,  $8\%$  em São José de Ribamar e sem informações de esgotamento sanitário em Raposa (SNIS, 2022). Quanto à coleta de resíduos domiciliares de responsabilidade dos municípios, a coleta é realizada em  $100\%$  das residências de São Luís,  $71,34\%$  em Raposa,  $94,75\%$  em Paço do Lumiar e  $98,13\%$  em São José de Ribamar (SNIS, 2022). Nesse cenário, o saneamento inadequado desempenha um papel significativo na poluição plástica no ambiente estuarino de Raposa, o que afeta diretamente os moluscos bivalves, já que esses organismos, por se alimentarem através da filtração de água podem acumular microplásticos em seus tecidos, representando também grande risco a saúde humana através do consumo de moluscos contaminados.

Outra possível fonte de microplásticos são as atividades pesqueiras, através de práticas como a pesca por malhadeiras, onde o desgaste de cordas e redes, devido à abrasão e interceptação, além do descarte inadequado ou abandono de equipamentos de pesca, como redes e boias, contribuem para a liberação de microplásticos no ambiente marinho, aumentando a poluição por partículas plásticas (Li et al. 2021). O município de Raposa, no Maranhão, onde foi desenvolvido o presente estudo, destaca-se por ser uma região com uma intensa atividade pesqueira (Santos et al., 2011), com predomínio da pesca artesanal, e a atividade de mariscagem com uma das principais fontes de renda de comunidades tradicionais sendo praticada em grande parte por mulheres (Monteles et al., 2009). Assim, a atividade pesqueira pode ser uma fonte contribuidora de microplásticos no habitat do bivalve, contaminando-os através da ingestão desses poluentes e como consequência contaminam os humanos que consomem.

A ingestão de microplástico por moluscos bivalves representa um grande risco, uma vez que, a ingestão de partículas plásticas pode causar uma série de alterações nos organismos, podendo gerar também riscos na cadeia alimentar da qual fazem parte (Silva et al., 2025). Além disso, podem ocasionar prejuízos às espécies comerciais na aquicultura, uma vez que, por serem cultivadas em áreas abrigadas, há maior tendência à acumulação, visto que, os microplásticos nesses ambientes se dispersam menos do que em ambientes naturais (Song et al., 2023).



No caso dos moluscos bivalves, a ingestão de microplásticos pode acarretar problemas fisiológicos, devido o estresse oxidativo, comprometendo funções vitais e possível aumento da mortalidade dos organismos (Li et al., 2022; Yang et al., 2025). Em relação ao comportamento alimentar, os microplásticos reduzem a taxa de filtração, induzem o fechamento das valvas e aumentam a rejeição de partículas (Wang et al., 2023). Quanto à reprodução, a ingestão de microplástico pode acabar alterando a produção dos gametas, e como consequência a sobrevivência e desenvolvimento das larvas, podendo prejudicar na fixação dos moluscos bivalves (Kudla et al., 2024).

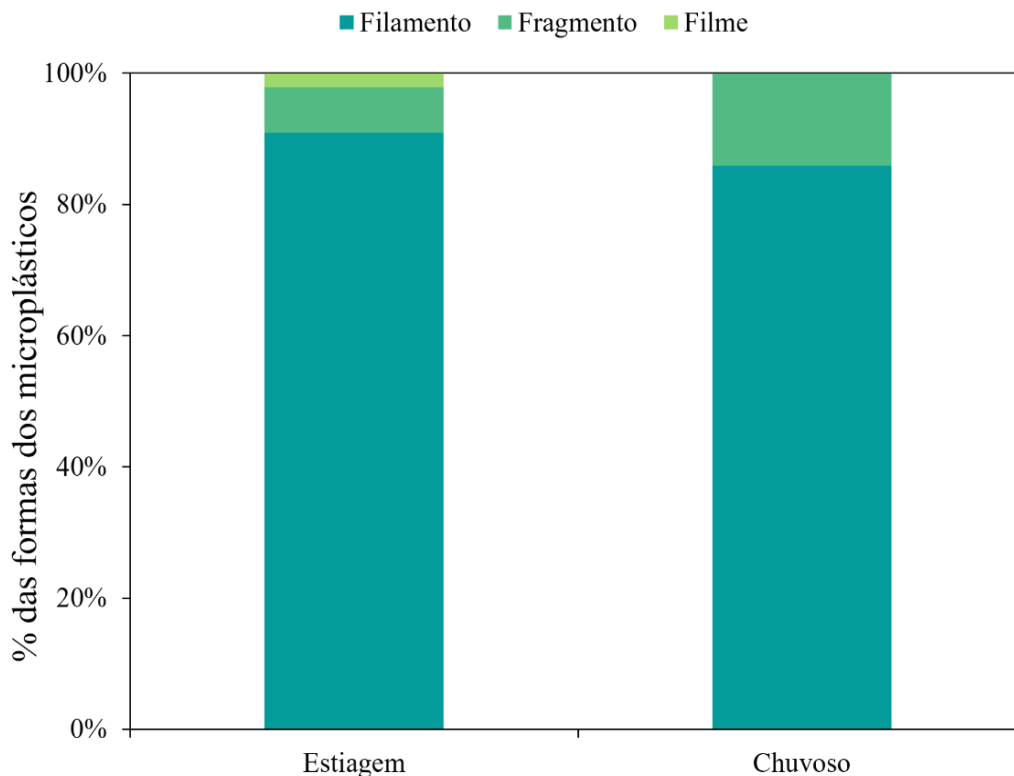
### 3.2. Caracterização qualitativas dos MPs

#### 3.2.1 Forma

A análise da forma dos microplásticos identificados nas amostras demonstrou predominância de partículas classificadas como filamentos (91%), seguidas por fragmentos (7%) e filmes (2%) como demonstrado na Figura 4.

**Figura 4** – Distribuição das formas de microplásticos em *Anomalocardia flexuosa* em um estuário da Costa Amazônica Maranhense

**Figure 4** - Distribution of microplastic forms in *Anomalocardia flexuosa* in an estuary on the Amazonian coast of Maranhão.



**Fonte:** Autores (2026).  
**Source:** Authors (2026).

Além disso, observou-se que a abundância de filamentos foi maior no período chuvoso, apresentando diferença estatística significativa em relação às demais formas ( $p < 0,05$ ), enquanto fragmentos ( $p > 0,58$ ) e

filmes não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os períodos avaliados.

Entre os fatores que contribuem para as formas dos MPs, está a variabilidade sazonal, isso se deve porque agentes climáticos como o vento, chuva e a radiação solar podem contribuir com o aparecimento de novas partículas vindas de outras localidades e com o aumento da degradação dos plásticos já existentes no ambiente (Lima et al., 2019; Carvalho, 2024). Outro fator que é importante ressaltar é a influência da salinidade, já que a densidade dos polímeros plásticos interfere na flutuação contribuindo para a sua distribuição vertical no ambiente aquático (Lara, 2022).

A predominância de microplásticos na forma de filamentos é frequentemente relatada em ambientes costeiros e estuarinos e está associada principalmente a fibras sintéticas provenientes de tecidos, cordas, redes de pesca e efluentes domésticos, que podem ser liberadas durante processos como a lavagem de roupas e transportadas para os ambientes aquáticos por sistemas de drenagem urbana (Vieira et al., 2021). Montagner et al. (2021), ressaltam que em regiões onde uma parcela significativa da população não dispõe de sistemas de tratamento de esgoto, a poluição por microplásticos tende a se agravar, uma vez que os resíduos são lançados diretamente em ambientes aquáticos. Durante o período chuvoso, o aumento do escoamento superficial e do aporte de efluentes urbanos pode intensificar o transporte desses materiais para ambientes aquáticos, o que pode explicar a maior ocorrência de filamentos observada neste estudo.

De Paula et al. (2025) também observaram predominância significativa de filamentos sobre fragmentos tanto em amostras de sedimento intertidal quanto em tecidos de bivalves. Esse padrão morfológico foi consistente em todos os pontos amostrais analisados, sugerindo que a forma de filamento é mais disponível e potencialmente mais bioacessível para organismos bentônicos filtradores. Os autores atribuíram essa predominância a fontes antrópicas comuns em zonas costeiras urbanizadas, como efluentes domésticos, descarte de materiais têxteis e degradação de artes de pesca.

Diante do exposto, levanta-se a hipótese de que a predominância consistente de microplásticos na forma de filamento em tecidos de bivalves e sedimentos costeiros, independentemente da localização geográfica e do período sazonal, esteja diretamente associada à maior persistência ambiental dessas partículas quando comparadas a outras morfologias. A maior persistência dessas partículas pode ser explicada por um conjunto de fatores físicos, hidrodinâmicos e de origem antrópica, além da baixa eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes na retenção de fibras sintéticas (Vieira et al., 2021; Costa et al., 2023; De Paula et al., 2025). Adicionalmente, supõe-se que os mecanismos de filtração dos bivalves favoreçam a retenção de partículas alongadas, uma vez que sua maior área de superfície e menor taxa de sedimentação permitem que permaneçam por mais tempo disponíveis na coluna d'água, aumentando a probabilidade de captura por esses organismos.

Com relação aos fragmentos, a segunda forma mais encontrada nas amostras de sarnambi, Baptista Neto et al. (2019) descrevem sua origem como consequência da degradação física, química e foto-oxidativa de plásticos maiores descartados de maneira irregular no ambiente marinho. Na Ilha de Upaon-Açu, o descarte irregular de resíduos sólidos representa um problema ambiental significativo. Lima et al. (2022) identificaram o plástico como o material mais frequentemente encontrado entre os resíduos descartados irregularmente em 21 praias da região, o que reforça a hipótese de que a fragmentação desses materiais contribui para a ocorrência de microplásticos no ambiente.

A menor ocorrência de filmes nas amostras analisadas pode estar relacionada ao fato de que essa morfologia geralmente se origina da fragmentação de resíduos plásticos maiores, como embalagens e sacolas plásticas, os quais sofrem processos de degradação física, química e foto-oxidativa no ambiente marinho antes de se fragmentarem em partículas menores (Costa et al., 2023). Dessa forma, embora essas partículas também estejam presentes no ambiente, sua abundância tende a ser inferior quando comparada ao filamento.

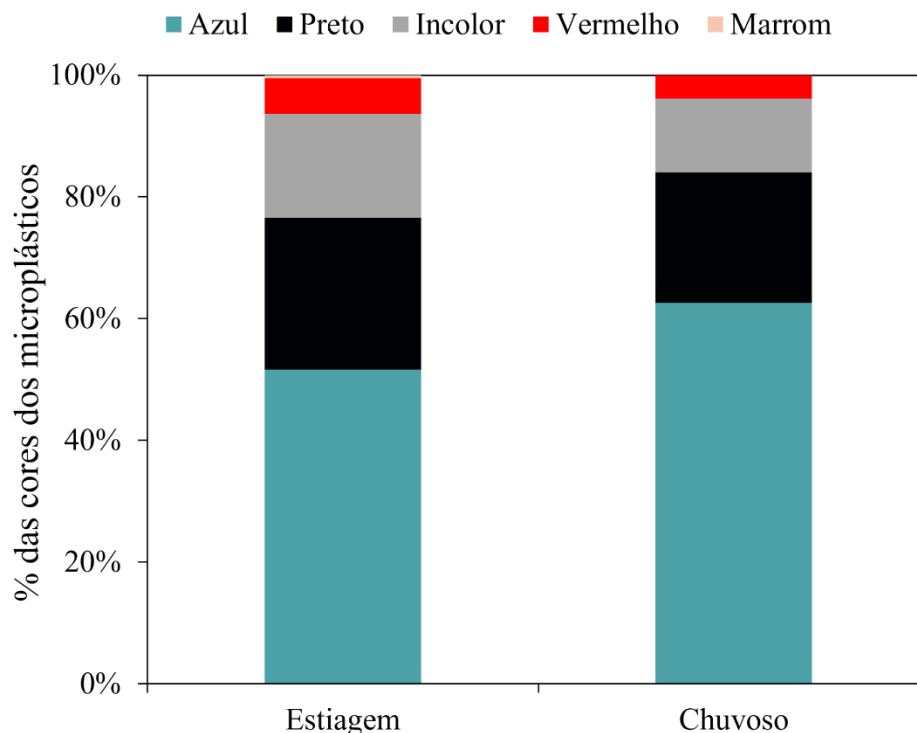
Portanto, os resultados obtidos indicam que os filamentos representam a principal forma de microplásticos nas amostras analisadas, especialmente durante o período chuvoso, sugerindo que a dinâmica hidrológica e o aumento do aporte de resíduos provenientes de áreas urbanizadas podem influenciar diretamente a distribuição e abundância dessas partículas no ambiente.

### 3.2.2 Cor

Quanto à coloração dos microplásticos isolados de *A. flexuosa*, foram identificadas as cores azul, preto, incolor, vermelho e marrom, com predominância das cores azul (>50%) e preta (>20%) ( $p > 0,0001$ ) em relação às demais (Figura 5). No entanto, não foi observada diferença significativa entre os períodos sazonais para as cores ( $p > 0,35$ ).

**Figura 5** – Distribuição das cores de microplásticos em *Anomalocardia flexuosa* em um estuário da Costa Amazônica Maranhense

**Figure 5** - Distribution of microplastic colors in *Anomalocardia flexuosa* in an estuary on the Amazonian coast of Maranhão



**Fonte:** Autores (2026).

**Source:** Authors (2026).

A cor desses polímeros pode oferecer informações úteis acerca da fonte potencial de poluição plástica (Mutuku et al., 2024). A coloração dos microplásticos também pode determinar a sua ingestão pelos bivalves, uma vez que, diferentes cores são ingeridas por diferentes espécies por serem confundidas com o alimento (Quaglia et al., 2023). Embora o azul tenha sido dominante em ambos os períodos, não houve diferença significativa entre o período de estiagem e o chuvoso, apesar de uma maior frequência numérica no período chuvoso. Tendência semelhante foi verificada para a cor preta, seguida pela incolor, que também apresentaram ocorrência equivalente entre os períodos. As cores azul e preto são predominantes em microplásticos presentes nos cinco oceanos e sugerem uma origem secundária desses polímeros, advindos possivelmente da dispersão e deterioração de plásticos de uso único e de equipamentos de pesca (Mutuku et al., 2024).

Os resultados obtidos neste estudo corroboram achados descritos na literatura, nos quais a cor azul se destaca como a mais frequente na distribuição dos microplásticos (Chinfak et al., 2024). A predominância da cor azul está geralmente associada, sobretudo, à liberação dessas partículas no ambiente durante a lavagem de

materiais sintéticos, a exemplo de tecidos jeans, o que explica a maior abundância dessa coloração em estudos sobre microplásticos (Brocardo et al., 2025). Associadas também à degradação de redes e equipamentos de pesca em ambientes estuarinos devido à intensa atividade em algumas regiões (Rodrigues et al., 2024). O que pode responder o porquê da dominância de filamentos da cor azul, uma vez que o município de Raposa apresenta intensa atividade pesqueira (Araujo & Costa, 2025).

Os microplásticos de coloração preta, segunda cor mais recorrente nas amostras de sarnambi, apresentam diferentes origens potenciais. Essa coloração está frequentemente associada ao desgaste de pneus nos asfaltos, processo que libera partículas plásticas como subproduto do desgaste (Hoeke et al., 2024). Além disso, estudos com *Crassostrea gigas* indicam que sua presença pode estar relacionada à liberação de efluentes em áreas próximas ao habitat desses organismos (Saldaña-Serrano et al., 2022). Outra hipótese envolve resíduos de materiais industriais e eletrônicos, cuja destinação inadequada favorece sua dispersão ambiental. Segundo Ribeiro et al. (2025), a dificuldade de descarte contribui para o aumento desses plásticos no ambiente.

Os resultados obtidos indicam que os MPs identificados nos organismos apresentam contribuição significativa de fontes continentais. Nesse sentido, uma das possíveis explicações para essa ocorrência está relacionada à entrada direta de material particulado nas praias, especialmente durante períodos de maior uso turístico, além da contribuição de partículas provenientes de águas mais profundas, que podem alcançar a região costeira por meio de correntes marítimas, ação dos ventos e outros processos oceanográficos (Ladewig et al., 2023). Esses resultados permitem identificar diferenças regionais e possíveis fontes de poluição por MPs, que contribuem para ampliar o conhecimento acerca dos impactos da poluição por microplásticos em ecossistemas marinhos (Digka et al., 2024). Existe uma preocupação crescente quanto à extensão e ao potencial impacto ecológico da poluição por microplástico em ambientes aquáticos.

O sarnambi é um importante item alimentar para a população maranhense, sendo consumido tanto por comunidades tradicionais, quanto pela população da área urbana, especialmente em pratos típicos da região. Nesse sentido, estabeleceu-se o uso de 30 unidades de sarnambi em um prato de porção de consumo, quantidade usualmente consumida na costa maranhense. Então, os resultados indicam que a ingestão humana de microplásticos *per capita*, por meio do consumo do bivalve marinho comercial *A. flexuosa*, foi estimada em 176,24 partículas por refeição no litoral maranhense. Internacionalmente, no Vietnã Central, a ingestão anual pelo consumo de bivalve foi estimada em  $5.723 \pm 4.841$  MPs/pessoa e  $4.915 \pm 4.277$  MPs/pessoa, respectivamente (My et al., 2025). Da mesma forma, em produtos bivalves descascados de supermercados e mercados locais na cidade de Da Nang, no Vietnã, a ingestão anual estimada foi de  $4085,73 \pm 1274,50$  itens/pessoa/ano (Le et al., 2025).

Em escala nacional, em mexilhões comprados em mercados da cidade de Belém (Pará/Brasil) a ingestão anual foi estimada em 1800–2400 partículas plásticas pelo consumo de um kg do molusco por mês (Rodrigues et al., 2024). Essa variabilidade indica que pode haver uma variabilidade regional, o que ocasiona uma maior exposição de microplásticos pelos humanos. Assim, pode-se dizer que apesar das baixas concentrações de microplástico em sarnambis, eles já podem ser considerados vetores para a ingestão humana de microplásticos. Entretanto, os sarnambis não representam a única via potencial de exposição humana aos microplásticos, visto que essas partículas podem ser ingeridas e/ou inaladas por diferentes fontes ambientais e alimentares.

#### 4. Conclusão

O estudo demonstrou a contaminação microplástica em 94% dos indivíduos do bivalve marinho comercial *Anomalocardia flexuosa* em um estuário da Costa Amazônica Maranhense, com concentrações médias de  $2,69 \pm 2,15$  MPs  $g^{-1}$ . A forma de microplástico predominante foi o filamento (91%), e a cor azul foi a mais frequente entre as partículas plásticas (>50%), não sendo identificada a influência sazonal na ingestão de microplásticos. A espécie *A. flexuosa* apresentou potencial para ser usada como bioindicadora de poluição microplástica em ecossistemas estuarinos amazônicos. Os resultados do estudo reforçam que a população

maranhense já está ingerindo microplásticos através do consumo desse molusco, com a ingestão aproximada de mais de 170 partículas por refeição.

Dessa forma, é necessária a adoção de políticas públicas relacionadas ao saneamento básico adequado e ao combate ao descarte irregular de resíduos plásticos, que foram possíveis fontes contribuidoras de poluição microplástica para os indivíduos estudados. Além disso, um monitoramento constante se faz necessário para avaliar a contaminação microplástica em ecossistemas estuarinos amazônicos maranhenses e, conseqüentemente, nos seus organismos.

## 5. Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) e ao Núcleo de Maricultura (NUMAR) por contribuírem para a execução de várias etapas desta pesquisa; ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), nossa instituição, pelo apoio prestado aos seus alunos e professores pesquisadores e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo fomento deste projeto. Os autores agradecem à Associação de Apoio à Caridade Aparecida Molina Borges (AACAM) pelo apoio institucional, pelo fomento às bolsas de pesquisa concedidas aos discentes participantes deste estudo e pela reestruturação física do Laboratório de Ecologia Aquática (LEA).

## 6. Referências

- Akim, D., Aviz, D., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Sforzi, L., & Martinelli Filho, J. E. (2025). Balancing biomonitoring and conservation: A non-lethal method to extract microplastics from the sea anemone *Bunodosoma cangicum*. **Marine Pollution Bulletin**, 214, 117685. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117685>
- Araújo, A. N., & Costa, S. L. E. (2025). Estudo descritivo da pesca de curral no município de raposa, ilha do maranhão. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, [S. l.], 16 (4), 32–45. <https://doi.org/10.18817/repesca.v16i4.2719>
- Baptista Neto, J. A., Carvalho, D. G., Medeiros, K., Drabinski, T. L., Melo, G. V., Silva, R. C. O., Silva, D. C. P., Batista, L. S., Dias, G. T. M., Fonseca, E. M., & Santos Filho, J. R. (2019). The impact of sediment dumping sites on the concentrations of microplastic in the inner continental shelf of Rio de Janeiro/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 149, 110558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110558>
- Brocardo, G. S., Saldaña-Serrano, M., Bertoldi, C., Gomes, C. H. A. M., Nogueira, D. J., Leonel, J., Fernandes, A. N., & Bairy, A. C. D. (2025). Microplastics in commercial bivalves and their association with farm structures: A case study in a relevant aquaculture area of Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, 81, 103965. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103965>
- Bruzaca, D. N. A. (2021). **Incidência de microplásticos em *Anomalocardia brasiliana* no estuário de Itapessoca em Goiana, Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil. [http://www.pgpa.ufrpe.br/sites/ww2.pgpa.ufrpe.br/files/documentos/dissertacao\\_david\\_nunes\\_aguiar\\_bruzaca.pdf](http://www.pgpa.ufrpe.br/sites/ww2.pgpa.ufrpe.br/files/documentos/dissertacao_david_nunes_aguiar_bruzaca.pdf)
- Bruzaca, D. N. A., Justino, A. K. S., Mota, G. C. P., Costa, G. A., Lucena-Frédou, F., & Gálvez, A. O. (2022). Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast

Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 179, 113659. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113659>

Carvalho, D. G. (2024). **Avaliação espaço-temporal de microplásticos em praias do leste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil. <https://dot.uff.br/wp-content/uploads/sites/476/2023/05/88-TESE-Diego-Carvalho-2022.pdf>.

Cesarini, G., Donazar-Aramendía, I., Gallitelli, L., Secco, S., Orsini, M., De Santis, S., Scalici, M., Green, A. J., & Coccia, C. (2025). Microplastic contamination in bivalves from urban estuaries: are they sentinels for differences in pollution levels?. **Marine Pollution Bulletin**, 218, 118227. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118227>

Chinfak, N., Charoenpong, C., Sampanporn, A., Wongpa, C., & Sompongchaiyakul, P. (2024). Microplastics in commercial bivalves from coastal areas of Thailand and health risk associated with microplastics in ingested bivalves. **Marine pollution bulletin**, 208, 116937. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116937>

Costa, C. M. C. (2007). **Distribuição espacial e temporal dos Macrozoobentos de habitats entre-marés do canal da Raposa, Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil. <http://tede.ufma.br:8080/jspui/handle/tede/1868>

Costa, M. B., Otegui, M. B. P., Zamprogno, G. C., Canicali, F. B., Cozer, C. R., Pelletier, E., & Graceli, J. B. (2023). Abundance, Composition, and Distribution of Microplastics in Intertidal Sediment and Soft Tissues of Four Species of Bivalvia from Southeast Brazilian Urban Beaches. **Science of the Total Environment**, 857, 159352. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159352>

Dalbó, G. Z., Schuab, J. M., Alves, M. M., Otegui, M. B. P., Fernandes, B. L., Andrade, E., Souza, R., Marins, A. A. L., Ocaris, E. Y., Velez, Y. V., & Costa, M. B. (2025). Do different size classes influence the absorption of microplastics? Evaluation in *Donax hanleyanus* R. A. Philippi, 1847 (Bivalvia: Donacidae). **Regional Studies in Marine Science**, 89, 104393. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104393>

De Paula, M. S., Schuab, J. M., Pelletier, É., Soubaneh, Y. D., Langlois, V., & Costa, M. B. (2025). Can microplastic pollution be affected by beach nourishment? Assessment in intertidal sediment and bivalves. **Science of the Total Environment**, 960, 178374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178374>

Digka, N., Patsiou, D., Hatzonikolakis, Y., Raitsos, D. E., Skia, G., Koutsoubas, D., & Tsangaris, C. (2024). Microplastic ingestion in mussels from the East Mediterranean Sea: Exploring its impacts in nature and controlled conditions. **Science of The Total Environment**, 946, 174268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174268>

Fialho, L. C. V. (2002). **Diagnóstico da pesca na praia da Raposa. São Luís**. Monografia do curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Maranhão. 43p.

Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. **Marine Pollution Bulletin**, 138, 145-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

Galtsoff, P. S. (1964). The American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). **Fishery Bulletin**, 64 (1), 11-28.

Gomes, J. O. L., Silva, M. A., Ferreira, R. C., & Nascimento, A. S. (2019). Techniques for Catching the

Shellfish *Anomalocardia flexuosa* in a Tropical Estuary in Northeast Brazil. **Human Ecology**, 47, 931-939. <https://doi.org/10.1007/s10745-019-00119-2>

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, 1, art. 4: 9pp., 178kb. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

Hoeke, S., Van Wijnen, J., Krikke, H., Löhr, A., & Ragas, AM. (2024). Mapping the tire supply chain and its microplastics emissions using a multi-stakeholder approach. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, 203, 107389. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107389>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico** (2022). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 17/04/2026.

Kudla, Y. M., Ijzerman, M. M., Bennett, C. J., Gillis, P. L., Kidd, K. A., & Prosser, R. S. (2024). Quantifying Effects and Ingestion of Several Pristine Microplastics in Two Early Life Stages of Freshwater Mussels. **Environmental toxicology and chemistry**, 43(12), 2557–2568. <https://doi.org/10.1002/etc.5993>

Ladewig, S. M., Coco, G., Hope, J. A., Vieillard, A. M., & Thrush, S. F. (2023). Real-world impacts of microplastic pollution on seafloor ecosystem function. **Science of the Total Environment**, 858, 160114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160114>

Lara, L. Z. (2022). **Microplásticos de poliamida e desreguladores endócrinos: influência de fatores ambientais e da fotodegradação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/236411>

Le, T. T. X., Nguyen, M. T., Duong, M. T., Nguyen, L. T., Huynh, L. D., Nguyen, M. T., Pham, H. T., Le, C. P., Luu, H. V., & Do, M. V. (2025). Microplastics in shucked bivalve products from Vietnam: Presence, characteristics, human exposure, and risk assessment. **Journal of Food Composition and Analysis**, 146, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107885>

Li, H.-X., Shi, M., Tian, F., Lin, L., Liu, S., Hou, R., Peng, J.-P., & Xu, X.-R. (2022). Microplastics contamination in bivalves from the Daya Bay: Species variability and spatio-temporal distribution and human health risks. **Science of The Total Environment**, 841, 156749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156749>

Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. **Environmental Pollution**, 207, 190-195. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018>

Li, Y., Sun, Y., Li, J., Tang, R., Miu, Y., & Ma, X. (2021). Research on the Influence of Microplastics on Marine Life. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 631, 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/631/1/012006>

Li, Z., Chang, X., Hu, M., Fang, J. K., Sokolova, I. M., Huang, W., Xu, E. G., & Wang, Y. (2022). Is microplastic an oxidative stressor? Evidence from a meta-analysis on bivalves. **Journal of hazardous materials**, 423 (B), 127211. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127211>



- Lima, A. K., Silva, I. R., Costa, M. F., & Santos, C. R. (2022). Anthropogenic litter on the macrotidal sandy beaches of the Amazon region. **Marine Pollution Bulletin**, 184, 114124. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114124>
- Lima, L. V. S., Oliveira, J. P., Rocha, M. S., & Almeida, T. A. (2019). Variação sazonal das partículas de microplásticos no sedimento de quatro praias urbanas no estado da Paraíba, Brasil. **Anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (CONAPESC)**, Universidade Estadual da Paraíba. [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO\\_EV126\\_MD1\\_SA7\\_ID1396\\_12082019235316.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA7_ID1396_12082019235316.pdf)
- Lima, M. A., Silva, M. F., & Sousa, J. R. (2024). Socioeconomic importance of shellfish gathering in northeastern Brazil: traditional communities and coastal resources. **Ocean & Coastal Management**, 245, 106783. [10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n1.62267](https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n1.62267)
- Lopes, R. G., Costa, M. F., & Silva, A. C. (2023). Reproductive dynamics and environmental influences on the bivalve *Anomalocardia flexuosa* in tropical estuaries. **Journal of Shellfish Research**, 42, 1, 121-132. [10.5007/2175-7925.2021.e78465](https://doi.org/10.5007/2175-7925.2021.e78465)
- Montagner, C. C., Vidal, C., Acayaba, R. D., Jardim, W. F., Jardim, I. C. S. F., & Umbuzeiro, G. A. (2021). Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, 44, 10, 1328-1352. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>
- Monteles, J. S., Funo, I. C. S. A., Castro, T. C. S., Viana, D. C. P., Conceição, F. S., & França, V. L. (2009). Percepção socio-ambiental das marisqueiras no município de Raposa, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira De Engenharia De Pesca**, 4(2), 34-45. <https://doi.org/10.18817/repesca.v4i2.141>
- Moraes, B. C., Costa, J. M. N., Costa, A. C. L., & Costa, M. H. (2005). Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **ACTA AMAZONICA**, 35 (2), 207 - 214. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200010>
- Mourão, J. S., Nordi, N., Alves, R. R. N., & Nishida, A. K. (2006). Human-mollusk interactions in northeastern Brazil: ecological knowledge and harvesting of *Anomalocardia flexuosa*. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, London**, 2, 1, 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-1>
- Mutuku, J., Yanotti, M., Tock, M., & Macdonald, D. H. (2024). The Abundance of Microplastics in the World's Oceans: a systematic review. **Oceans**, 5(3), 398-428. [http://dx.doi.org/10.3390/oceans5030024](https://dx.doi.org/10.3390/oceans5030024)
- My, T. T. A., Dat, N. D., Hung, N. Q., Thuy, T. T. T., Hang, P. T. T., & Luu, N. D. (2025). Microplastic abundance and characteristics in bivalves from Tam Giang-Cau Hai and O Loan Lagoons, coastal regions in Central Vietnam: Implication on human health. **Marine Pollution Bulletin**, 216, 117937. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117937>
- Nascimento, F. C. A., Braga, C. C., & Araújo, F. R. C. D. (2017). Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32, 3, 375-386. [http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863230005](https://dx.doi.org/10.1590/0102-77863230005)
- Olivera, I. A., Silva, J. R., Costa, L. M., & Santos, P. A. (2025). Factors regulating the distribution and abundance of estuarine bivalves in a hypersaline ecosystem of the Brazilian semi-arid region. **Brazilian**

**Journal of Biology**, 85, e289159. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.289159>

Pantoja, J. C. D., Oliveira, A. E. P., Ferreira, M. A. P., Costa, L. P., Nunes, Z. M. P., & Rocha, R. M. (2024). First register of microplastic contamination in oysters (*Crassostrea gasar*) farmed in Amazonian estuaries. **Marine Pollution Bulletin**, 201, 116182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116182>

Paula, M. S., Lima, R. A., Oliveira, T. C., & Souza, F. R. (2025). Can microplastic pollution be affected by beach nourishment? Assessment in intertidal sediment and bivalves. **Science of the Total Environment**, 960, 178374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178374>

Pereira, O. M., Machado, I. C., & Henriques, M. B. (2017). Biology and exploitation of the bivalve *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) in Brazilian coastal environments. **Boletim do Instituto de Pesca**, 43, 1, 1-12. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2024.51.e909>

Pezzuto, P. R., & Souza, D. S. (2015). A pesca e o manejo do berbigão (*Anomalocardia brasiliana*) (Bivalvia: Veneridae) na Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé, SC, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 34. <https://doi.org/10.5380/dma.v34i0.39758>

Plastics Europe (2023). **Plastics – the fast Facts 2023**. Bruxelas: Plastics Europe. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>. Acesso em: 09/06/2026.

Quaglia, N. C., Capuozzo, F., Ceci, E., Cometa, S., Pinto, A., Mottola, A., Piredda, R., & Dambrosio, A. (2023). Preliminary survey on the occurrence of microplastics in bivalve mollusks marketed in Apulian fish markets. **Italian Journal Of Food Safety**, 12 (2), 10906. <http://dx.doi.org/10.4081/ijfs.2023.10906>

Rabelo, E. F., Oliveira, R. C. M., Freitas, J. C. N., Silva, M. L. C., Brabo, L., Ziveri, P., Grelaud, M., Bessa, F., Sobral, P., Guilherme, A., Giarrizzo, T., & Soares, M. O. (2025). Microplastic pollution in bivalve species from tropical mangrove habitats. **Regional Studies in Marine Science**, 87, 104227. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104227>

Ribeiro, V. V., Casado-Coy, N., Rangel, D. F., Sanz-Lazaro, C., & Castro, Í. B. (2025). Microplastic in bivalves of an urbanized Brazilian estuary: Human modification, population density and vegetation influence. **Journal of hazardous materials**, 482, 136546. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136546>

Rios, E.C. (1994). **Seashells of Brazil**. 2. ed. Rio Grande: Editora da FURG. 492 p.

Rodrigues, J. M. S., Pantoja, J. C. D., Oliveira, A. E. P., Ferreira, M. A. P., Nunes, Z. M. P., Nunes, B., Costa, L. P., Santos, R. M., & Rocha, R. M. (2024). First evidence of microplastics in commercial mussels from Amazonian estuaries. **Regional Studies in Marine Science**, 70, 103379. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103379>

Saldaña-Serrano, M., Bastolla, C. L. V., Mattos, J. J., Lima, D., Freire, T. B., Nogueira, D. J., De-la-Torre, G. E., Righetti, B. P. H., Zacchi, F. L., Gomes, C. H. A. M., Taniguchi, S., Bicego, M. C., & Bainy, A. C. D. (2022). Microplastics and linear alkylbenzene levels in oysters *Crassostrea gigas* driven by sewage contamination at an important aquaculture area of Brazil. **Chemosphere**, 307(4), 136039. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136039>

Santos, P. V. C. J., Funo, I. C. S. A., Piga, F. G., França, V. L., Torres, S. A., & Melo, C. D. P. (2011). Perfil

sócioeconômico de pescadores do município da Raposa, estado do Maranhão. **Revista Brasileira De Engenharia De Pesca**, 6(1), I-IVX. <https://doi.org/10.18817/repesca.v6i1.337>

Savoca, M. S., Botterell, Z. L. R., Romeo, T., & Pace, A. (2025). Monitoring plastic pollution using bioindicators: a global review and recommendations for marine environments. **Environmental Science: Advances**, 4, 1, 10-31. <https://doi.org/10.1039/D4VA00174E>

Silva, D. C. C., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2025). Microplastics in commercial marine bivalves: Abundance, characterization and main effects of single and combined exposure. **Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)**, 279, 107227. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.107227>

SNIS. **Diagnósticos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento** (2022). Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 17/04/2026.

Song, K., Wang, R., Yang, G., Xie, S., Chen, Y., Yang, F., Huang, W., Zhang, T., & Feng, Z. (2023). Pollution concerns in mariculture water and cultured economical bivalves: occurrence of microplastics under different aquaculture modes. **Journal of Cleaner Production**, 406, 136913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136913>

Souza Filho, P. W. M. (2005). Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23 (4), 427-435. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>

Troncon, E. K., & Avelar, W. E. P. (2011). Population biology of the bivalve *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) on a sandbank in the southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 71, 3, 637-644. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000400007>

UNEP (2021). **From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution**. Nairobi: UNEP. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>. Acesso em: 10/06/2026.

Vieira, K. S., Silva, L. M., Oliveira, F. R., & Santos, T. A. (2021). Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 166, 112225. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112225>

Wang, S., Zheng, L., Shen, M., Zhang, L., Wu, Y., Li, G., Guo, C., Hu, C., Zhang, M., Sui, Y., Dong, X., & Lv, L. (2023). Habitual feeding patterns impact polystyrene microplastic abundance and potential toxicity in edible benthic mollusks. **The Science of the total environment**, 866, 161341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161341>

Yang, P., Shang, Y., Qu, B., Zhang, J., Khalil, M. F., Hu, M., & Wang, Y. (2025). Effects of functionalized nanoplastics on oxidative stress in the mussel *Mytilus coruscus*. **Marine Pollution Bulletin**, 211, 117437. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117437>