

**BIOACUMULAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ESPONJAS MARINHAS DO GÊNERO
TETHYA: EVIDÊNCIAS DE POLUIÇÃO PLÁSTICA EM PRAIAS DO LITORAL DE
PERNAMBUCO, BRASIL****BIOACCUMULATION OF MICROPLASTICS IN MARINE SPONGES OF THE GENUS
TETHYA: EVIDENCE OF PLASTIC POLLUTION ON BEACHES OF THE COAST OF
PERNAMBUCO, BRAZIL****BIOACUMULACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN ESPONJAS MARINAS DEL GÉNERO
TETHYA: EVIDENCIAS DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA EN PLAYAS DE LA COSTA
DE PERNAMBUCO, BRASIL**

10.56238/revgeov16n5-213

Nathália Santos Cruz Cabral Félix

Graduanda em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

E-mail: nathyscfelix@gmail.com

Jéssica Cristina Mendes de Oliveira

Doutoranda em Biociência Animal

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

E-mail: jessica.cristinamendes@ufrpe.br

Artur Torquato Pereira de Souza

Mestrando em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

E-mail: arturtps96@gmail.com

Nicole Samico Guerra

Mestranda em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

E-mail: nicole.samico@upe.br

Andrea Karla Pereira da Silva

Doutorado em Oceanografia

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

E-mail: andrea.silva@upe.br

Lucian Bogdan Bejan

Doutorado em Física

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

E-mail: lucian.bejan@ufrpe.br



Geraldo Jorge Barbosa de Moura

Doutorado em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

E-mail: geraldojbm@gmail.com

Múcio Luiz Banja Fernandes

Doutorado em Oceanografia

Instituição: Universidade de Pernambuco (UPE)

Email: mucio.banja@upe.br

RESUMO

Os microplásticos são poluentes emergentes amplamente distribuídos e persistentes no ambiente marinho, representando uma crescente preocupação científica. Esponjas marinhas, por serem organismos bentônicos filtradores, acumulam partículas presentes na coluna d'água e tornam-se importantes bioindicadores da contaminação. Este estudo identificou e quantificou microplásticos em esponjas do gênero *Tethya* coletadas em áreas recifais das praias de Boa Viagem, Paiva e Porto de Galinhas, no litoral de Pernambuco. As amostras foram coletadas manualmente na maré baixa e analisadas no Laboratório de Estudos Ambientais do IATI, seguindo protocolo de digestão da matéria orgânica, filtração e triagem sob microscopia estereoscópica. Todas as esponjas apresentaram microplásticos, totalizando 1.806 partículas, com predominância de fibras, especialmente de coloração azul, sugerindo forte influência de fontes antrópicas urbanas e turísticas. Boa Viagem apresentou a maior concentração de partículas. Os resultados confirmam *Tethya* como um eficiente modelo biológico para biomonitoramento, evidenciando a necessidade de ações mitigadoras na costa pernambucana.

Palavras-chave: Bioindicadores. Antropogênese. Contaminação Ambiental. Ambientes Recifais. Partículas Sintéticas.

ABSTRACTS

Microplastics are emerging pollutants widely distributed and persistent in the marine environment, representing a growing scientific concern. Marine sponges, as benthic filter-feeding organisms, accumulate particles present in the water column and serve as important bioindicators of contamination. This study identified and quantified microplastics in sponges of the genus *Tethya* collected from reef areas at the beaches of Boa Viagem, Paiva, and Porto de Galinhas, on the coast of Pernambuco, Brazil. Samples were manually collected during low tide and analyzed at the IATI Environmental Studies Laboratory following a protocol of organic matter digestion, filtration, and stereomicroscopic sorting. All sponges contained microplastics, totaling 1,806 particles, with a predominance of fibers especially blue fibers suggesting strong influence from urban and tourism-related anthropogenic sources. Boa Viagem exhibited the highest concentration of particles. The results confirm *Tethya* as an efficient biological model for biomonitoring, highlighting the need for mitigation actions along the coast of Pernambuco.

Keywords: Bioindicators. Anthropogenic Sources. Environmental Contamination. Reef Environments. Synthetic Particles.



RESUMEN

Los microplásticos son contaminantes emergentes ampliamente distribuidos y persistentes en el ambiente marino, lo que representa una creciente preocupación científica. Las esponjas marinas, por ser organismos bentónicos filtradores, acumulan partículas presentes en la columna de agua y se convierten en importantes bioindicadores de la contaminación. Este estudio identificó y cuantificó microplásticos en esponjas del género *Tethya* recolectadas en zonas arrecifales de las playas de Boa Viagem, Paiva y Porto de Galinhas, en la costa de Pernambuco, Brasil. Las muestras fueron recolectadas manualmente durante la marea baja y analizadas en el Laboratorio de Estudios Ambientales del IATI, siguiendo un protocolo de digestión de materia orgánica, filtración y clasificación mediante microscopía estereoscópica. Todas las esponjas presentaron microplásticos, totalizando 1.806 partículas, con predominio de fibras, especialmente de color azul, lo que sugiere una fuerte influencia de fuentes antrópicas urbanas y turísticas. Boa Viagem mostró la mayor concentración de partículas. Los resultados confirman a *Tethya* como un modelo biológico eficiente para el biomonitoring, evidenciando la necesidad de acciones de mitigación en la costa de Pernambuco.

Palabras clave: Bioindicadores. Fuentes Antropogénicas. Contaminación Ambiental. Ambientes Arrecifales. Partículas Sintéticas.



1 INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos (MPs) emergiu como uma das principais ameaças ambientais do século XXI, afetando ecossistemas aquáticos e terrestres em escala global. Os MPs são definidos como partículas plásticas com dimensões entre 1 µm e 5 mm, compostas por polímeros sintéticos (Hanun; Hassan; Jiang, 2021). Esses materiais têm sido amplamente reconhecidos como contaminantes emergentes de crescente preocupação, atraindo atenção significativa da comunidade científica na última década (Rillig; Lehmann, 2020). Tal interesse decorre não apenas do aumento global da produção e do uso de plásticos, mas também da gestão inadequada de seus resíduos, o que favorece a dispersão dessas partículas nos ecossistemas aquáticos (Tran-Nguyen *et al.*, 2022).

As principais fontes de microplásticos em corpos hídricos incluem águas residuais urbanas, descargas de esgotos e escoamento agrícola (Li *et al.*, 2020). Além disso, atividades como pesca, turismo, transporte marítimo e as indústrias têxtil e cosmética também contribuem significativamente para a contaminação dos ambientes marinhos, impactando a biodiversidade desses habitats (Aliabad; Nassiri; Kor, 2019). Diversos grupos de organismos têm sido empregados como sentinelas de contaminação por microplásticos, incluindo peixes (Yu *et al.*, 2024), invertebrados (Schuab *et al.*, 2023), aves (Mendez-Sanhueza *et al.*, 2023) e tartarugas (Kimura *et al.*, 2024).

No entanto, espécies menos exploradas, como as esponjas marinhas (Filo Porifera), apresentam grande potencial como modelos biológicos para detecção e monitoramento de microplásticos, devido ao seu modo de alimentação por filtração de partículas suspensas, capacidade de bioacumulação, longevidade, comportamento séssil, facilidade de amostragem e ampla distribuição geográfica (Krikech *et al.*, 2023; Mendonça *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2024). Além de sua relevância ecológica, as esponjas marinhas possuem uma estrutura altamente porosa, composta por uma intrincada rede de canais que permite intensa circulação de água. Esses organismos podem bombear até 900 vezes o seu volume corporal em água por hora, retendo até 80% das partículas suspensas próximas (Chirigati, 2021; Fallon; Freeman, 2021).

Dentre os Porifera, o gênero *Tethya* destaca-se por sua ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais, hábito séssil e elevada eficiência de filtração, podendo processar grandes volumes de água diariamente (Santodomingo *et al.*, 2024). Essas características o tornam um modelo biológico adequado para estudos de biomonitoramento, especialmente em áreas costeiras sujeitas à influência antrópica. Assim, a escolha de esponjas do gênero *Tethya* neste estudo permite avaliar de forma mais precisa a exposição e acumulação de microplásticos em ambientes marinhos com distintos níveis de urbanização.

As esponjas de áreas costeiras, especialmente em praias urbanizadas, podem atuar como reservatórios de longo prazo de microplásticos, acumulando partículas presentes na coluna d'água e refletindo o grau de poluição local. Poucos estudos, contudo, avaliaram esponjas como bioindicadores



em ambientes urbanos do Atlântico Sul, o que representa uma lacuna relevante no entendimento da dinâmica dos microplásticos em ecossistemas tropicais. Considerando essa lacuna, o presente estudo teve como objetivo analisar e quantificar a presença de microplásticos em esponjas marinhas do gênero *Tethya* presentes nas praias de Boa Viagem (Recife), Paiva (Cabo de Santo Agostinho) e Porto de Galinhas (Ipojuca), localizadas no litoral de Pernambuco, Brasil, comparando diferentes níveis de urbanização costeira e inferindo a influência das atividades antrópicas na contaminação ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MICROPLÁSTICOS EM AMBIENTES MARINHOS E O USO DE ESPONJAS COMO BIOINDICADORES

Os microplásticos são partículas menores que 5 mm formadas por polímeros sintéticos e aditivos funcionais (Zhao *et al.*, 2025). Caracterizam-se por serem leves, duráveis e impermeáveis, além de apresentarem variados formatos e colorações (Meng *et al.*, 2020). Quanto à origem, dividem-se em microplásticos primários produzidos já em tamanho reduzido, como pellets e microesferas e secundários, resultantes da fragmentação de plásticos maiores, frequentemente observados como fibras e fragmentos (Yang; Wang; Xia, 2020; Hale *et al.*, 2020; Guo *et al.*, 2020). No Brasil, a dispersão de microplástico foi registrada nos ecossistemas costeiros, incluindo praias, estuários e manguezal (Da Silva Paes *et al.*, 2022). Fatores como a urbanização e turismo, geram aumento do lançamento de efluentes em ambientes aquáticos, o que contribui para a contaminação das águas litorâneas (Fonseca *et al.*, 2025).

O primeiro estudo publicado em Pernambuco a destacar a problemática dos detritos marinhos foi o de Ivar do Sul e Costa (2007), que apresentou uma revisão abrangente sobre a situação desses materiais na América Latina e no Caribe. Esse trabalho foi seguido por pesquisas voltadas ao desenvolvimento de métodos para investigação de detritos bentônicos (Spengler; Costa, 2008) e pela identificação de pellets plásticos em praias urbanas, como Boa Viagem (Costa *et al.*, 2010). Nos anos seguintes, estudos em Pernambuco passaram a registrar a presença de microplásticos em diversos contextos marinhos, incluindo sedimentos próximos a naufrágios ambientes de alta relevância ecológica (Oliveira *et al.*, 2023) e amostras de plâncton coletadas no Arquipélago de Fernando de Noronha, além de ocorrências documentadas em Abrolhos e Trindade (Ivar do Sul; Costa; Fillmann, 2014).

A ingestão de microplásticos vem sendo documentada por diversos estudos ao redor do mundo (Naidu; Ranga Rao; Ramu, 2018; Choy *et al.*, 2019; Pappis; Kapusta; Ojeda, 2021), com predominância em ambientes e espécies marinhas (Kang; Kim; Oh, 2021; Eryaşar; Gedik; Mutlu, 2022; Fagiano *et al.*, 2024; Gonzalez-Pineda *et al.*, 2025). No entanto, organismos filtradores (Poríferas), mesmo sendo bastante abundantes e diversificados, ainda são pouco explorados. Esponjas



marinhas são altamente suscetíveis à ingestão de microplásticos devido ao seu eficiente sistema de filtração, que pode levar à retenção dessas partículas e provocar estresse celular, distúrbios fisiológicos e bioacumulação de substâncias tóxicas (Huang *et al.*, 2020; Funch *et al.*, 2023; Hombing *et al.*, 2025). Por isso, são importantes espécies sentinelas em programas de biomonitoramento da poluição por microplásticos (Celis-Hernández *et al.*, 2021).

Estudos anteriores confirmam a presença de microplásticos em diferentes espécies de esponjas marinhas. Em Bocas del Toro, no Panamá, seis espécies comuns de esponjas apresentaram acúmulo predominante de fibras (Fallon; Freeman, 2021). De forma semelhante, em áreas de manguezal na Laguna de Términos, no Golfo do México, três espécies avaliadas também apresentaram exclusivamente fibras (Celis-Hernández *et al.*, 2021). No Brasil, pesquisas realizadas em Santos (SP) com a esponja *Hymeniacidon heliophila* registraram maior abundância de partículas do tipo fibra (Ribeiro *et al.*, 2024). Até o momento, não há registros de estudos publicados no litoral de Pernambuco analisando a presença de microplásticos em espécies do gênero *Tethya* ou em outros representantes do mesmo filo. Apesar disso, *Tethya* destaca-se por sua morfologia esférica e superfície porosa, que ampliam o contato com a coluna d'água e reforçam seu potencial como modelo biológico para o biomonitoramento de microplásticos no ambiente marinho (Ribeiro; Muricy, 2011; Fallon; Freeman, 2021).

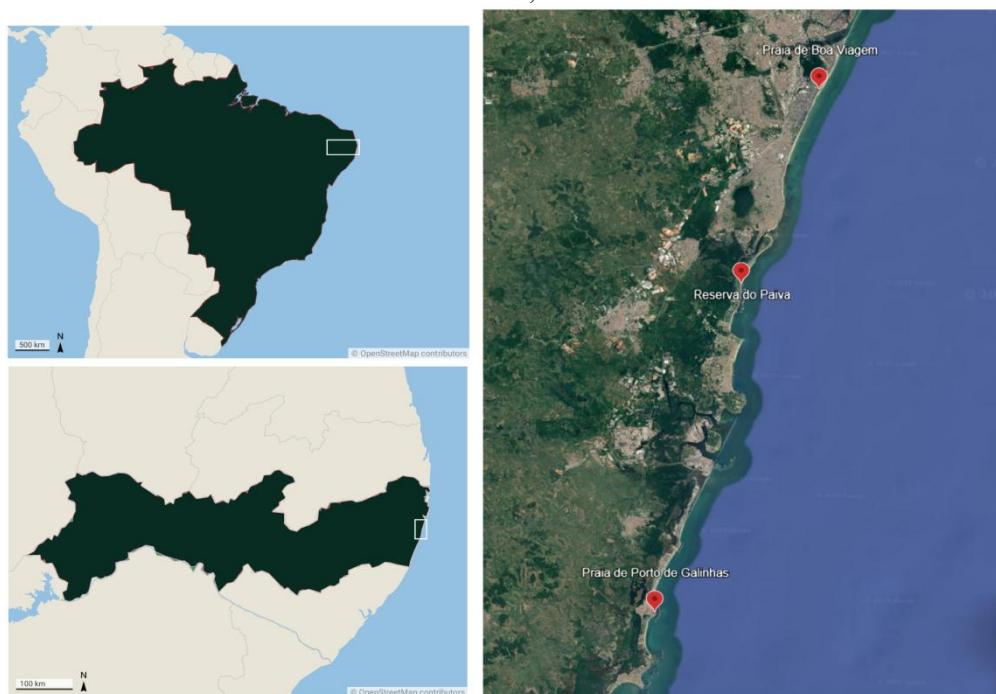
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDOS

O estudo foi conduzido em três praias localizadas no litoral sul do estado de Pernambuco: Boa Viagem, Reserva do Paiva e Porto de Galinhas (Fig.1). Estas praias apresentam formações de recifes de arenito dispostos em faixas paralelas à linha de costa, os quais atuam como barreiras naturais contra a ação das ondas e criam ambientes favoráveis ao estabelecimento de organismos sésseis, como as esponjas marinhas do gênero *Tethya*.



Figura 1. Localização geográfica das praias de Boa Viagem, Reserva do Paiva e Porto de Galinhas, litoral sul de Pernambuco, Brasil.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2025.

A praia de Boa Viagem, situada na Região Metropolitana do Recife, possui uma área de aproximadamente 57,48 hectares e cerca de 8 km de extensão (latitude $-8^{\circ}03'14.00''$ S; longitude $-34^{\circ}52'50.88''$ W) (Rocha, 2018). Trata-se de uma área de intenso movimento turístico, o que contribui para a economia local, mas também aumenta a pressão antrópica sobre o ambiente. A região sofre influência dos rios Jordão, Pina, Tejipió e parte do Capibaribe (Andrade; Pereira, 2014).

A Reserva do Paiva localiza-se no município do Cabo de Santo Agostinho ($08^{\circ}07'30''$ S; $35^{\circ}00'55''$ W), a cerca de 30 km da cidade do Recife (Leal *et al.* 2022). A área possui aproximadamente 1.050 hectares e 8,6 km de linha de praia (Pontes, 2022), situando-se entre a praia de Itapuama e a foz do rio Jaboatão. Apesar de integrar uma zona de reserva, o local tem sofrido impactos decorrentes do avanço da urbanização (Menezes *et al.*, 2018). Durante a maré baixa, formam-se piscinas naturais que atraem surfistas e banhistas (Holanda, 2020).

A praia de Porto de Galinhas, localizada no município de Ipojuca ($-8^{\circ}30'04.00''$ S; $-35^{\circ}00'04''$ W), está a aproximadamente 64 km da capital pernambucana (Avelino *et al.*, 2023). A região é influenciada pelas desembocaduras dos rios Ipojuca e Maracaípe e se destaca como importante polo turístico e econômico (Pereira, 2018). Sua principal atratividade se deve à presença de piscinas naturais formadas pelas estruturas recifais (Santana *et al.*, 2022).

3.2 COLETA DE CAMPO

As coletas foram realizadas durante a maré baixa, entre os meses de março e maio de 2024, período em que os recifes e as esponjas se encontram mais expostos. Foram obtidas quatro réplicas



amostrais por praia, totalizando doze amostras de esponjas do gênero *Tethya*, espécie comum às três localidades. A remoção dos espécimes foi feita cuidadosamente com o auxílio de espátula ou faca de aço inoxidável, evitando contaminação por plásticos. As amostras foram acondicionadas em papel alumínio previamente limpo, identificadas conforme o ponto de coleta e transportadas para o Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI). No laboratório, foram congeladas a -20 °C para preservação até o momento das análises.

3.3 ANÁLISE LABORATORIAL

Para cada amostra, 10 gramas de tecido foram retiradas transversalmente e colocadas em bêqueres de vidro previamente limpos. A digestão da matéria orgânica foi realizada com solução de hidróxido de potássio (KOH) a 10% (marca Neon), em volume suficiente para submergir completamente o material, mantendo-o em repouso por 24 horas à temperatura ambiente. Em seguida, foi adicionada solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 10% (marca Neon), com homogeneização manual e novo período de repouso por 24 horas, conforme metodologia adaptada de Sari, Ismet e Srimariana (2023). Após o processo de digestão, o sobrenadante foi filtrado sob vácuo, utilizando bomba a vácuo acoplada a sistema de filtração filtro de microfibra de vidro de tamanho de poro de 0,45 µm (GF/F, 47 mm Ø, Whatman), devidamente identificado conforme o ponto de coleta. As espículas das esponjas foram cuidadosamente separadas e transferidas para placas de Petri, sendo posteriormente secas em estufa a 60 °C até atingirem peso constante.

3.4 IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS

Após a secagem, o material presente nas placas de Petri foi analisado sob estereomicroscópio binocular (aumento de até 40×), para triagem visual e quantificação dos microplásticos conforme tipo (fibras, fragmentos, filmes, pellets, isopor etc.) e coloração, de acordo com os critérios propostos por Frias e Nash (2019). As partículas suspeitas foram removidas com auxílio de agulha metálica e transferidas para microtubos contendo água destilada, identificados por local de coleta. Não foi possível realizar análises espectroscópicas (FTIR ou Raman) devido à indisponibilidade de equipamentos. Entretanto, foram aplicados critérios morfológicos rigorosos, amplamente empregados em estudos exploratórios de microplásticos (Frias; Nash, 2019), com o objetivo de minimizar falsos positivos. Esses critérios incluíram a exclusão de fragmentos de aparência biogênica e a observação de características ópticas, como brilho, cor homogênea e ausência de estruturas celulares. Randhawa (2023) destaca que a morfologia dos microplásticos pode ser identificada por métodos de inspeção visual, conforme demonstrado em estudos pioneiros sobre contagem e caracterização física dessas partículas (Talvitie *et al.*, 2017). Na ausência de técnicas espectroscópicas, podem ser aplicadas abordagens alternativas, como o teste de fusão por aquecimento, em que o contato de uma agulha



aquecida com a partícula provoca sua deformação ou derretimento, confirmando sua natureza plástica (Shim; Hong; Eo, 2017; Hendrickson; Minor; Schreiner, 2018).

3.5 CONTROLE DE QUALIDADE

Medidas rigorosas foram adotadas para prevenir contaminação por fibras aéreas e outras fontes externas. Todos os utensílios utilizados eram de vidro ou metal, devidamente lavados com água filtrada e enxaguados com etanol 70%. O ambiente de trabalho foi limpo antes de cada sessão de análise, e o uso de jalecos de algodão foi priorizado para evitar liberação de fibras sintéticas. As luvas permaneceram em recipientes fechados e também foram lavadas antes do uso. Durante o processamento das amostras, o acesso ao laboratório permaneceu restrito. Foram utilizados dois controles negativos de procedimento, compostos por filtros de papel expostos durante todo o processo analítico, a fim de detectar e quantificar eventuais partículas de contaminação ambiental. Todos os líquidos empregados foram previamente filtrados e as superfícies higienizadas com etanol antes e após o manuseio das amostras, conforme recomendações de Silva-Cavalcanti *et al.* (2017), Montagner *et al.* (2021) e Badzoka *et al.* (2025). Nenhum microplástico foi detectado nos controles negativos.

3.6 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e processados no software R (versão 4.x) para verificação de consistência e realização das análises estatísticas. Realizou-se uma análise descritiva para quantificar o número total e a proporção relativa de microplásticos (MPs) por tipo e por local de coleta (Frias; Nash, 2019). As diferenças na abundância total entre as praias foram avaliadas pela ANOVA unifatorial, seguida do teste de Tukey HSD quando observadas diferenças significativas (Owowenu *et al.*, 2025). A variação na composição dos tipos de MPs foi testada pelo qui-quadrado de independência (Pan *et al.*, 2023), e a diversidade local estimada pelo índice de Shannon (H'). Por fim, aplicou-se a correlação de Pearson (r) para identificar padrões de associação entre os principais tipos de MPs (Altunişik; Yıldız; Tatlı, 2024).

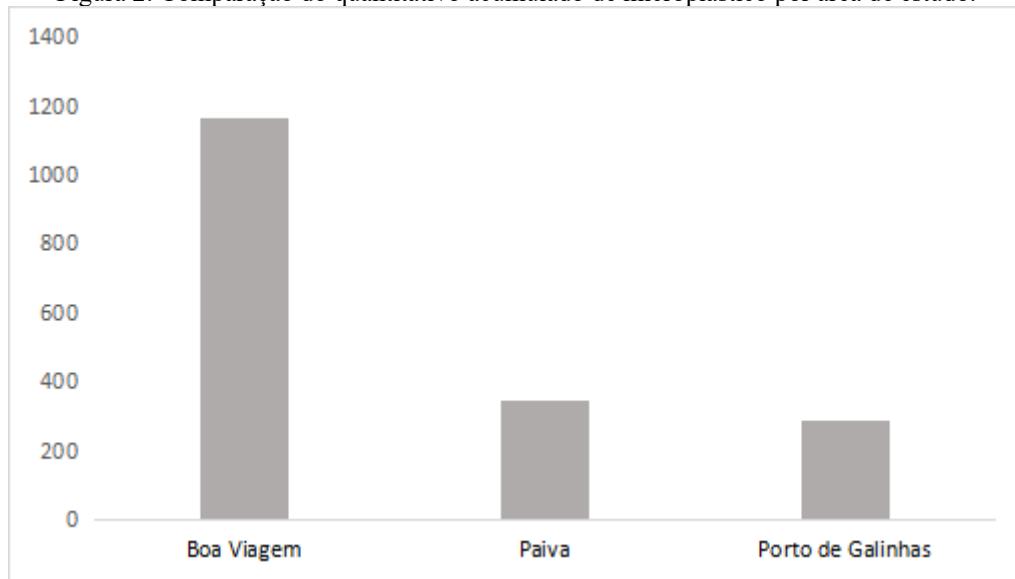
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Microplásticos foram identificados em todas as amostras de esponjas marinhas das três praias, totalizando 1.806 partículas. A praia de Boa Viagem apresentou a maior abundância (1.166 MPs), seguida da Reserva do Paiva (349 MPs) e de Porto de Galinhas (291 MPs) (Tabela 1; Figura 2). A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas na contagem total de MPs entre as praias ($F = 85,67$; $p < 0,001$). O teste post-hoc de Tukey indicou que Boa Viagem apresentou concentrações significativamente maiores do que Paiva ($p < 0,001$) e Porto de Galinhas ($p < 0,001$), enquanto não houve diferença significativa entre Paiva e Porto de Galinhas ($p = 0,324$). Esses



resultados sugerem que Boa Viagem constitui o principal ponto de acúmulo de microplásticos, possivelmente refletindo maior pressão antrópica e intensidade de uso costeiro.

Figura 2. Comparação do quantitativo acumulado de microplástico por área de estudo.



Fonte: Autores.

O acúmulo de microplásticos nas esponjas da praia de Boa Viagem pode estar associado às intensas atividades turísticas e à influência de descargas de poluentes provenientes dos rios Jordão, Pina, Tejipió e Capibaribe. Em áreas metropolitanas, concentrações elevadas de plásticos descartados inadequadamente são comuns, sendo transportados principalmente pelo escoamento superficial e acumulando-se em reservatórios e corpos hídricos (Feizi; Akhbarizadeh; Hamidian, 2024). Além disso, estima-se que uma única lavagem doméstica possa liberar milhares de microfibras, que alcançam os oceanos e se degradam, originando microplásticos (Lant et al., 2020).

Tabela 1. Quantificação e classificação de microplástico por área de estudo.

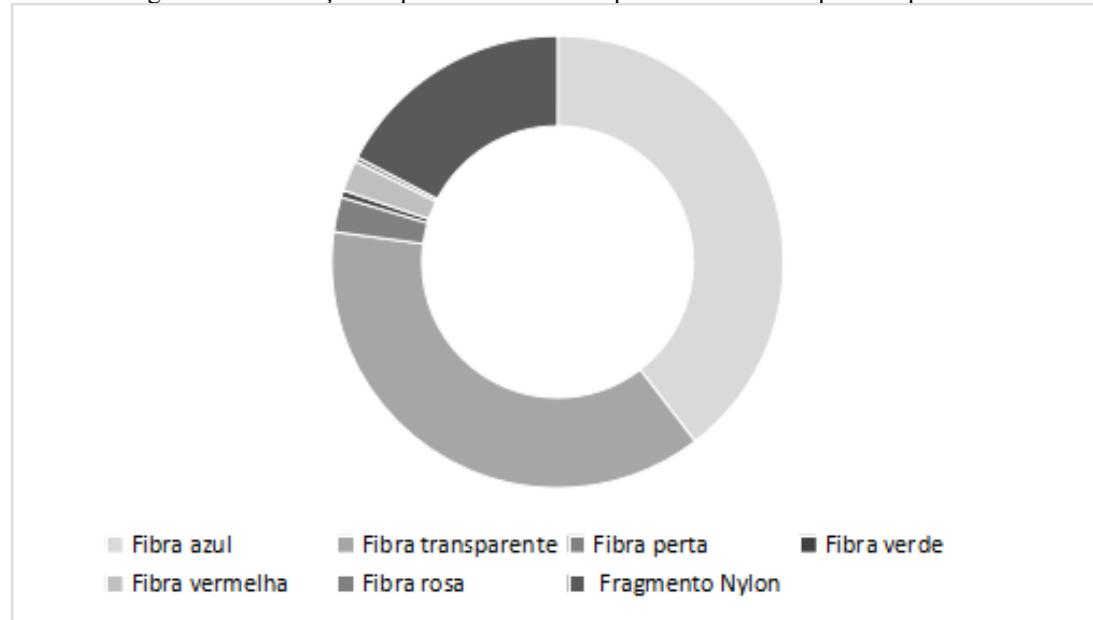
CARACTERIZAÇÃO MICROPLÁSTICOS	BOA VIAGEM	RESERVA DO PAIVA	PORTO DE GALINHAS
Fibra azul	366	197	152
Fibra transparente	458	102	118
Fibra preta	26	13	6
Fibra verde	2	1	6
Fibra vermelha	30	4	6
Fibra rosa	6	0	0
Fragmento de nylon	278	32	3
Total	1166	349	291

Fonte: Autores.



Os microplásticos (MPs) foram classificados em dois grupos principais com base em suas características físicas: fibras e fragmentos. A análise total revelou predominância de fibras, especialmente azuis (715; 39,4%) e transparentes (678; 37,4%), seguidas por fragmentos de nylon (313; 17,2%), fibras pretas (42; 2,5%), vermelhas (40; 2,2%), verdes (9; 0,5%) e rosas (6; 0,3%) (Figura 3). Resultados semelhantes foram observados por Celis-Hermanes et al. (2021), que, ao analisar sedimentos e esponjas marinhas em manguezais do México, identificaram exclusivamente microfibras, com maior representatividade para a cor azul. De forma consistente, Sari, Ismit e Srimarina (2023) relataram predominância de fibras azuis em esponjas da Ilha de Pramuka, Indonésia. A maior abundância de fibras em sistemas de esgoto e drenagem está associada ao descarte de efluentes provenientes da lavagem de roupas (Dris; Gasperi; Tassin, 2018). Dessa forma, a presença predominante de fibras sintéticas sugere contaminação por efluentes domésticos e industriais, especialmente da indústria têxtil.

Figura 3. Distribuição do percentual total das partículas de microplástico por cor.



Fonte: Autora, 2025.

Na comparação da composição de microplásticos (MPs) entre praias, o teste qui-quadrado evidenciou diferenças significativas entre as localidades ($\chi^2 = 287,4$; $p < 0,001$). A praia de Boa Viagem apresentou a maior diversidade de partículas (Índice de Shannon $H' = 1,12$), seguida por Paiva ($H' = 0,98$) e Porto de Galinhas ($H' = 0,86$), sugerindo múltiplas fontes de poluição e distintos níveis de aporte antrópico. Resultados similares foram observados por Zhao et al. (2022), que associaram maiores índices de diversidade de MPs à complexidade urbana e às descargas de efluentes domésticos em áreas costeiras tropicais.

A análise de correlação revelou forte relação negativa entre as fibras azul e transparente ($r = -0,89$), indicando que praias com alta abundância de um tipo tendem a apresentar menor ocorrência do



outro. Esse padrão sugere diferenças nas fontes de contaminação ou nas condições ambientais locais, que afetam a dispersão e deposição seletiva das partículas plásticas. Os resultados reforçam a relevância das esponjas marinhas como modelo biológico para detecção de poluição costeira, dada sua capacidade de bioacumular MPs.

A ampla distribuição de plásticos nos ambientes aquáticos tem implicações ambientais significativas, impactando rios, lagos, oceanos e até regiões polares, ameaçando a segurança de espécies marinhas (Zhao et al., 2022). Considerando que cerca de 85% dos resíduos marinhos são de origem plástica (Amaral; Rodet, 2025), os impactos da poluição por microplásticos são intensificados pela industrialização e urbanização (Thushari; Senevirathna, 2020). A temática da poluição por MPs vem ganhando atenção científica e social, mas ainda persiste lacuna na implementação de políticas públicas e estratégias de governança para mitigação (Onyena et al., 2022). Este estudo contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 11, 12, 14 e 15, ressaltando a importância de preservar ecossistemas marinhos frente à poluição plástica e seus impactos socioeconômicos.

Tendo em vista que as amostragens foram realizadas durante a maré baixa, quando as esponjas permaneciam expostas e a coleta se tornava operacionalmente viável. Entretanto, é importante destacar que, durante a maré alta, essas mesmas áreas são submetidas à influência de ondulações e ao aumento da energia de corrente (Lira et al., 2010; Lopes; Girão, 2020). A costa pernambucana é uma região de mesomaré, sua hidrodinâmica é fortemente modulada pela ação das ondas e pela circulação costeira, ambas determinadas pela direção e intensidade dos ventos (Lira et al., 2010).

Essas condições hidrodinâmicas favorecem a suspensão e o transporte horizontal de fibras e de outras partículas alongadas com baixa velocidade de sedimentação (Kumar et al., 2021; Shen et al., 2024), aumentando, portanto, sua disponibilidade na coluna d'água. Assim, a predominância de fibras observada nos tecidos de *Tethya* pode refletir não apenas aportes locais, mas também a maior concentração de fibras em suspensão durante episódios de maré alta e maior ondulação. Esse cenário reforça a importância das esponjas marinhas como modelos biológicos para detecção e compreensão do acúmulo de microplásticos. Esses organismos são capazes de bombear até 900 vezes o próprio volume corporal em água por hora, retendo até 80% das partículas suspensas em seu entorno (Chirigati, 2021; Fallon; Freeman, 2021), o que as torna excelentes bioindicadoras da disponibilidade de partículas no ambiente.

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que esponjas do gênero *Tethya* são eficientes modelos biológicos para detectar microplásticos no litoral de Pernambuco. A predominância de fibras encontradas em seus tecidos reflete tanto fontes locais de poluição quanto a dinâmica hidrodinâmica



regional, marcada por mesomaré, forte ação de ondas e circulação modulada pelos ventos, que favorecem a suspensão e o transporte dessas partículas.

A elevada capacidade filtradora de *Tethya* reforça seu papel como organismo sentinela, acumulando fibras e registrando a variabilidade da poluição plástica na coluna d'água. Assim, este trabalho contribui para o entendimento da interação entre microplásticos e organismos filtradores em ambientes tropicais e destaca a necessidade de ampliar o monitoramento e implementar estratégias de mitigação da poluição plástica na zona costeira.



REFERÊNCIAS

- ALIABAD, Mojgan Khamarzadeh; NASSIRI, Mahmoud; KOR, Kamalodin. Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman(Makran Coasts). **Marine Pollution Bulletin**. ed.143, p. 125-133, jun.2019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.037>
- ALTUNIŞIK, Abdullah; YILDIZ, Mehmet Zülfü; TATLI, Hatice Hale. Microplastic accumulation in a lizard species: Observations from the terrestrial environments. **Environmental Pollution**, v. 359, n. 1, p. 124754, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124754>
- AMARAL, Vanúzia Gonçalves; RODET, Maria Jacqueline. “É doce morrer no mar”? lixo lançado em ambientes marinhos e a formação de novos registros arqueológicos. **Vestígios-Revista Latino-Americana de Arqueología Histórica**, v. 19, n. 2, p. 299-316, 2025. <https://doi.org/10.31239/fheg5864>
- ANDRADE, Lorryne R.; PEREIRA, Mônica Cox B. Impactos socioambientais geradas pela via mangue (Recife-PE) e análise das desigualdades socioespaciais. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 2, p. 26-45, 2014
- BADZOKA, Jovan *et al.* Permitindo precisão analítica na análise de microplásticos: soluções inovadoras para validação precisa de métodos, avaliação e controle de qualidade. **Microplásticos e Nanoplásticos**, v. 5, n. 1, p. 2, 2025. <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00108-3>
- CELIS-HERNANDEZ, Omar *et al.*. Microplastics distribution in urban vs pristine mangroves: Using marine sponges as bioindicators of environmental pollution. **Environmental Pollution**. v.284, n.1, p.117391, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117391>
- CHIRIGATI, Fernando. Fluid dynamic behavior of deep-sea sponges. **Nature Computational Science**, v. 1, n. 8, p. 504-504, 2021. <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00120-0>
- CHOY, C. Anela *et al.* The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 7843, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44117-2>
- COHEN, Nirrit; RADIAN, Adi. Microplastic textile fibers accumulate in sand and are potential sources of micro (nano) plastic pollution. **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 24, p. 17635-17642, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05026>
- COSTA, M.F. *et al.* On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 168, n. 4, p. 299–304, mar./jul. 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1113-4>
- DA SILVA PAES, Eldimar *et al.* Widespread microplastic pollution in mangrove soils of Todos os Santos Bay, northern Brazil. **Environmental Research**, v. 210, p. 112952, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112952>
- DRIS, R.; GASPERI, J.; TASSIN, B. Sources and fate of microplastics in urban areas: a focus on Paris megacity. **Freshwater Microplastics**, v. 58, p. 69-83, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- ERYAŞAR, Ahmet Raif; GEDIK, Kenan; MUTLU, Tanju. Ingestion of microplastics by commercial fish species from the southern Black Sea coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 177, n. 1, p. 113535, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113535>
- FAGIANO, Valentina *et al.* Global meta-analysis and review of microplastic in marine copepods. **Environmental Pollution**, v. 351, p. 124092, 2024 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124092>



FALLON, Bailey R.; FREEMAN, Christopher J. Plastics in Porifera: The occurrence of potential microplastics in marine sponges and seawater from Bocas del Toro, Panamá. **PeerJ**, v. 9, p. e11638, 2021. <https://doi.org/10.7717/peerj.11638>

FEIZI, Farzaneh; AKHBARIZADEH, Razegheh; HAMIDIAN, Amir Hossein. Microplastics in urban water systems, Tehran Metropolitan, Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 7, p. 643, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12815-8>

FONSECA, Vanessa F. *et al.* Microplastics in the Southern Brazilian estuary: interactions between environment, morphology, and seasonal variation. **Regional Studies in Marine Science**, p. 104517, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104517>

FRIAS, João P. G. L.; NASH, Roisin. Microplastics: Finding a consensus on the definition. **Marine pollution bulletin**, v. 138, p. 145-147, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

FUNCH, Peter *et al.* Fate of microplastic captured in the marine demosponge *Halichondria panicea*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 194, p. 115403, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115403>

GONZALEZ-PINEDA, Mariona *et al.* Experimental ingestion of microplastics in three common Antarctic benthic species. **Marine Environmental Research**, v. 204, n. 1, p. 106879, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106879>

GUO, Jing-Jie *et al.* Source, migration and toxicology of microplastics in soil. **Environment international**, v. 137, n. 1, p. 105263, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105263>

HALE, Robert C. *et al.* A global perspective on microplastics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 125, n. 1, p. e2018JC014719, 2020. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>

HANUN, Jihan Nabillah; HASSAN, Fahir; JIANG, Jheng-Jie. Occurrence, fate, and sorption behavior of contaminants of emerging concern to microplastics: Influence of the weathering/aging process. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 5, p. 106290, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106290>

HENDRICKSON, Erik; MINOR, Elizabeth C.; SCHREINER, Kathryn. Microplastic abundance and composition in western Lake Superior as determined via microscopy, Pyr-GC/MS, and FTIR. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 4, p. 1787-1796, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05829>

HOLANDA, Tiago Fernando de. **Mapeamento morfodinâmico da Praia do Paiva-PE, Brasil**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

HOMBING, Angelina Br *et al.* Interaction Mechanisms Between Marine Sponges (Porifera) and Microplastics: A Bioecological Overview. In: **BIO Web of Conferences**. EDP Sciences, 2025. p. 03005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202518403005>

Huang, Jian Sheng Huang *et al.* Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. **Science of the Total Environment**, v. 708, p. 134839, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>

IVAR DO SUL, Juliana A.; COSTA, Monica F. Marine debris review for Latin America and the Wider Caribbean Region: From the 1970s until now, and where do we go from here?. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n. 8, p. 1087-1104, mai. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.05.004>



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, n. 7, p. 1-13, jun. 2014. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2004-z>

KANG, Teawook; KIM, Dongsung; OH, Je Hyeok. Ingestion of microplastics by free-living marine nematodes, especially *Enoplolaimus* spp., in Mallipo Beach, South Korea. **Plankton and Benthos Research**, v. 16, n. 2, p. 109-117, 2021. <https://doi.org/10.3800/pbr.16.109>

KIMURA, Riko *et al.* Microplastic ingestion by sea turtles around Tokyo Bay: Level of water pollution influences ingestion amounts. **Marine Pollution Bulletin**, v. 206, p. 116673, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116673>

KRIKECH, Imad *et al.* Microplastics ($\leq 10 \mu\text{m}$) bioaccumulation in marine sponges along the Moroccan Mediterranean coast: Insights into species-specific distribution and potential bioindication. **Environmental Research**, v. 235, p. 116608, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116608>

KUMAR, Rakesh *et al.* Effect of physical characteristics and hydrodynamic conditions on transport and deposition of microplastics in riverine ecosystem. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2710, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13192710>

LANT, Neil J. *et al.* Microfiber release from real soiled consumer laundry and the impact of fabric care products and washing conditions. **PLoS one**, v. 15, n. 6, p. e0233332, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233332>

LEAL, Suely Maria Ribeiro *et al.* Reserva do Paiva: o poder das governanças em Grandes Projetos Urbanos. **Oculum Ensaio**, v. 19, p. 1-21, 2022. <https://doi.org/10.24220/2318-0919v19e2022a5033>

LI,Jingjing; HUANG, Wei; XU, Yongjiu; ZHANG, Dongdong; ZHANG, Chunfang. Microplastics in sediment cores as indicators of temporal trends in microplastic pollution in Andong salt marsh, Hangzhou Bay,China. **Regional Studies in Marine Science**. v.35,n.1,p.101149, mar.2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101149>

LIRA, Luiz *et al.* Estudo de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 30 37, 2010.

LOPES, Vanessa Martins; GIRÃO, Osvaldo. A dinâmica geomorfológica sob a ótica do pescador artesanal: etnogeomorfologia costeira e estuarina do litoral norte de Pernambuco. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 1, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v18i0.15309>

MENDEZ-SANHUEZA, Sebastian *et al.* Microplastics in seabird feces from coastal areas of central Chile. **Animals**, v. 13, n. 18, p. 2840, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13182840>

MENDONÇA, Kassandra de Pao; ANGELETTI, Bernard; DUFOUR, Aurélie; BORCHIELLINI, Corole; HEIMBURGER-BOAVIDA, Lars-Eric; RENARD,Emmanuelle; ISSARTEL,Julien. The sponge *Oscarella lobularis* (Porifera, Homoscleromorpha)as a suitable biomonitor of metallic contamination in Mediterranean coastal ecosystems. **Marine Pollution Bulletin**. ed. 188, p.114665, mar.2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114665>

MENEZES, Athos Farias; PEREIRA, Pedro de Sousa; GONÇALVES, Rodrigo Mikosz; ARAÚJO, Tereza Cristina Medeiros de; SOUSA, Paulo Henrique Gomes de Oliveira. Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. **Geociências**, v. 37, n. 2, p. 455 - 465, 2018.

MENG, Yuchuan, KELLY, Frank. J., WRIGHT, Stephanie. L. Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. **Environmental Pollution**, v. 256, n. 1, p. 113445, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>



MONTAGNER, Cassiana C. *et al.* Microplastics: environmental occurrence and analytical challenges. **Química Nova**, v. 44, n. 1, p. 1328-1352, 2021. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>

NAIDU, S. A.; RANGA RAO, V.; RAMU, K. J. E. G. Microplastics in the benthic invertebrates from the coastal waters of Kochi, Southeastern Arabian Sea. **Environmental geochemistry and health**, v. 40, p. 1377-1383, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0062-z>

OLIVEIRA, Jéssica Cristina Mendes; HILBORNE, Benjamin Alfie; VILAS BOAS, Dinabel Alves Cirne; RODRIGUES, Midiã Silva; FERNANDES, Múcio Luiz Banja; SILVA, Andrea Karla Pereira; PEREIRA, Artur.Torquato. Presence of microplastics in shipwrecks along the continental shelf of the state of Pernambuco – Brazil. **International Journal of Environmental Studies**, v. 80, n.1, p. 1-14, mai. 2023. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2209470>

ONYENA, Amarachi Paschaline; ANICHE, Donald Chukwudi; OGBOLU, Bright Ogechi; RAKIB,Md Refat Jahan; UDDIN, Jamal; WALKER, Tony R. Governance Strategies for Mitigation Microplastic Pollution in the Marine Environmental: A review. **MDPI**. v.1,n.1,p.1010003,dez.2021. <https://doi.org/10.3390/microplastics1010003>

OWOWENU, Enahoro Kennedy *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in functionally delineated hydraulic zones in selected Rivers, Eastern Cape, South Africa. **Environmental Pollution**, v. 379, n. 1, p. 126544, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126544>

PAN, Zhong *et al.* Reinforced human intervention drives microplastic pollution in estuarine beaches and nearshore sediments of Dongshan Bay, China. **Gondwana Research**, v. 119, p. 153-163, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.013>

PAPPIS, Thatiane; KAPUSTA, Simone Caterina; OJEDA, Telmo. Metodologia de extração de microplásticos associados a sedimentos de ambientes de água doce. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 749-756, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200143>

PONTES,B.A.N.M. **Do sol e mar à sombra e água fresca: ressignificação de praias à sustentabilidade.** 2022. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco,Recife, 2022.

RANDHAWA, Jatinder Singh. Advanced analytical techniques for microplastics in the environment: a review. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 47, n. 1, p. 174, 2023. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01148-0>

RIBEIRO, Victor Vasques *et al.* Microplastics in marine sponges (Porifera) along a highly urbanized estuarine gradient in Santos, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 208, p. 117044, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117044>

RIBEIRO, Suzi M.; MURICY, Guilherme. Taxonomic revision of Brazilian Tethya (Porifera: Hadromerida) with description of four new species. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 91, n. 7, p. 1511–1528, 2011. <https://doi.org/10.1017/S0025315411000038>

RILLIG, Matthias C.; LEHMANN, Anika. Microplastic in terrestrial ecosystems. **Science**, v. 368, n. 6498, p. 1430-1431, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.abb5979>

ROCHA, Vitalino de Carvalho. Alterações nas dunas da Praia de Boa Viagem- Recife(PE) originadas por Ação Antrópica. **Investigaciones Geográficas**. v.56,n.1,p.138-152,2018. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2018.48066>



SARI, A. E. M.; ISMET, M. S.; SRIMARIANA, E. S. Seagrass sponge (*Agelas conifera*: Demospongia) potential of microplastic accumulation from Pramuka Island, Seribu Islands. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012064. <https://doi.org/10.1080/14772000.2024.2383341>

SANTANA, Valdilene Valdice de; SELVA, Vanice Santiago Fragoso; JÚNIOR, Norberto Francisco de Barros; SANTOS, Patrício Rinaldo dos; SILVA, Dammyres Barboza de Santana. Práticas turísticas nos ambientes recifais de Porto de Galinhas, Pernambuco: Gestão, manejo e estrutura de governança. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial sustentável**. v.8, n.1, p.1-23, 2022. <https://doi.org/10.5380/guaju.v8i0.80728>

SANTODOMINGO, Nadia *et al.* Integrative taxonomy of *Tethya*: description of four new species based on morphology, phylogeny and microbiome diversity. **Systematics and biodiversity**, v. 22, n. 1, p. 2383341, 2024. <https://doi.org/10.1080/14772000.2024.2383341>

SCHUAB, João Marcos *et al.* First record of microplastic in the Brazilian sea hare *Aplysia brasiliiana* Rang, 1828 (Mollusca: Aplysiidae). **Science of The Total Environment**, v. 895, p. 165156, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165156>

SHEN, Xiaoteng *et al.* Settling and rising velocities of microplastics: Laboratory experiments and lattice Boltzmann modeling. **Environmental Pollution**, v. 363, p. 125107, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125107>

SHIM, Won Joon; HONG, Sang Hee; EO, Soeun Eo. Identification methods in microplastic analysis: a review. **Anal Methods** 9: 1384–1391 [em linha]. 2017. <https://doi.org/10.1039/C6AY02558G>

SILVA-CAVALCANTI, Jacqueline Santos *et al.* Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. **Environmental pollution**, v. 221, n.1, p. 218-226, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.068>

SPENGLER, Angela; COSTA, Monica F. Methods applied in studies of benthic marine debris. **Marine pollution bulletin**, v. 56, n. 2, p. 226-230, set. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.09.040>

YU, Xiaoxuan *et al.* Microplastic and associated emerging contaminants in marine fish from the South China Sea: exposure and human risks. **Journal of Hazardous Materials**, v. 480, p. 136200, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136200>

TALVITIE, Julia *et al.* Solutions to microplastic pollution–Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. **Water research**, v. 123, p. 401-407, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>

TRAN-NGUYEN, Quynh Anh *et al.* Urban drainage channels as microplastics pollution hotspots in developing areas: A case study in Da Nang, Vietnam. **Marine pollution bulletin**, v. 175, n. 1, p. 113323, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113323>

THUSHARI, G.G.N; SENEVIRATHNA, J.D.M. Plastic pollution in the marine environment. **Helyon**. v.6,n.1,p.04709,2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

YANG, Yu; WANG, Jialei; XIA, Mengli. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms *Zophobas atratus*. **Science of the total environment**, v. 708, n. 1, p. 135233, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233>

ZHAO, Shaoyan *et al.* Growing concerns over ingested microplastics in humans. **Carbon Research**, v. 4, n. 1, p. 1-4, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00164-7>

