

Acúmulo de macro, meso e microplásticos em uma praia Urbana do Caribe Venezuelano: influências humanas e dinâmica costeira

Accumulation of macro, meso and microplastics on an urban Caribbean Beach in Venezuela: Human Influences and Coastal Dynamics

Adriana Carolina Gamboa¹; Richard Jesús Sánchez Maza²; Jennifer Sarahí Ñáñez Márquez³; Genesio Mario da Rosa⁴; Kauane Andressa Flach⁵; Luis Ernesto Medina Faull⁶

- ¹ Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”, Eje Académico Procesos Químicos, Cumaná/Estado Sucre, Venezuela. Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen-RS, Brazil. Email: adrianacgam@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1828-4219>
- ² Universidad Politécnica Territorial del Oeste del Estado Sucre Clodosbaldo Russián, Eje Académico Procesos Químicos, Cumaná/Estado Sucre, Venezuela. Email: richardjs23.18@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1303-3559>
- ³ Universidad Politécnica Territorial del Oeste del Estado Sucre Clodosbaldo Russián, Eje Académico Procesos Químicos, Cumaná/Estado Sucre, Venezuela. Email: jennifermarquez1996@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2581-5797>
- ⁴ Universidade Federal de Santa Maria – Campus Frederico Westphalen, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen-RS, Brazil. Email: genesiomario@yahoo.com.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1247-2286>
- ⁵ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, Brasil. Email: kaaune_flaach@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8915-3289>
- ⁶ School of Marine and Atmospheric Sciences, Stony Brook University, New York, USA. Email: luis.medina@stonybrook.edu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9425-986X>

Resumo: Plásticos, derivados de petróleo e gás natural, são leves, moldáveis, duráveis e baratos, o que levou ao seu uso massivo e à geração de resíduos sólidos que poluem diversos ambientes. Este estudo analisou a ocorrência de macro, meso e microplásticos na Praia de San Luis (Cumaná), leste da Venezuela. Amostras de sedimento foram coletadas em cinco pontos equidistantes ao longo de três transectos de 350 m, enquanto os resíduos foram coletados em uma área de 3.500 m² e classificados em categorias de uso. Os sedimentos foram secos, peneirados e as partículas plásticas foram extraídas usando lupa e separação por densidade com NaCl 5 mol·L⁻¹ para a fração mais fina. As partículas extraídas foram classificadas por tamanho, forma e cor, e amostras selecionadas foram analisadas por ATR-FTIR. Os resultados mostraram a presença de resíduos principalmente associados a embalagens e consumo de alimentos. A matriz de sedimento foi composta majoritariamente por fragmentos e fibras, ligados à degradação do lixo plástico, bem como a atividades de pesca e entrada de águas residuais. Além disso, a distribuição espacial das partículas plásticas em direção a áreas urbanizadas reflete a forte influência antropogênica e a dinâmica costeira.

Palavras-chave: Contaminação plástica; microplásticos; praia urbana.

Abstract: Plastics, derived from petroleum and natural gas, are lightweight, moldable, durable, and inexpensive, which has led to their massive use and the generation of solid waste that pollutes diverse environments. This study analyzed the occurrence of macro, meso, and microplastics on San Luis Beach (Cumaná), eastern Venezuela. Sediment samples were collected at five equidistant points along three transects of 350 m, while plastic litter was collected over a 3,500 m² area and classified into usage categories. Sediments were dried, sieved, and plastic particles were extracted using magnifying lens and density separation with NaCl 5 mol·L⁻¹ for the finer fraction. Extracted particles were classified by size, shape, and color, and selected samples were further analyzed by ATR-FTIR. Results showed the presence of marine plastic litter mainly associated with food packaging and consumption. The sediment matrix was dominated by fragments and fibers, linked to the degradation of plastic litter as well as fishing activities and wastewater inputs. Moreover, the spatial distribution of plastic particles toward urbanized areas reflects strong anthropogenic influence and coastal dynamics.

Keywords: Plastic pollution; Microplastics; Urban beach.

Recebido: 02/08/2024; Aceito: 05/09/2025; Publicado: 16/10/2025.

1. Introdução

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), os plásticos são materiais poliméricos sintéticos, que incorporam aditivos destinados a melhorar o desempenho ou reduzir os custos. Estes são relativamente estáveis e baratos e, por isso, são amplamente utilizados em diversos produtos e aplicações cotidianas, devido à sua leveza e durabilidade (LEBRETON *et al.*, 2019; PILAPITIYA; RATNAYAKE, 2024). Entretanto, a crescente produção de plásticos, associada a práticas inadequadas de gestão e descarte, tem resultado em um acúmulo expressivo desses resíduos no ambiente, com projeções que indicam a presença de aproximadamente 150 milhões de toneladas nos oceanos até 2025 (JAMBECK *et al.*, 2015; MACLEOD *et al.*, 2021).

As atividades terrestres que contribuem para a poluição plástica incluem o acúmulo de resíduos nas ruas e praias, a má gestão de aterros sanitários, o descarte intencional ou acidental de materiais, entre outras fontes (CORDOVA; NURHATI, 2019). A persistência de plásticos no meio ambiente por longos períodos é atribuída à sua estabilidade química, alta durabilidade e natureza hidrofóbica. Essas características, somadas à complexidade de sua estrutura polimérica e ao elevado peso molecular, dificultam significativamente os processos de biodegradação (HUANG *et al.*, 2022).

A exposição dos resíduos plásticos a condições ambientais, como radiação UV, variações de temperatura, abrasão física e forças mecânicas, resulta na sua fragmentação (RABARI *et al.*, 2022). Este processo de degradação da matriz polimérica gera partículas menores que 5 mm, classificadas como microplásticos (BLAIR CRAWFORD; QUINN, 2016; GESAMP, 2019; BERMÚDEZ & SWARZENSKI, 2021), e partículas ainda menores que 1 μm , denominadas nanoplásticos (GIGAULT *et al.*, 2018).

A poluição por plásticos em ambientes marinho-costeiros tornou-se um problema crítico global, não só pela degradação paisagística, mas também por seus efeitos adversos na fauna marinha e terrestre e, potencialmente, na saúde humana. Os microplásticos (MPs), em particular, têm sido relatados por sua capacidade de serem ingeridos e bioacumulados por diversas espécies, com subsequente magnificação trófica. Isso pode causar danos aos sistemas neurológicos, imunológicos, reprodutivos e endócrinos, além de alterações no metabolismo e comportamento dos organismos (VEDOLIN *et al.*, 2018; GÜL, 2023). Além disso, os MPs podem atuar como vetores de contaminantes, adsorvendo poluentes como metais pesados e microcontaminantes hidrofóbicos (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, ftalato de dietilhexila, bifenilos policlorados e outros) e, assim, induzindo efeitos tóxicos nos organismos (FLORES-OCAMPO & ARMSTRONG-ALTRIN, 2023).

A presença de partículas plásticas tem sido relatada em várias praias ao redor do mundo. Por exemplo, um estudo realizado ao longo da costa mexicana relatou uma abundância de MPs entre 31,7 - 545,8 itens. m^{-2} (ALVAREZ-ZEFERINO, 2020). Na praia de Tampico, no sul do Golfo do México, o número de MPs em 20 g de sedimentos varia de 256 a 283 itens, com uma abundância de aproximadamente 13.392 itens. m^{-2} (FLORES-OCAMPO & ARMSTRONG-ALTRIN, 2023).

Em uma praia da cidade do Rio de Janeiro (Brasil), a concentração média foi de 111 itens. m^{-2} (DA SILVA *et al.*, 2024). Um estudo realizado em Costa Nova (Aveiro, Portugal), que investigou a poluição por MPs em transectos longitudinais e transversais, identificou concentrações médias entre 142 e 356 itens. kg^{-1} de peso seco nos transectos transversais e, de, 211-270 itens. kg^{-1} de peso seco nos transectos longitudinais (GODOY *et al.*, 2023).

No entanto, ainda há escassez de informações sobre o estado da poluição plástica na América Latina e no Caribe, o que evidencia a necessidade de ampliar as pesquisas na região. Considerando que as praias arenosas são particularmente suscetíveis à contaminação por plásticos, este estudo teve como objetivo analisar a presença de partículas plásticas de diferentes tamanhos em uma praia de uso turístico na cidade de Cumaná, estado de Sucre, Venezuela, contribuindo para reduzir a lacuna de conhecimento existente sobre o tema. Supõe-se que a presença de resíduos plásticos na praia San Luis, incluindo partículas de diferentes tamanhos, formas e naturezas químicas, esteja diretamente relacionada à pressão turística, às atividades pesqueiras e à urbanização costeira.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Cumaná, capital do estado de Sucre (Venezuela), está localizada na entrada do Golfo de Cariaco (10°27'00"N; 64°10'00"O), próxima à foz do rio Manzanares, considerado um dos corpos de água doce mais poluídos do país (FUENTES

et al., 2008). A região metropolitana da cidade abrange 598 km² e possui uma população estimada em 495.442 habitantes. As principais atividades econômicas estão relacionadas à pesca, destacando-se a presença de um porto e diversas operações marítimas (MEDINA-FAULL et al., 2024). Além disso, a cidade conta com duas praias principais, El Peñón e San Luis, intensamente frequentadas por moradores e visitantes.

A Praia San Luis está situada no extremo oeste da cidade, com uma extensão superior a 5 km (Figura 1). Ao longo de sua faixa costeira encontram-se residências, hotéis, balneários, serviços de aluguel de guarda-sóis, mesas e quiosques, além de intenso comércio de alimentos e bebidas. A praia é utilizada ao longo de todo o ano para atividades esportivas e recreativas. Trata-se de uma praia arenosa, composta por sedimentos de coloração pardo-clara, com densidade média de 2,53 g·cm⁻³, predominando areia média (76%) e areia fina (17%), além da presença de materiais biogênicos, como fragmentos de concha, e restos de vegetação.

2.2 Amostragem sedimentos superficiais e resíduos plásticos na praia

Em outubro de 2019, foram estabelecidos três transectos de 350 m, espaçados 50 m entre si, em um setor da praia. Em cada transecto, cinco pontos equidistantes (intervalo de 70 m) foram definidos, totalizando uma área de amostragem de 3.500 m². Em cada ponto, utilizou-se uma moldura metálica de 50 × 50 cm e 1,5 cm de profundidade para a coleta de aproximadamente 1 kg de sedimento superficial, com auxílio de pá e recipiente metálico. As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro etiquetados e posteriormente transferidas ao laboratório para processamento.

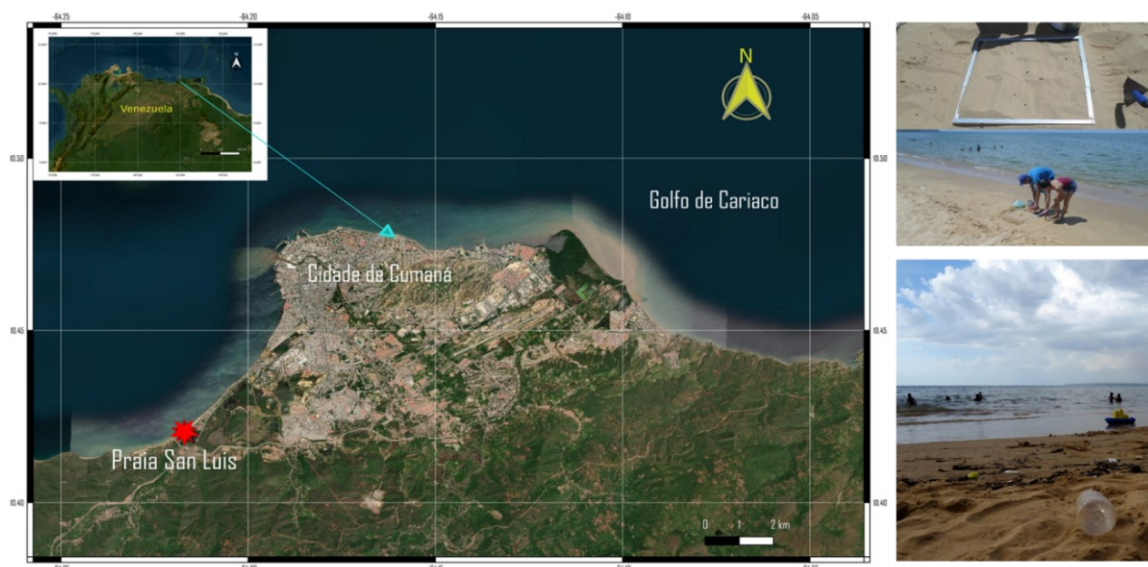


Figura 1 – Mapa de localização da Praia San Luis na cidade de Cumaná, Venezuela e fotografias do processo de amostragem.

Fonte: Autores (2025).

Paralelamente, foi realizado um levantamento de resíduos, na mesma área (3.500 m²), com foco em plásticos entre 2,5 e 100 cm ou macrolásticos (GESAMP, 2019). Todos os itens visíveis a olho nu foram coletados e classificados para posterior análise.

2.3 Contagem e classificação dos resíduos recuperados

Os resíduos coletados na área selecionada da praia foram contabilizados, pesados e categorizados conforme sua provável origem ou uso. Adicionalmente, o tamanho de cada item foi registrado.

2.4 Processamento laboratorial dos sedimentos e extração de plásticos

As amostras de sedimento foram secas por seis dias à temperatura ambiente em bandejas de alumínio. Posteriormente, realizou-se peneiramento em conjunto de peneiras de aço inoxidável, com aberturas de malha entre 12,5 e 0,25 mm, a fim de facilitar a extração das partículas plásticas e caracterizar a faixa granulométrica. Após a separação, cada fração foi

inspecionada visualmente e com auxílio de lupas de 10x e 12x, permitindo a recuperação de plásticos presentes na matriz sedimentar.

Para os fins deste trabalho, foi também realizada uma separação por densidade utilizando uma solução de NaCl filtrada 5 mol.L⁻¹ ($d=1,15 \text{ g.ml}^{-1}$), aplicada à fração granulométrica mais fina deste estudo (0,60–0,25 mm; MASURA *et al.*, 2015). A solução foi adicionada a frascos de vidro contendo os sedimentos, agitados vigorosamente para promover a flotação das partículas plásticas e em seguida, o sobrenadante foi filtrado. Esse processo foi repetido cinco vezes para cada porção de sedimento. Os papéis de filtro foram secos em estufa a 50 °C e examinados sob lupa para a identificação de plásticos.

Todos os possíveis plásticos recuperados da matriz sedimentar (partículas de cor clara e homogênea, sem estruturas celulares ou orgânicas visíveis, além de fibras de espessura uniforme) foram classificados com base em três características principais: (1) tamanho, de acordo com a fração granulométrica onde foram recuperados e as definições de mesoplásticos (5 - 25mm) e MPs (< 5 mm); (2) forma, em pellets, fibra, espuma, lâmina, fragmentos e microesferas; (3) cor, em branco, amarelo, cinza, transparente, azul, preto, vermelho, verde, multicolorido e outras (HIDALGO-RUZ *et al.*, 2012; BLAIR CRAWFORD; QUINN, 2016; FRIAS *et al.*, 2018; GESAMP, 2019).

Adicionalmente, foi utilizada espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com reflectância total atenuada (FTIR-ATR) para a identificação dos polímeros, em um equipamento Perkin Elmer Frontier, com 24 varreduras, resolução de 2 cm⁻¹ e intervalo espectral entre 700 e 4000 cm⁻¹.

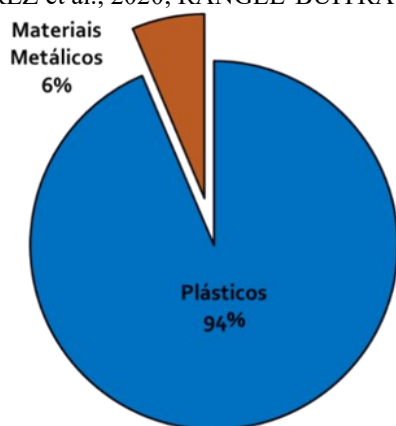
Medidas preventivas foram implementadas para evitar a contaminação das amostras, seguindo recomendações de Prata *et al.* (2021). Foram utilizados exclusivamente materiais e equipamentos de madeira, aço inoxidável e vidro, tanto no trabalho de campo quanto nos procedimentos laboratoriais. Além disso, a solução de trabalho foi previamente filtrada, e tanto as amostras quanto os papéis de filtro foram mantidos cobertos com papel alumínio quando não estavam em análise. Todos os materiais de laboratório passaram por limpeza rigorosa, enxágue com água destilada filtrada, inspeção sob ampliação e armazenamento em recipientes limpos. As peneiras foram cuidadosamente higienizadas entre as amostras com ar comprimido, garantindo a ausência de partículas plásticas (critérios de qualidade).

3. Resultados e discussão

3.1 Resíduos recuperados da praia San Luis

Do total de resíduos recolhidos na praia, foram contabilizados 845 itens (densidade = 0,241 itens·m⁻²), dos quais 790 pertenciam à categoria de plásticos (Tabela 1), em sua maioria macroplásticos (2,5–100 cm), que representaram 94% do peso total dos resíduos. Os 6% restantes corresponderam a resíduos metálicos (Figura 2).

Dos 22 tipos de resíduos recuperados, dois eram metálicos (tubos de chocolate e tampas de bebidas) e, os demais correspondiam a plásticos. Entre estes, 10 itens foram diretamente associados às subcategorias de empacotamento, embalagem e consumo de alimentos e bebidas, que podem ter sido utilizados na área ou em suas proximidades, seja porque os visitantes os levaram consigo ou os adquiriram no local. Destacam-se, nesse grupo, palitos e invólucros de pirulitos (97 e 114 itens, respectivamente), sacolas plásticas (99), embalagens de doces (69) e canudos (60), entre outros. Estudos anteriores demonstram que esse tipo de resíduo é frequentemente encontrado em praias (ASENSIO-MONTESINOS *et al.*, 2019; ÁLVAREZ *et al.*, 2020; RANGEL-BUITRAGO, 2021).



Resíduos recuperados na Praia San Luis



Figura 2 – Distribuição dos resíduos recolhidos na praia e foto do processo de classificação.
Fonte: Autores (2025).

Adicionalmente, foram recuperados cinco tipos de resíduos relacionados a atividades pesqueiras (subcategoria B2), incluindo fibras, redes, cordas e esponjas (51 itens), além de isopor (91 itens). Por fim, foram classificados como “outros” os seguintes resíduos: sutacas de medicamentos (1), material de escritório (1), fragmentos plásticos (38), elásticos (3) e bitucas de cigarro (95).

Tabela 1 – Classificação dos resíduos encontrados na praia San Luis, Sucre, Venezuela.

Categoria	Tipos de resíduos	Quantidade (itens)	Peso (g)	Longitude (cm)	Cores
A. Metal					
1	Tubos de chocolate	3	21,3	8,0	Laranja e bege
2	Tampas de recipientes de bebidas	51	11,4	2,5 cm (diâmetro)	Metal enferrujado
B. Plásticos					
<i>B1. Empacotamento, embalagem e consumo de alimentos e bebidas</i>					
1	Palitos de pirulitos	97	62,3	10,0-14,0	Várias cores com predominância de branco e vermelho
2	Invólucros de pirulito	114	45,4	5,0-10,5	Várias cores com predominância de amarelo
3	Talheres de plástico	6	14,8	12,0	Branco
4	Embalagens de doces	69	43,3	-	Multicolorido
5	Sacolas	99	75,6	8,0-29,0	Transparente
6	Tampas	32	74,4	3,2	Várias cores com predominância de branco
7	Bordas da tampa	19	6,4	3,0-9,0	Várias cores com predominância de branco & azul
8	Copos	6	11,7	5,0-6,0	Branco & Transparente
9	Canudos	60	23,4	4,0-26,0	Transparente
10	Recipientes de bebidas e de óleo	5	204,5	8,3-54,0	Branco & Transparente
<i>B.2 Artigos de pesca</i>					
1	Fibras	13	10,3	8,6-100,0	Multicolorido, preto, verde e Branco
2	Malha	1	0,6	5,8	Amarelo
3	Cordas	3	8,0	2,5-19,5	Amarelo
4	Esponjas	34	15,7	1,9-8,5	Amarelo
5	Isopor	91	43,6	1,5-7,8	Branco
<i>B.3 Outros</i>					
1	Sucatas de medicamentos	1	1,1	3,0	Prata
2	Material de escritório	1	2,1	4,5	Azul
3	Elásticos	3	2,7	11,6-12,5	Rosa, vermelho e verde
4	Bitucas de cigarro	95	18,4	1,0-3,0	Amarelo & Branco
5	Fragmentos	38	64,1	2,0-20,5	Várias cores com predominância de azul
Total		845	768,1	1,0-100,0	-

Fonte: Autores (2025).

As bitucas de cigarro, compostas por acetato de celulose, figuram entre os poluentes plásticos mais comuns no ambiente, atuando como fonte significativa de microfibras plásticas (SHEN *et al.*, 2021). Anualmente, bilhões de cigarros descartados acabam como resíduos ambientais e, devido ao descarte inadequado pelos fumantes, são encontrados em grandes quantidades em ambientes costeiros e marinhos (SANTOS *et al.*, 2017; ARAÚJO; COSTA 2019).

Na Venezuela, não há restrição quanto ao fumo em praias, embora exista uma Resolução de Ambientes Livres de Fumo de Tabaco (2011), aplicável apenas a espaços internos. Soma-se a isso a escassez de recipientes para coleta de resíduos na Praia San Luis, frequentemente distantes das áreas de maior permanência dos visitantes, o que favorece a disposição inadequada dos resíduos.

O isopor, por sua vez, tem sido amplamente reportado como um poluente plástico de presença significativa nas praias (ÁLVAREZ *et al.*, 2020; CHAN; NOT, 2023). Trata-se de um material com múltiplas aplicações, sendo utilizado em diferentes objetos e setores: em embalagens de alimentos, boias e caixas térmicas na pesca (GARCÉS-ORDÓÑEZ, 2022), em sistemas de isolamento na construção civil (GAO, 2023) e em atividades escolares, como na confecção de murais informativos, maquetes de ciências, jogos didáticos e peças de artes plásticas.

Ainda que prestadores de serviços realizem a limpeza periódica da faixa de areia destinada ao aluguel de cadeiras, toldos e mesas, tais ações revelam-se insuficientes para manter a praia livre de resíduos. Assim, além de intensificar os dias de limpeza, torna-se indispensável implementar um plano de manejo adequado, orientado à prevenção e ao controle contínuo da geração local de resíduos sólidos.

3.2 Partículas plásticas associadas a sedimentos da praia

Determinou-se a presença de partículas plásticas nos sedimentos de todos os transectos analisados, com a recuperação de 77 partículas, correspondendo a uma abundância média de $20,53 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$. Em relação à caracterização, a distribuição de tamanhos foi variável (3–24 itens por fração; Figura 3a), sendo a proporção de MPs superior à de mesoplásticos, representando 90% e 10%, respectivamente. A abundância média de MPs foi de $18,40 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$, com maior concentração nas classes de tamanho 2,00–0,85 mm (40,3% do total) e 0,85–0,60 mm (29,9%). Enquanto os mesoplásticos totalizaram $2,13 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$. Observou-se ainda que o transecto 3 apresentou maior número de partículas, coincidindo com a proximidade de estabelecimentos de venda de alimentos e bebidas e da área de estacionamento.

A exposição de macro e megaplásticos às condições ambientais promove sua degradação por fatores externos, como radiação ultravioleta e ação das ondas, resultando na geração de partículas menores invisíveis a olho nu e com reconhecido potencial de impacto ambiental e risco à saúde humana (MEGHA *et al.*, 2024; IKUNO *et al.*, 2024).

Em praias do Caribe, valores superiores aos observados neste estudo foram relatados. Delvalle de Borrero *et al.* (2020) registraram abundância de $353 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$ no Panamá, enquanto Garcés-Ordóñez *et al.* (2020) relataram $318 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$ no Caribe colombiano, superiores às praias do Pacífico. Por sua vez, Gamboa *et al.* (2022) identificaram média de $48 \text{ itens} \cdot \text{m}^{-2}$ em dois setores de praia San Luis (Cumaná, Venezuela) em fevereiro de 2021, evidenciando variação temporal.

Foram identificadas seis formas principais de partículas plásticas: espuma, esponjas, lâminas, pellets, fragmentos e fibras (Figura 3b). Os fragmentos predominaram, sobretudo nas cores preto, verde e azul, seguidos por branco, vermelho, multicolorido e outros, representando mais de 50% do total. Em geral, os fragmentos correspondem a materiais rígidos procedentes da degradação de resíduos plásticos maiores, com ampla variedade de fontes no cotidiano.

A segunda forma mais frequente correspondeu às fibras (pretas, brancas, transparentes e outras), seguida por lâminas (pretas, transparentes e brancas). Estas últimas estão associadas, principalmente, à degradação de sacolas plásticas de uso único, amplamente empregadas para transporte de produtos e alimentos (BAMIBOYE *et al.*, 2024). De fato, diversos países vêm adotando legislações restritivas, como por exemplo na Califórnia, onde sacolas de polietileno descartáveis foram banidas, e em Massachusetts há restrições para embalagens plásticas (THACHARODI *et al.*, 2024).

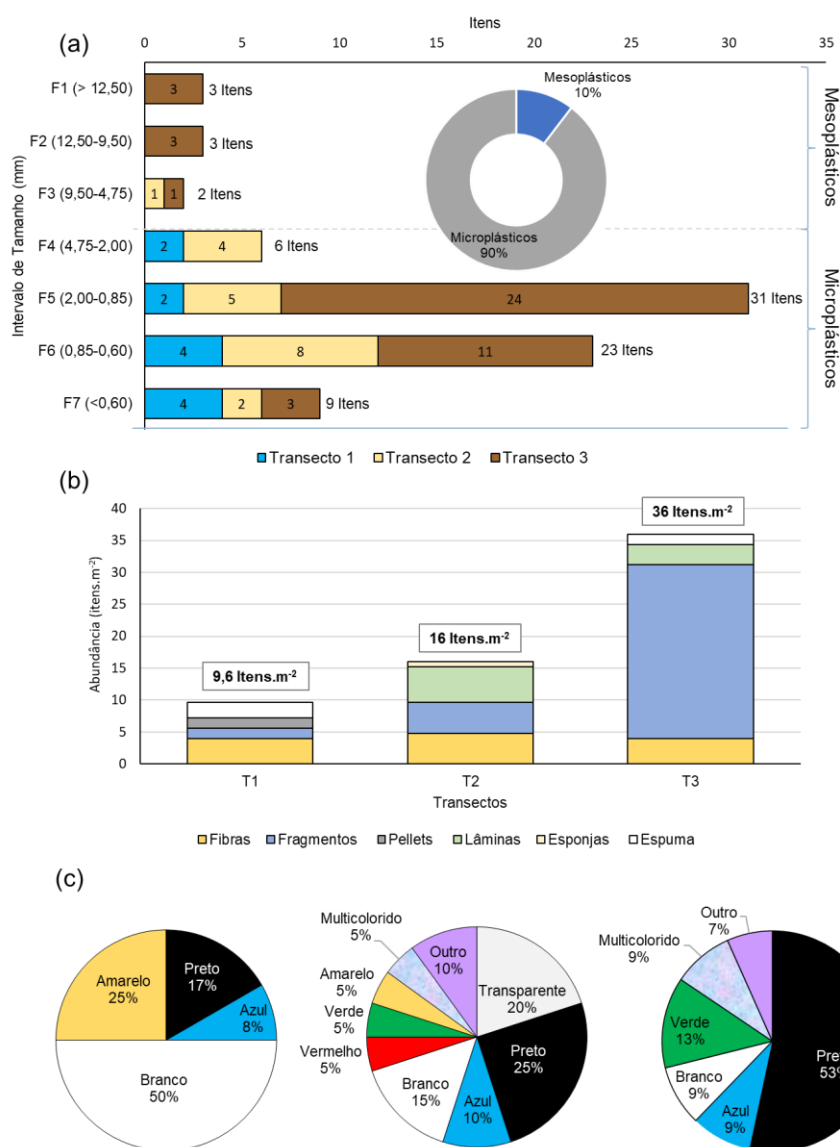


Figura 3 – Distribuição das partículas plásticas de acordo com seu (a) tamanho, (b) forma e (c) cor, por transectos.
Fonte: Autores (2025).

As fibras recuperadas, por sua vez, podem estar relacionadas tanto às atividades pesqueiras, pela degradação de linhas, redes e malhas utilizadas na pesca artesanal e comercial (GAMBOA *et al.*, 2022; LÓPEZ *et al.*, 2023), quanto a fontes domésticas, uma vez que tecidos sintéticos liberam microfibras durante a lavagem (BOUCHER; FRIOT, 2017; GRILLO *et al.*, 2022), as quais atingem corpos d'água por meio de efluentes (SUN *et al.*, 2019; PETROODY *et al.*, 2021). Diferentes estudos confirmam que fibras constituem uma fração relevante dos sedimentos costeiros (VIRAJ *et al.*, 2019; RANGEL-BUITRAGO *et al.*, 2021).

Por fim, os plásticos extraídos dos sedimentos apresentaram predominantemente as cores preto, branco, verde e azul, sendo observada maior diversidade cromática nos transectos 2 e 3 em comparação ao transecto 1, onde apenas quatro cores foram registradas (Figura 3c). A coloração pode fornecer indícios sobre a composição dos polímeros, uma vez que diferentes tipos de plásticos são frequentemente tingidos com corantes específicos, o que contribui para a identificação e

rastreabilidade da origem dos MPs (ROCHMAN *et al.*, 2019). Além disso, estudos indicam que certos organismos apresentam preferência por partículas de determinadas cores, o que pode aumentar o risco de ingestão seletiva (KYE *et al.*, 2023).

A acumulação de plásticos em ambientes costeiros é fortemente influenciada por fatores hidrodinâmicos, como vento, ondas e marés, que além de promoverem a abrasão dos materiais na superfície marinha e nos sedimentos de praia, condicionam a distribuição temporal e espacial dos MPs (KALOGERAKIS *et al.*, 2017). Neste estudo, observou-se maior concentração de partículas plásticas nos transectos 2 e 3, principalmente associada a las actividades humanas, sem descartar a contribuição dos padrões de maré semidiurna da região, que transportam e depositam plásticos e sedimentos provenientes de outras localidades. Esse aporte pode estar relacionado tanto ao escoamento superficial ou à ação dos ventos, sem desconsiderar a forte influência antrópica local.

Além das propriedades físicas mencionadas, a identificação do tipo de polímero que compõe os MPs é essencial para inferir potenciais fontes e setores contribuintes à poluição plástica em áreas costeiras. Para os fins desta pesquisa, algumas partículas foram selecionadas para análise por FTIR-ATR, visando determinar sua constituição polimérica. Foram examinados fragmentos de cores branco, azul, verde, vermelho e laranja (incluídos na categoria “outras cores”), além de amostras de espuma ou isopor branco, esponja amarela e lâmina branca.

A comparação dos espectros obtidos com bibliografia de referência permitiu identificar polietileno (PE) nos fragmentos azuis, verdes e brancos; polipropileno (PP) nos fragmentos vermelhos e laranjas; poliestireno (PS) na espuma branca (isopor); e poliuretano (PU) na esponja amarela. Os polímeros mais abundantes detectados foram PE e PP (Figura 4). A presença de diferentes polímeros na matriz sedimentar reforça a contribuição de múltiplas fontes ambientais para a poluição plástica na área estudada.

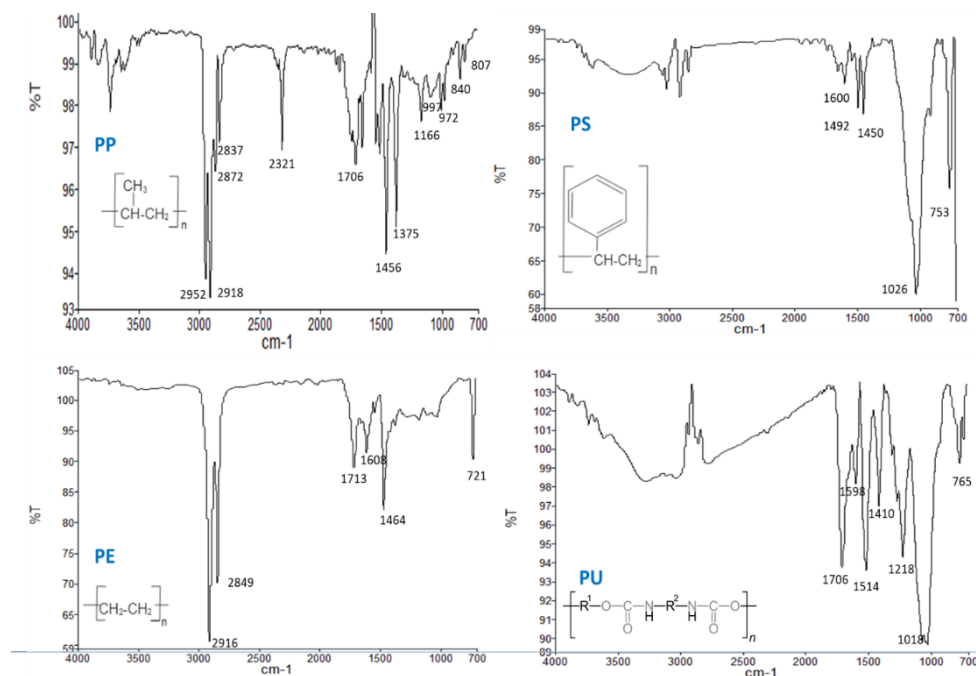


Figura 4 – Espectros de partículas plásticas selecionadas.

Fonte: Autores (2025).

Na Tabela 2 são apresentados os principais usos dos polímeros identificados neste estudo, bem como as bandas características observadas nos espectros de IR. Esses materiais estão em consonância com a distribuição da produção global de plásticos em 2021, na qual o PE (incluindo as formas de alta e baixa densidade) representou 26,9%, seguido pelo polipropileno (PP) com 19,3%, o poliuretano (PU) com 5,5% e o poliestireno (PS) com 5,3% (PLASTIQUE EUROPE, 2021).

Como se observa, o uso desses polímeros é altamente diversificado, abrangendo embalagens e acondicionamento de produtos, fabricação de móveis, aplicações médicas, indústria automotiva, telecomunicações, entre outros setores (BLAIR CRAWFORD; QUINN, 2016).

Tabela 2 – Usos, modos de vibração importantes e atribuições para os espectros ATR FTIR polímeros identificados neste estudo.

Polímeros	Uso	Bandas de absorção (cm ⁻¹)	Alocação
Polipropileno	Tampas de garrafas e tampas de recipientes, fita de embalagem, tubos, corda, aplicações automotivas, móveis para áreas externas, entre outros.	2952	Alongamento C-H
		2918	
		2872	
		2837	
		1456	Flexão CH ₂
		1375	Flexão CH ₃
		1166	Flexão CH, oscilação CH ₃ , alongamento C-C
		997	Oscilação CH ₃ , flexão CH ₃ , flexão CH
		972	Oscilação CH ₃ , estiramento C-C
		840	Oscilação CH ₂ , estiramento C-CH ₃
Poliuretano	Dispositivos médicos, correias de transmissão, almofadas, embalagens, móveis, isolantes acústicos, entre outros.	807	Oscilação CH ₂ , estiramento C-C, estiramento C-CH
Poliestireno	Talheres e utensílios de mesa descartáveis, recipientes alimentares descartáveis rígidos, outras aplicações de baixo custo que requerem rigidez.	2916	Alongamento do anel aromático
		2849	
		1464	Flexão CH ₂
		721	Oscilação CH ₂
Poliuretano	Dispositivos médicos, correias de transmissão, almofadas, embalagens, móveis, isolantes acústicos, entre outros.	1600	Alongamento do anel aromático
		1492	
		1450	Flexão CH ₂
		1026	Curvatura CH aromática
Poliuretano	Dispositivos médicos, correias de transmissão, almofadas, embalagens, móveis, isolantes acústicos, entre outros.	1706	Alongamento C=O
		1514	Alongamento C-N
		1410	Flexão CH ₂
		1218	Alongamento C(=O)O stretch

Fonte: Autores (2025). Elaborada com base em informações de Blair Crawford & Quinn 2016; Akidoyo et al., 2016.

Os polímeros PE, PP e PS estão entre os mais produzidos e utilizados globalmente e, consequentemente, partículas derivadas desses materiais, em diferentes tamanhos, têm sido amplamente detectadas no ambiente. Esses resíduos exercem impactos negativos que variam desde a perda da qualidade paisagística até a degradação da saúde ambiental dos ecossistemas (ANDRADY, 2011).

Além disso, há um risco potencial à saúde humana decorrente da exposição a MPs, seja por inalação, ingestão ou contato dérmico. Sua toxicidade química está associada, principalmente, à liberação de monômeros e aditivos presentes na matriz plástica (por exemplo: bisfenol A, ftalatos, PCBs), bem como à capacidade desses materiais de adsorver e concentrar contaminantes orgânicos hidrofóbicos em sua superfície, incluindo pesticidas organoclorados e hidrocarbonetos

poliaromáticos (PRATA *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2021). Dessa forma, torna-se fundamental monitorar continuamente o estado dos ecossistemas em relação à poluição plástica.

4. Considerações finais

Este estudo confirmou a predominância de resíduos plásticos (94% em peso) e a ocorrência de partículas em diferentes tamanhos, formas, cores e naturezas químicas nos sedimentos superficiais da praia San Luis (estado Sucre, Venezuela). Tais evidências reforçam que as atividades turísticas, recreativas e pesqueiras, associadas à urbanização costeira que exercem um papel determinante na contaminação plástica da região.

Os resultados obtidos contribuem para preencher algumas lacunas de informação sobre o Caribe venezuelano, região ainda pouco estudada em comparação com outras áreas da América Latina e do mundo. A identificação de polímeros, como PE, PP, PS e PU, assim como a categorização das partículas em diferentes formas e cores, destaca a diversidade de fontes que contribuem para a contaminação plástica e evidencia a necessidade de estratégias de monitoramento contínuo, a fim de compreender as dinâmicas de acumulação dos diferentes tipos de plásticos e orientar medidas mais eficazes de prevenção, mitigação e gestão ambiental.

Para enfrentar este cenário, recomenda-se o fortalecimento da gestão integrada de resíduos sólidos, a implementação de políticas ambientais voltadas especificamente para zonas costeiras e a criação de programas de sensibilização e educação ambiental direcionados a turistas, comunidades e setores produtivos locais.

Além disso, futuras pesquisas devem aprofundar a análise da variação temporal da contaminação plástica, bem como investigar seus potenciais efeitos ecológicos e riscos à saúde humana. Essas ações são fundamentais para reduzir a entrada de plásticos no ambiente marinho, mitigar a formação de micro e nanoplásticos e promover a sustentabilidade socioambiental na região oriental da Venezuela.

Agradecimentos

Aos Técnicos Superiores Universitários Carlos Pinto, Gabriel Gutiérrez e Rilesvi Rodríguez, pelo apoio durante a amostragem. Às professoras e engenheiras Patricia Álvarez e Neisy Coronado, pelo suporte nas análises laboratoriais. À Dra. Blanca Rojas de Gascue e ao IIBCAUDO, pela realização das análises de FTIR-ATR. À Sky Suter, pelo apoio contínuo a esse tipo de atividade no país.

Referências

- ALVAREZ-ZEFERINO, J.C., OJEDA-BENÍTEZ, S., CRUZ-SALAS, A.A., MARTÍNEZ-SALVADOR, C., VAZQUEZ-MORILLAS, A. Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 155, 104633, Abr. 2020.
- ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, Ago. 2011.
- ARAÚJO, M. C., COSTA, M. F. A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environmental Research*, v. 172, p. 137-149, May. 2019.
- ASENSIO-MONTESINOS, F., ANFUSO, G., WILLIAMS, A. T. Beach litter distribution along the western Mediterranean coast of Spain. *Marine pollution bulletin*, v. 141, p. 119-126, Abr. 2019.
- AKINDOYO, J. O., BEG, M., GHAZALI, S., ISLAM, M. R., JEYARATNAM, N., YUVARAJ, A. R. Polyurethane types, synthesis and applications—a review. *RSC Advances* v.6, n.115, p. 114453-114482, Nov. 2016
- BAMIGBOYE, O., ALFRED, M. O., BAYODE, A. A., UNUABONAH, E. I., OMOROGIE, M. O. The growing threats and mitigation of environmental microplastics. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2024
- BERMÚDEZ, J.R., SWARZENSKI, P.W. A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *MethodsX*, v.8, 101516, 2021.
- BOUCHER, J.; FRIOT, D. *Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources* (Vol. 10). Gland, Switzerland: Lucn, 2017. 46 p.

- CHAN, H. H., NOT, C. (2023). Variations in the spatial distribution of expanded polystyrene marine debris: Are Asian's coastlines more affected? *Environmental Advances*, v. 11, 100342, Ab. 2023.
- CORDOVA, M.R., NURHATI, I.S. Major sources and monthly variations in the release of land-derived marine debris from the greater Jakarta area. Indonesia. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, 18730, Dec. 2019.
- BLAIR CRAWFORD, C., QUINN, B. *Microplastic pollutants*. Elsevier, 2016. 319 p.
- DA SILVA, L. M. L., MULHOLLAND, D. S., YOKOYAMA, E., DA SILVA, S. W. W., HOYER, I. S., CHAPLA, V. M., AMORIN DA SILVA, L., MORAIS DA SILVA, D. F., SOARES SANTOS, L. S. Microplastics Contamination on the Beach Sand of Rio De Janeiro City: Concentration. *Spatial Distribution, Morphology and Polymer Types*. Mar. 2024.
- DELVALLE DE BORRERO, D., FÁBREGA DUQUE, J., OLMOS, J., GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., AMARAL, S. S. G. D., VEZZONE, M., DE SÁ FELIZARDO, J. P., MEIGIKOS DOS ANJOS, R. Distribution of plastic debris in the Pacific and Caribbean beaches of Panama. *Air, Soil and Water Research*, v. 13, 1178622120920268, May. 2020.
- FLORES-OCAMPO, I.Z., ARMSTRONG-ALTRIN, J.S. Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, v. 191, 114891, Jun. 2023.
- FRIAS, J., PAGTER, E., NASH, R., O'CONNOR, I., CARRETERO, O., FILGUEIRAS, A., VIÑAS, L., GAGO, J. ANTUNES, J., BESSA, F., SOBRAL, P., GORUPPI, A., TIRELLI, V., PEDROTTI, M. L., SUARIA, G., ALIANI, S., LOPES, C., RAIMUNDO, J., CAETANO, M., PALAZZO, L., ANDREA DE LUCIA, G., CAMEDDA, A., MUNIATEGUI, S., GRUEIRO, G., FERNANDEZ, V., ANDRADE, J., DRIS, R., LAFORSCH, C., SCHOLZ-BÖTTCHER, B. M., GERDTS, G. *Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments*. Deliverable 4.2, 2018.
- FUENTES, M., SENIOR, W., TROCOLI, L. Estudio fiscoquímico y bacteriológico del Rio Manzanarez, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, v. 47, p. 149–158, 2008.
- GAMBOA, A. C., PINTO, C., GUTIÉRREZ, G., RAMÍREZ, J. I. Basura plástica y microplásticos: contaminantes emergentes presentes en sedimentos de una playa urbana del oriente venezolano. *Ciencia e Ingeniería*, v. 9, n. 1, Jun. 2022.
- GAO, G. H., HELM, P., BAKER, S., ROCHMAN, C. M. Bromine Content Differentiates between Construction and Packaging Foams as Sources of Plastic and Microplastic Pollution. *ACS ES&T Water*, v. 3, n. 3, p. 876-884, Feb. 2023.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O. Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, v.14, n. 2, p. 9-25. Jul.-Dec. 2022.
- GESAMP. *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean* (eds Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F.), London, UK, GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2019.
- GIGAULT, J., TER HALLE, A., BAUDRIMONT, M., PASCAL, P. Y., GAUFFRE, F., PHI, T. L., HADRI, H. E., GRASSL, B., REYNAUD, S. Current opinion: what is a nanoplastic? *Environmental Pollution*, v. 235, p. 1030-1034, Abr. 2018.
- GODOY, V., PRATA, J. C., PÉREZ, A., DA COSTA, J. P., ROCHA-SANTOS, T., DUARTE, A. C. Microplastics in Sediments from a Sandy Beach in Costa Nova (Aveiro, Portugal). *Sustainability*, v. 15, n. 7, 6186, Abr. 2023.
- GRILLO, J. F., LÓPEZ-ORDAZ, A., HERNÁNDEZ, A. J., CATARÍ, E., SABINO, M. A., RAMOS, R. Synthetic microfiber emissions from denim industrial washing processes: An overlooked microplastic source within the manufacturing process of blue jeans. *Science of The Total Environment*, v. 884, 163815, Jul. 2023.
- GÜL, M.R. Short-term tourism alters abundance, size, and composition of microplastics on sandy beaches. *Environmental Pollution*, v. 316, Jan. 2023
- HIDALGO-RUZ, V., GUTOW, L., THOMPSON, R. C., THIEL, M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science Technology*, v. 46, n. 6, p. 3060-3075, Feb. 2012.

- HUANG, S., WANG, H., AHMAD, W., AHMAD, A., VATIN, N.I., MOHAMED, A.M., DEIFALLA, A.F., MEHMOOD, I. Plastic waste management strategies and their environmental aspects: a scientometric analysis and comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 8, 4556. Ab. 2022.
- IKUNO, Y., TSUJINO, H., HAGA, Y., MANABE, S., IDEHARA, W., HOKAKU, M., ASAHARA, H., HIGASHISAKA, K., TSUTSUMI, Y. (2024). Polyethylene, whose surface has been modified by UV irradiation, induces cytotoxicity: A comparison with microplastics found in beaches. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 277, 116346, Jun. 2024.
- JAMBECK, J., GEYER, R., WILCOX, C., SIEGLER, T., PERRYMAN, M., ANDRADY, A., NARAYAN, R., LAW, K. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, p. 768–771, Feb. 2015.
- JUNG, M. R., HORGEN, F. D., ORSKI, S. V., RODRIGUEZ, V., BEERS, K. L., BALAZS, G. H., TODD JONES, T., WORK, T. M., BRIGNAC, K. C., ROYER, S. J., HYRENBACH, K. D., JENSEN, B. A., LYNCH, J. M. Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, v. 127, p. 704-716, Dec. 2018.
- KALOGERAKIS, N., KARKANORACHAKI, K., KALOGERAKIS, G. C., TRIANTAFYLLIDI, E. I., GOTSIS, A. D., PARTSINEVELO, P., FAVA, F. Microplastics generation: onset of fragmentation of polyethylene films in marine environment mesocosms. *Frontiers in Marine Science*, v. 4, n. 84, Mar. 2017.
- KYE, H., KIM, J., JU, S., LEE, J., LIM, C., YOON, Y. Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards. *Heliyon* v. 9, n. 3, Mar. 2023.
- LEBRETON, L., EGGER, M., SLAT, B. A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–10, Sep. 2019.
- LÓPEZ-MARCANO, J. J., GARCÍA-MARCANO, E. A., FERMÍN, I. M. (2023). Microplásticos en la sardina *Sardinella aurita* (Teleostei: Clupeidae) en Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, v. 71, n. 1, Dez. 2023.
- MACLEOD, M., ARP, H. P. H., TEKMAN, M. B., JAHNKE, A. The global threat from plastic pollution. *Science*, v. 373, p. 61–65, Jul. 2021.
- MASURA, J., BAKER, J., FOSTER, G., ARTHUR, C. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments, 2015.
- MEDINA-FAULL, L. E., ZALIZNYAK, T., TAYLOR, G. T. From the Caribbean to the Arctic, the most abundant microplastic particles in the ocean have escaped detection. *Marine Pollution Bulletin*, v. 202, 116338, May. 2024.
- MEGHA, K. B., ANVITHA, D., PARVATHI, S., NEERAJ, A., SONIA, J., MOHANAN, P. V. Environmental impact of microplastics and potential health hazards. *Critical Reviews in Biotechnology*, p. 1-31, Jun. 2024.
- PILAPITIYA, P. N. T.; RATNAYAKE, A. S. The world of plastic waste: a review. *Cleaner Materials*, 100220, Mar. 2024.
- PETROODY, S. S. A., HASHEMI, S. H., VAN GESTEL, C. A. Transport and accumulation of microplastics through wastewater treatment sludge processes. *Chemosphere*, v. 278, 130471, Sep. 2021.
- PLASTICS EUROPE. Plastics - the Facts 2021: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data, 2022.
- PRATA, J. C., REIS, V., DA COSTA, J. P., MOUNEYRAC, C., DUARTE, A. C., ROCHA-SANTOS, T. Contamination issues as a challenge in quality control and quality assurance in microplastics analytics. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123660, Feb. 2021.
- PRATA, J. C., DA COSTA, J. P., LOPES, I., DUARTE, A. C., ROCHA-SANTOS, T. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the total environment*, n. 702, 134455, Feb. 2020.

-
- RABARI, V., PATEL, K., PATEL, H., TRIVEDI, J. Quantitative assessment of microplastic in sandy beaches of Gujarat state, India. *Marine Pollution Bulletin*, v. 181, Ago. 2022.
- RANGEL-BUITRAGO, N., ARROYO-OLARTE, H., TRILLERAS, J., ARANA, V. A., MANTILLA-BARBOSA, E., GRACIA, A., VELEZ MENDOZA, A., NEAL, W. J., WILLIAMS, A. T., MICALLEF, A. Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, v. 170, 112685, Sep. 2021.
- ROCHMAN, C. M., BROOKSON, C., BIKKER, J., DJURIC, N., EARN, A., BUCCI, K. HUNG, C. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 38, n. 4, p. 703-711, 2019.
- SANTOS, C.E., KIST, B. B., FILTER, C. F., CARVALHO, C., TREICHEL, M. *Anuário Brasileiro do Tabaco. Editora Gazeta Santa Cruz*. ISSN1808-7485, 2017.
- SHEN, M., LI, Y., SONG, B., ZHOU, C., GONG, J., ZENG, G. Smoked cigarette butts: Unignorable source for environmental microplastic fibers. *Science and the Total Environment*, v. 791, 148384, Oct. 2021.
- SUN, J., DAI, X., WANG, Q., VAN LOOSDRECHT, M. C., NI, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*, v.152, p. 21-37, Abr. 2019.
- THACHARODI, A., MEENATCHI, R., HASSAN, S., HUSSAIN, N., BHAT, M. A., AROCKIARAJ, J., Ngo, H. H., Le, Q. H., PUGAZHENDHI, A. Microplastics in the environment: a critical overview on its fate, toxicity, implications, management, and bioremediation strategies. *Journal of Environmental Management*, v. 349, 119433, Oct. 2024.
- VEDOLIN, M.C., TEOFILO, C.Y.S., TURRA, A., FIGUEIRA, R.C.L. Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, v. 129, n. 2, p. 487-493, Abr. 2018.
- VIRAJ, R. K. L., JAYASIRI, H. B., DEVMALI, N. L. D. H., AMARASIRI, C., JAYAPALA, H. P. S. Plastic contamination in selected beaches of Sri Lanka with special reference to microplastics. NARA, 2019.
- WANG, C., ZHAO, J., XING, B. (2021). Environmental source, fate, and toxicity of microplastics. *Journal of Hazardous Materials*, n. 407, 124357, Abr. 2021.
- ZHANG, H. Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 199, p. 74-86. Sep. 2017.