XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

DETERMINAÇÃO DE MICROPLÁSTICO EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA REGIÃO ESTUARINA DO RIO SÃO FRANCISCO EM SERGIPE

José Antônio Nascimento de Melo[1]; Larissa Santos Xavier[2] ; Marcus Aurélio Soares Cruz[3]; Dayara Virgínia Lino Ávila[4]; Elisângela de Andrade Passos[5]; Carlos Alexandre Borges Garcia[6]; Vânia Elisabete Schneider[7]; Silvânio Silvério Lopes da Costa[8]

RESUMO - Este estudo objetivou caracterizar morfologicamente e identificar quimicamente os microplásticos (MPs) retidos nos sedimentos superficiais do estuário do baixo Rio São Francisco (SE). Amostras coletadas com amostrador *Van Veen* foram submetidas à separação por densidade com solução de $ZnCl_2$ com posterior filtração. A caracterização morfológica foi realizada por microscopia digital e a identidade polimérica determinada via FTIR-ATR. Isolaram-se 107 partículas, com ampla dominância de fragmentos rígidos (91,3%) frente a fibras (8,7%) e prevalência das cores azul e verde. Constatou-se maior acúmulo de partículas finas nas frações com elevados teores de matéria orgânica e sedimentos finos (P1 e P3), validando a teoria da analogia sedimentar. O FTIR identificou a presença majoritária de Polietileno (PE) e Polietileno Tereftalato (PET), cujas alterações espectrais atestam o avançado estado de intemperismo das superfícies. Conclui-se que o leito

[1]) Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marcelo Deda Chagas, s/n, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, (79) 3194-7146, janto.quimica@gmail.com

[2]) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marcelo Deda Chagas, s/n, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, (79) 3194-7146, xavierlarissa2@gmail.com

[3]) EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, Avenida Gov. Paulo Barreto de Menezes, 3250, 49025-000, Jardins, Aracaju-Sergipe, (79) 4009-1300, marcus.cruz@embrapa.br

[4]) Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, (79) 3194-6650, dvla@academico.ufs.br.

[5]) Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, (79) 3194-6650, elisapassos@acedmico.ufs.br.

[6]) Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, (79) 3194-6650, cgarcia@academico.ufs.br.

[7]) Instituto de Saneamento Ambiental/ISAM - Universidade de Caxias do Sul, Rua. Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bloco U, Sala 215, 95070-560, Petrópolis, Caxias do Sul-Rio Grande do Sul, (54) 3218-2507, veschnei@ucs.br.

[8]) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marcelo Deda Chagas, s/n, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, (79) 3194-7146, silvanio@academico.ufs.br.

estuarino atua como um sumidouro de longo prazo para poluentes sintéticos, os polímeros encontrados refletem o impacto da urbanização na bacia, reforçando a urgência de medidas de gestão de resíduos sólidos para mitigar o fluxo de plásticos em direção ao ecossistema marinho global.

ABSTRACT - This study aimed to morphologically characterize and chemically identify microplastics (MPs) retained in the surface sediments of the lower São Francisco River estuary (SE). Samples collected with a Van Veen sampler were subjected to density separation with ZnCl2 solution and filtered. Morphological characterization was performed by digital microscopy, and polymeric identity was determined via FTIR-ATR. A total of 107 particles were isolated, with a wide dominance of rigid fragments (91.3%) compared to fibers (8.7%), and a prevalence of blue and green colors. A greater accumulation of fine particles was observed in sectors with high levels of organic matter and fine sediments (P1 and P3), validating the sedimentary analogy theory. FTIR identified the predominant presence of Polyethylene (PE) and Polyethylene Terephthalate (PET), whose spectral alterations attest to the advanced state of weathering of the surfaces. It is concluded that the estuarine bed acts as a long-term sink for synthetic pollutants; the polymers found reflect the impact of urbanization in the basin, reinforcing the urgency of solid waste management measures to mitigate the flow of plastics towards the global marine ecosystem.

Palavras-Chave – Microplásticos; Sedimentos; Rio São Francisco

1. INTRODUÇÃO

O material plástico se tornou indispensável na sociedade contemporânea e sua produção apresenta crescimento contínuo, saltando de 370,6 Mt em 2018 para 430,9 Mt em 2024 (Plastics Europe, 2025). Estima-se que, anualmente, entre 0,8 e 2,7 Mt de resíduos plásticos cheguem aos oceanos via fluxos fluviais. Isso ocorre porque os estuários de rios, em seu contexto fluviomarinho, constituem a principal rota de transporte desses detritos, agravando a poluição nos ambientes marinhos (Meijer *et al*., 2021). Sob essa ótica, evidencia-se a relevância de investigar a presença de microplásticos (MPs) na região estuarina da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF).

Com uma extensão de 2.863 km, a BHRSF abrange aproximadamente 8% do território nacional e percorre os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal. Sua foz e planície fluviomarinha situam-se no Baixo São Francisco, servindo como divisa natural entre Alagoas e Sergipe (Soares *et al*., 2020). Devido à sua extensão e ao papel central que desempenha no Nordeste, onde é responsável por 70% da disponibilidade hídrica, o rio apresenta um elevado potencial como emissor de MPs. Essa vulnerabilidade é acentuada pelo uso intensivo de suas águas em ambientes semiáridos, sofrendo influência de atividades antropogênicas como a pesca, aquicultura e geração de energia elétrica (Soares *et al*., 2020).

Atualmente, não há um consenso absoluto na literatura sobre a definição de microplásticos, sendo comum a atribuição do termo a qualquer resíduo plástico com dimensões entre 1 µm e 5 mm. No entanto, existem esforços para a padronização dessa nomenclatura, como a ISO/TR 21960 (2020). Esta norma subdivide as partículas em dois subgrupos: os "microplásticos", com faixas de tamanho entre 1 µm e 1 mm, e os "microplásticos grandes", que compreendem a faixa de 1 mm a 5 mm. Tal subdivisão reflete as distinções em termos de origem, comportamento ambiental e desafios analíticos atribuídos a cada dimensão de tamanho dos MPs. Consequentemente, essa categorização auxilia na harmonização das metodologias, permitindo selecionar as ferramentas mais adequadas para o contexto específico das análises laboratoriais.

Contudo, o comportamento dos MPs em ambientes estuarinos ainda é pouco compreendido, dada a complexidade dos sedimentos, que recebem influência de diversos fatores. Entre estes, a interação com a matéria orgânica e a composição granulométrica dos sedimentos são as correlações mais investigadas na literatura recente (Courtene-Jones *et al*., 2020; Gonçalves *et al*., 2024; Aiswriya *et al*., 2026).

Diante disso, o presente trabalho visa preencher a lacuna de estudos no Baixo São Francisco sobre o estado atual do rio quanto à contaminação por microplásticos em sedimentos. Espera-se, com esta pesquisa, contribuir para o mapeamento da deposição desses poluentes, permitindo a definição dos perfis de microplásticos presentes na região estudada.

2. METODOLOGIA

2.1 **Área de estudo e amostragem**

A área de estudo foi realizada compreendendo o baixo São Francisco, mais em específico, a região da foz que faz divisão entre os estados de Alagoas (AL) e Sergipe (SE). Três (3) pontos de amostragem (P1, P2 e P3) foram selecionados de forma estratégica, seguindo o curso do canal principal do rio São Francisco na região que compreende o estado de Sergipe. Dois (2) pontos que compreendem o trajeto do início (P3) ao final (P2) da área urbana do município de Brejo Grande, e um (1) ponto, mais afastado da cidade, que corresponde ao encontro do rio com o oceano atlântico, conforme a figura 1**.**

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas utilizando um amostrador do tipo *Van Veen*, de aço inoxidável. Após a coleta, utilizando uma pá de metal, as amostras foram armazenadas em latas de alumínios resfriadas a 4º C e transportadas até o laboratório, onde foram mantidas sob refrigeração até o início das etapas de separação dos microplásticos (Yiming, *et al*. 2019).

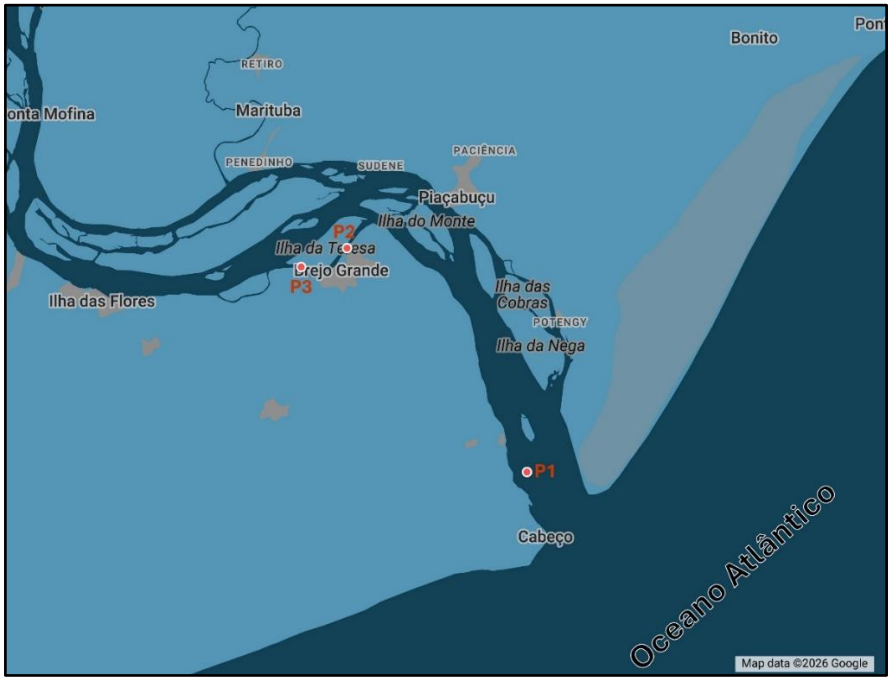


Figura 1 – Mapa de localização dos pontos de coleta dos sedimentos na região estuarina do baixo São Francisco.

2.2 **Separação e Análise dos microplásticos**

As separações dos microplásticos nas amostras de sedimentos superficiais foram realizadas seguindo uma metodologia adaptada de Gonçalves, *et al*. (2024) e Yiming, *et al*. (2019). Incialmente foi realizado o descongelamento das amostras refrigeradas com posterior secagem em estufa a 60º C. Após isso, foram peneiradas em peneiras inox com malha de 2 mm e 1 mm, e os materiais plásticos retidos considerados plásticos macroscópicos e os passantes usados para a análise morfológica e química dos microplásticos.

Após a separação das frações, as amostras foram misturadas em uma solução saturada de $ZnCl_2$ com densidade de aproximadamente 1,80 g/cm³ por um período de 48h para a decantação completa. Após esse período, a solução contendo os microplásticos foi submetida a uma etapa de *overflow*, que consiste no transbordamento total do sobrenadante em um outro recipiente utilizando a solução saturada de cloreto de zinco. Essa etapa garante que nenhum MP seja perdido durante a etapa de transferência de recipiente. Concluída a etapa de extração, o sobrenadante foi transferido e filtrado em sistema de filtração a vácuo utilizando uma membrana de fibra de vidro de 47 mm, com tamanhos de poros de 0,47 µm.

Após a filtração, as membranas com os MPs filtrados foram pesados e depois levados a estufa a 40º C até a secagem completa para posterior caracterização morfológica em microscópio digital

LCD 1000x (modelo G5) e identificação química dos polímeros por Espectroscopia por Transformada de Fourier (FTIR).

2.3 **Determinação da matéria orgânica e granulometria dos sedimentos**

Para a determinação do teor de matéria orgânica (MO) das amostras, utilizou-se o método de perda por ignição (PPI). Nele, uma massa de 1 g de sedimento seco foi submetida à calcinação a 500 °C por 3 h em forno mufla, sendo a porcentagem de MO calculada pela diferença de massa antes e após o aquecimento (Xavier *et al*., 2025). Adicionalmente, o fracionamento granulométrico foi realizado empregando-se aproximadamente 100 g de sedimento seco, por meio dos procedimentos combinados de peneiramento e sedimentação por densidade, conforme as diretrizes da norma DNIT 459/2025 – ME.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos da análise granulométrica na tabela 1, demonstrou que o estuário do rio São Francisco possui uma predominância de sedimentos arenosos, com singelas variações na fração fina de Argila e Silte.

Tabela 1 - Classificação quanto às frações granulométricas e o teor de matéria orgânica dos sedimentos superficiais coletados na região estuarina do baixo rio São Francisco, no estado de Sergipe.

Pontos	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)	Matéria Orgânica (%)
P1	91,22	3,97	4,81	9,57 ± 0,32 3,032 (%)
P2	97,89	1,98	0,13	0,22 ± 0,02 7,66 (%)
P3	98,01	1,98	0,01	9,70 ± 0,99 10,18 (%)

Esses dados refletem a dinâmica hidrossedimentológica da região estuarina, onde trechos com menor fluxo hidrodinâmico favorecem a deposição seletiva de sedimentos (Enders *et al*., 2019). Esse processo é ditado pela redução na tensão de cisalhamento de fundo (*bed shear stress*), uma vez que, em zonas de baixa energia o fluxo perde a capacidade de estressar o leito, resultando no aprisionamento e na retenção local de microplásticos (Summers *et al*., 2024). Devido à maior área superficial e capacidade de adsorção, os setores ricos em silte e argila funcionam como zonas naturais de retenção para poluentes, incluindo os microplásticos (Farhadian *et al*., 2024).

Em relação à matéria orgânica, os teores flutuaram de forma significativa, variando de 0,22% (Ponto 2) até picos de 9,57% (Ponto 1) e 9,70% (Ponto 3). O resultado desses pontos reforça que, mesmo em áreas predominantemente arenosas, os detritos orgânicos controlam o destino das partículas. Nesses locais, a alta carga orgânica atua como uma armadilha física que, associada à baixa

energia hidrodinâmica, consolida o sedimento de fundo como um reservatório de armazenamento de longo prazo para os microplásticos, impedindo sua ressuspensão imediata (Mao *et al*., 2021; Summers *et al*., 2024).

A análise das amostras de sedimento revelou um total de 107 partículas de microplásticos conforme a figura 2. Sob a perspectiva morfológica, constatou-se a predominância de fragmentos (91,3%) em relação às fibras (8,7%). Essa baixa representatividade das fibras pode ser explicada por sua maior flutuabilidade e dispersão vertical na coluna d'água, propriedades que facilitam o transporte a longas distâncias em sistemas aquáticos e reduzem sua taxa de deposição imediata no compartimento bêntico, conforme discutido por Jeylaputheen *et al*. (2026). Adicionalmente, a expressiva proporção de plástico duro (93,6%) e a alta incidência de fragmentos, sugerem que a principal rota de introdução desses contaminantes está associada à degradação de macroplásticos provenientes de resíduos sólidos urbanos (Zhao *et al*., 2026). Esse cenário é corroborado pela paleta cromática identificada, composta majoritariamente por azul e verde, seguidos por laranja, preto e transparente, colorações tipicamente associadas ao intemperismo de embalagens plásticas, utensílios domésticos e petrechos de pesca (Kor *et al*., 2026). Padrão semelhante foi reportado por Jeylaputheen *et al*. (2026), que identificaram o azul (27,43%) e o transparente (20,8%) como as cores mais frequentes em sistemas estuarinos.

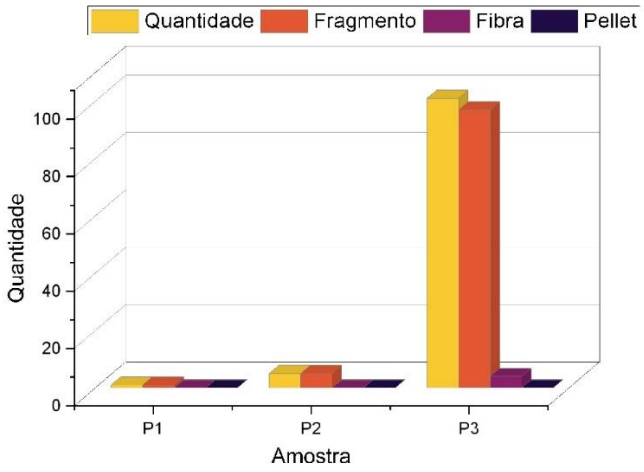


Figura 2 - Gráfico da quantidade de MPs e seus tipos em todas as amostras de sedimentos coletadas no estuário do rio São Francisco, no estado de Sergipe.

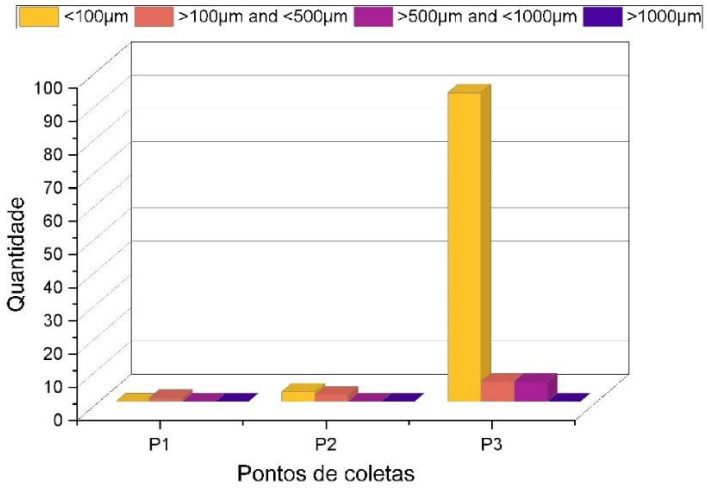


Figura 3 - Classificação do tamanho dos microplásticos nos sedimentos superficiais coletados na região estuarina do baixo rio São Francisco, no estado de Sergipe.

Essa segregação baseada nas dimensões dos polímeros valida empiricamente a teoria da analogia sedimentar proposta por Enders *et al*. (2019), segundo a qual os microplásticos em suspensão respondem aos mesmos processos físicos de transporte e deposição que governam os sedimentos siliciclásticos naturais de fundo. Desse modo, embora os fragmentos plásticos menores que 100 µm possuam densidades e formas distintas, seu comportamento hidrodinâmico mimetiza o transporte e o assentamento das frações sedimentares finas naturais (como silte e argila).

Nos sedimentos superficiais amostrados, registraram-se dois perfis poliméricos principais, o Polietileno (PE) conforme é possível observar na figura 4, caracterizado pelo desmembramento simétrico do dubleto alifático de estiramento -CH em 2915 cm^{-1} e 2845 cm^{-1} complementado pela banda de deformação angular de grupos -CH_2 em aproximadamente 1462 cm^{-1} e balanço de cadeia em 720 cm-1 em consonância com a biblioteca de referência compilada por Veerasingam *et al.* (2021).

Além disso, também foi possível confirmar a presença do Polietileno de Teraftalato (PET) seguindo as bandas de estiramento da carbonila C=O na região de 1715 – 1720 cm^{-1}, a banda de desdobramento característico das ligações simples C-O em 1242 cm^{-1} e 1100 cm^{-1} e por último, a deformação do anel aromático na região de 723 cm^{-1}. Pequenos deslocamentos observados nos centros dos picos experimentais em relação aos padrões de polímeros virgens são justificados por Veerasingam *et al.* (2021) devido às variações no grau de cristalinidade (fases amorfas) e ao histórico de intemperismo fotolítico sofrido pelas partículas no ambiente.

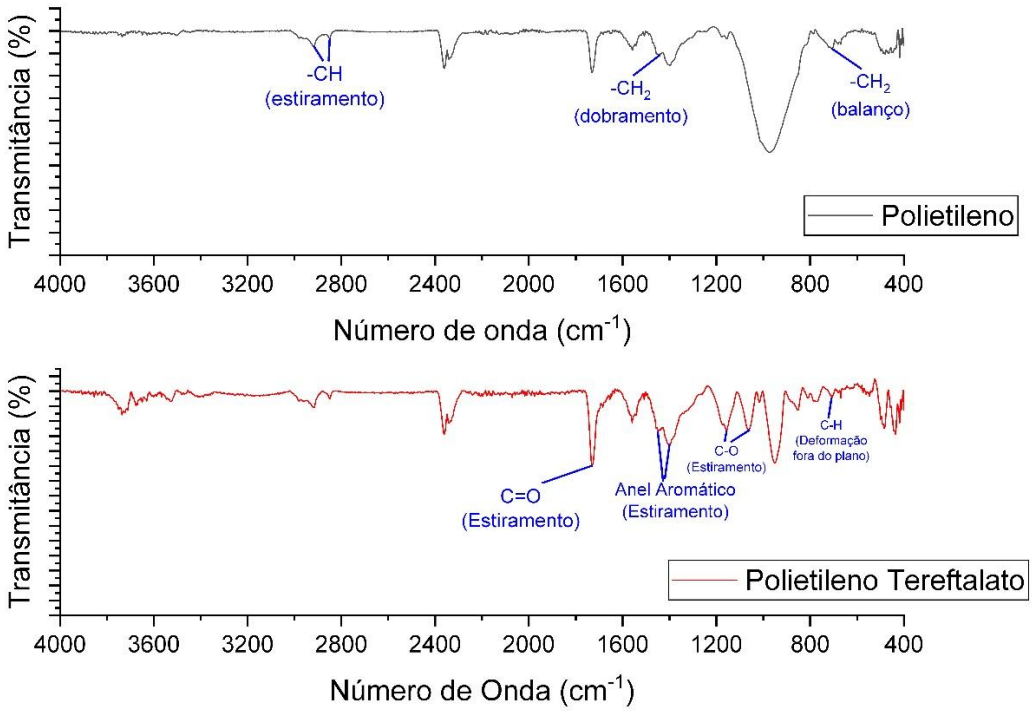


Figura 4 - Espectros FTIR dos perfis de microplásticos encontrados nos sedimentos superficiais coletados na região estuarina do baixo rio São Francisco, no estado de Sergipe.

4. CONCLUSÃO

A realização deste estudo permitiu evidenciar a contaminação por microplásticos nos sedimentos superficiais do estuário da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, em Sergipe, possibilitando a identificação de dois perfis poliméricos dominantes via FTIR-ATR, o Polietileno (PE) e o Polietileno Tereftalato (PET). Os sutis desvios observados nas bandas estruturais desses polímeros constituem evidências físicas do seu avançado estado de foto-oxidação e intemperismo ambiental. Também foi possível analisar, do ponto de vista físico e morfológico, que a predominância de fragmentos rígidos (91,3%) em detrimento de fibras (8,7%) evidencia que a principal rota de introdução desses poluentes no estuário está associada à degradação mecânica de macroplásticos descartados incorretamente.

Ademais, o aprisionamento conjunto do PET (nativamente denso) e do PE (nativamente flutuante, mas adensado operacionalmente por processos de bioincrustação e acúmulo de matéria orgânica (Enders, *et al.* 2019; Veerasingam, *et al.* 2021)), revela indícios da influência da dinâmica sedimentar no ciclo dos microplásticos nos rios. Os resultados provam que a dinâmica fluviomarinha local, associada a zonas de baixa energia e altos teores de matéria orgânica (como observado nos

Pontos 1 e 3), converte o compartimento bentônico do baixo São Francisco em um sumidouro e reservatório de longo prazo para esses contaminantes sintéticos.

Assim, conclui-se que os polímeros identificados refletem diretamente a pressão antrópica e os reflexos do avanço da urbanização ao longo da bacia hidrográfica. Diante do papel crítico do estuário como zona de retenção e vetor de transferência de poluentes para o ecossistema marinho global, este estudo reitera a urgência da implementação de programas contínuos de monitoramento ambiental e de políticas públicas voltadas à gestão integrada de resíduos sólidos urbanos na região, visando contribuir para a sustentabilidade biológica e hídrica desse ecossistema vital para o Nordeste brasileiro.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Pesquisa (COPES) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Química (DQI) e do laboratório de Tecnologia e Monitoramento Ambiental (LTMA), Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQAA), Laboratório de Corrosão e Nanotecnologia (LCNT) e por fim, também agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AISWRIYA, V. P. et al. (2026). *"Spatial heterogeneity of microplastic pollution and associated emerging contaminants in tropical estuarine environments: Novel insights into distribution, bioavailability, and ecological risk".* Marine Pollution Bulletin 228, pp. 1 – 17.

COURTENE-JONES, Winnie et al. (2020). "*Microplastic accumulation in deep-sea sediments from the Rockall Trough"*. Marine Pollution Bulletin 154, pp. 1 – 9.

ENDERS, *et al.* (2019). *"Sediment trapping – an attempt to monitor temporal variation of microplastic flux rates in aquatic systems". Environmental Pollution 274, pp. 1 – 9.*

FARHADIAN, H. et al. (2024). *"Granular Soils and Contaminant Modeling in Tailing Dams".* Minerals 14, pp. 1 – 13.

GONÇALVES, Lucas Q. et al. (2026) "*Implications of damming and morphological diversity of microplastics in the sediment from a tropical freshwater reservoir"*. Elsevier BV 12, pp. 1 – 11.

JEYLAPUTHEEN, A. M. et al. (2026) *"Urbanization increases microplastic pollution in beach sediments along the Chennai Coast, South India"*. Marine Pollution Bulletin 224, pp. 1 – 16.

KOR, K. et al. (2026) *"Comprehensive assessment of microplastic contamination and ecological risks in mangrove sediments along the coasts of the Persian Gulf and Gulf of Oman"*. Marine Pollution Bulletin 224, pp. 1 - 12.

XAVIER, L. S. et al. (2025). "Assessment of the impacts of shrimp farming on nitrogen and phosphorus accumulation in sediments in the São Francisco River basin, Brazil". Scientia Plena 21(11), pp. 1 – 12.

MAO, R. et al. (2021) *"Horizontal and vertical distribution of microplastics in the Wuliangsuhai Lake sediment, northern China".* Science of the Total Environment 754, pp. 1 – 6.

MEIJER, L. et al. (2021). "*More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean".* Science Advances 7 (18), pp. 1 – 13.

SOARES, E. C. et al. (2020). *"O Baixo São Francisco: Características Ambientais e Sociais"* Edufal, Maceió, AL, 401 pp.

SUMMERS, E. et al. (2024) "*Importance of the water sediment bed interactions in simulating microplastic particles in an estuarine system".* Frontiers in Marine Science 11, pp. 1 – 17.

VEERASINGAM, S. et al. (2021) "*Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review"*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 51 (22), pp. 2681-2743

YIMING, Qin et al. (2019) **"***Microplastics in the sediment of Lake Ulansuhai of Yellow River Basin, China"*. Wiley 92 (6), pp. 829 – 839.

ZHAO, S. et al. (2026) *"Hydro-sedimentary conditions shape the microplastic occurrence in sediments of the Pearl River Estuary (China)".* Marine Pollution Bulletin 223 (pt. 3), pp. 1 – 11.