

**UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE**

**DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS
EM PRAIAS DA CIDADE DE ARACAJU, SERGIPE, BRASIL**

AYLA MARIA DIAS MONTEIRO

Aracaju
Agosto - 2024

UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS
EM PRAIAS DA CIDADE DE ARACAJU, SERGIPE, BRASIL

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Ambiente como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Saúde e Ambiente, na área de concentração em Saúde e Ambiente.

AYLA MARIA DIAS MONTEIRO

Orientadora
Prof^ª. Dr^a. Maria Nogueira Marques

Aracaju
Agosto – 2024

M757d Monteiro, Ayla Maria Dias
Disposição e identificação ambiental dos plásticos em praias da cidade de Aracaju, Sergipe, Brasil / Ayla Dias Monteiro; orientação [de] Prof.^a Dr.^a Maria Nogueira Marques – Aracaju/ SE: UNIT, 2024.

68 f.il; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Tiradentes 2024

1. Poluição plástica 2. Microplástico 3. Praias 4. Sedimentos 5. Vegetação costeira I. Monteiro, Ayla Maria Dias II. Marques, Maria Nogueira (orient.). III. Universidade Tiradentes. IV. Título.

CDU: 504.42.054(813.7)

Gislene Maria S. Dias CRB-5/1410

DISPOSIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS EM PRAIAS DA CIDADE DE ARACAJU, SERGIPE, BRASIL

AYLA MARIA DIAS MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM SAÚDE E AMBIENTE, NA ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO SAÚDE E AMBIENTE.

Aprovado por:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA NOGUEIRA MARQUES**
Data: 26/09/2024 16:17:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria Nogueira Marques, D.Sc.
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **SILVANO SILVERIO LOPES DA COSTA**
Data: 26/09/2024 17:43:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Silvanio Silverio Lopes da Costa, D.Sc.
Universidade Federal de Sergipe (Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **VERONICA DE LOURDES SIERPE JERALDO**
Data: 27/09/2024 16:49:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Verônica Lourdes Sierpe Jeraldo, D.Sc.
Universidade Tiradentes (Examinadora)

Aracaju
Agosto - 2024

AGRADECIMENTOS

“Tudo é do Pai, toda honra e toda glória, é dele a vitória alcançada em minha vida”. Agradeço ao Deus do impossível por ter operado milagres em minha vida, por me sustentar e me levantar em todos os momentos mais difíceis estando sempre ao meu lado nunca me deixando sozinha nem pensar em desistir.

Ao meu esposo Edson e a minha filha Laura Maria por toda paciência e compreensão diante das minhas ausências, cansaço e reclusões, deixando de participar de diversos momentos em família para seguir no meu propósito, me dando forças, carinho e amor diariamente, acalentando meu coração.

À minha mãe Valdelice, que mesmo estando longe, se fazia presente espiritualmente através das orações e fortalecendo a minha fé em Deus. À toda minha família que sempre me apoiou e incentivou nos desafios que me propuz enfrentar e, que nunca foram fáceis.

Aos amigos de Salvador, que mesmo distantes, sempre emanaram boas energias e os amigos que fiz em Aracaju, em especial os colegas do curso, Anderson Ezequiel, Fabio Jorge, Ana Izabel e Tatiane Batista pela disponibilidade, parceria e apoio moral. Ao amigo Marcos Reis pelos ensinamentos técnicos e estatísticos minha gratidão.

À Prof. Dra. Maria Nogueira pela orientação, ensinamentos e saberes compartilhados para que eu pudesse desenvolver um trabalho rico e coeso.

À Prof. Dra. Veronica Sierpe, presente na minha banca avaliadora desde o seminário me ajudando com suas considerações e orientações de melhoria.

Ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP) pela infraestrutura de laboratórios disponibilizada, em especial o LBPN, em nome da Prof. Dra Edna Aragão e o LPA em nome da Prof. Dra. Adriana Santos e Aline Santana pela atenção e presteza.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) que contribuíram com o projeto proporcionando a participação dos alunos de iniciação científica, em especial a Hellen, que em dois meses fez toda a diferença, sempre solicita, me ajudando de forma tão fraterna, e dos alunos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio (PBIC) em nome da Prof. Rose pela contribuição nas coletas de campo.

Ao Programa de pós-graduação em Saúde e Ambiente e à Universidade Tiradentes pela oportunidade.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Contaminação por plásticos em áreas costeiras.....	18
3.2 Identificação de microplásticos nas areias.....	21
3.3 Impacto da poluição por plásticos na saúde dos seres vivos.....	24
3.4 Principais tipos de plásticos associados aos resíduos marinhos.....	26
3.5 Plásticos x ODS – Uma preocupação da humanidade.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Área de estudo.....	30
4.2 Macroplásticos.....	32
4.2.1 Coleta de campo.....	32
4.2.2 Identificação dos macroplásticos.....	33
4.2.3 Classificação dos macroplásticos.....	34
4.2.4 Cálculo do Índice de Costa Limpa (CCI).....	34
4.3 Microplásticos.....	35
4.3.1 Coleta de campo.....	35
4.3.2 Preparação das amostras de areia.....	35
4.3.3 Extração de microplásticos.....	36
4.3.4 Identificação dos microplásticos.....	37
4.3.5 Índice de poluição por microplásticos (IPM).....	38
4.4 Análise de dados.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Macroplásticos.....	39
5.2 Microplásticos.....	47
6 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICES/ANEXOS.....	65
APÊNDICE A – Coletas de campo.....	65
APÊNDICE B – Identificação dos resíduos no laboratório.....	66

ANEXO 1 – Premiação em evento regional (VI ENREHSE)	67
ANEXO 2 – Publicação de artigo científico: Estudo da poluição plástica em praias da cidade de Aracaju, SE, Brasil.....	68

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Concentração de MPs em algumas praias de diferentes continentes.....	22
QUADRO 2 – Símbolos de reciclagem para os tipos de resinas plásticas com seus respectivos exemplos de usos.....	27
QUADRO 3 – Localização das praias onde foi realizado o estudo.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Quantidade de resíduos plásticos encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE.....	39
TABELA 2 – Identificação dos resíduos encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE.....	42
TABELA 3 – Avaliação da sujeidade conforme o método Índice de Costa Limpa (CCI) nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE.....	46
TABELA 4 – Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) encontrado nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.....	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Poluição plástica na vegetação de uma praia da cidade de Aracaju, Sergipe.....	20
FIGURA 2 – Ingestão dos microplásticos por seres vivos marinhos até chegar aos seres humanos.....	24
FIGURA 3 – Localização do município de Aracaju e das praias onde foi realizado o estudo.....	32
FIGURA 4 – Delimitação da área de coleta na faixa de areia (A) e faixa de vegetação (B).....	33
FIGURA 5 – Processo de avaliação dos macroplásticos.....	34
FIGURA 6 – Área de coleta das amostras de areia (2.000 m ²), onde d é a distância mínima entre os quadrantes (50 x 50 cm). Faixa da areia (A); Faixa da vegetação (B).....	35
FIGURA 7 – Preparação das amostras de areia coletadas nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24. Quarteamento (A); Secagem (estufa a 60°) (B); Peneiramento(C); Pesagem (500g) (D).....	36
FIGURA 8 – Esquema ilustrativo do procedimento de extração de microplásticos das areias.....	37
FIGURA 9 – Equipamentos utilizados na identificação dos microplásticos: Microscópio Estereoscópico Nikon SMZ800 (A) e Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR (B).....	38
FIGURA 10 – Gráfico com avaliação da análise dos tipos de resíduos por praia, aplicando o teste de qui-quadrado, nos resíduos coletados nas praias dos: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, Aracaju/SE.....	43
FIGURA 11 – Gráfico com a classificação quanto ao tipo de plástico (NBR 13230:2008) dos resíduos coletados nas praias dos: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, Aracaju/SE.....	44
FIGURA 12 – Gráfico de Comparação entre as faixas de coleta dos possíveis microplásticos encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, Aracaju/SE.....	48
FIGURA 13 – Gráfico com o número de itens de possíveis microplásticos	

encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, Aracaju/SE.....	48
FIGURA 14 - Resumo gráfico da associação das datas ds coletas, precipitação mensal e número de MPs encontrados na areia de cada praia (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.....	49
FIGURA 15 – Identificação de possíveis microplásticos através do microscópio, quanto o formato e a cor. Praia dos Artistas (A); Praia de Atalaia (B); Praia da Cinelândia (C); Praia do Robalo (D); Praia do Refúgio (E) e Praia do Viral (F), Aracaju/SE.....	51
FIGURA 16 – Gráfico com a classificação dos formatos dos MPs encontrados na areia das praias (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.....	52
FIGURA 17 – Gráfico com a classificação das cores dos MPs encontrados na areia das praias (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.....	52
FIGURA 18 – Espectro de infravermelho de amostra de PP encontrada na areia da praia do Robalo em Aracaju/SE.....	53
FIGURA 19 – Espectro de infravermelho da amostra de PP, na região de 4000 a 400 cm^{-1} (a) e ampliação do espectro na região de 1850 cm^{-1} (b).....	53
FIGURA 20 - Estrutura química através do espectro de infravermelho e os picos atribuídos ao polipropileno.....	54
FIGURA 21 – Espectro de infravermelho encontrado em amostras de areia da praia do Refúgio, Aracaju (SE), Brasil semelhante ao PE (a) e amostras da costa de Tamil Nadu, Índia com 95,10% de semelhança ao PE (b).....	54
FIGURA 22 - Espectro de infravermelho encontrado em amostras da praia de Regência (ES), Brasil (a) e de amostras da Costa indiana, com 43% de semelhança com o PE (b).....	55

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas Públicas e Resíduos Especiais.

CCI – Índice Costa Limpa

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EVA – Acetato de Vinila

FA – Faixa de areia

FV – Faixa de vegetação

FTIR – Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier

IDSC – Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPM – Índice de Poluição por Microplásticos

ITP – Instituto de Tecnologia e Pesquisa

MPs – Microplásticos

NACL – Cloreto de Sódio

NBR – Normas Brasileiras

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PET – Polietileno Tereftalato

PP – Polietileno

PS – Poliestireno

PU – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinil

PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio

UNIT – Universidade Tiradentes

ZNCL_2 – Cloreto de Zinco

RESUMO

O Brasil é o quarto maior poluidor de resíduos plásticos do mundo gerando impacto direto nos oceanos (poluição marinha). Os plásticos no ambiente, ao longo do tempo, são degradados pela ação do intemperismo, atingindo uma granulometria < 5 mm, o qual recebem a denominação de microplásticos (MPs), responsáveis por impactos ambientais e biológicos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os macros e microplásticos encontrados em seis praias do município de Aracaju capital de Sergipe (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio e Viral). Foram realizadas duas coletas em cada praia, no período de outubro de 2023 a abril de 2024, em duas áreas: faixa de areia e faixa de vegetação. Para realização do estudo foi delimitada uma área de 2.000 m², tanto na areia quanto na vegetação, onde foram coletados os macroplásticos que, posteriormente foram pesados, separados, identificados, contados e classificados quanto ao tipo de plástico. Nestas áreas definiu-se 10 quadrantes (50 cm x 50 cm) onde foram recolhidas, superficialmente, amostras de areia, as quais passaram por um processo de extração dos MPs, os quais, foram classificados quanto ao formato e cor e identidade química determinada por meio de Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Foram coletados 2.823 macroplásticos equivalente a 22.298g distribuídos nas faixas de areia e de vegetação. A praia do Viral apresentou maior concentração de resíduos, em gramas (8.943g), enquanto a praia da Cinelândia a menor (1.147g). Os maiores números de itens foram coletados nas praias de Atalaia (590) e do Refúgio (567). Quanto as faixas de coleta, a diferença foi significativa apenas quanto a massa dos resíduos, com maior quantidade na vegetação (12.544g). Fragmentos macros foi o tipo de resíduo mais encontrado (571 itens). Os tipos de plásticos predominantes foram o polietileno de baixa densidade (PEBD) com 25,4% e polipropileno (PP) 23,4%. O Índice de Costa Limpa (CCI) classificou todas as praias como muito limpas para os resíduos macro. Já para os MPs, foi aplicado o Índice de Poluição por Microplásticos (IPM), classificando a maioria das praias com abundância moderada. Foram encontrados 438 itens de MPs, sendo 87 % na forma de fragmentos e 67% na cor branca. A maior quantidade de itens foi observada na praia do Viral (140) e a menor na Cinelândia (42 itens). A faixa da vegetação representou 60% dos MPs encontrados. 10% dos MPs tiveram a leitura concluída pelo FTIR, sendo alguns semelhantes ao polímero de polipropileno (PP) e de polietileno (PE). Os resultados obtidos são úteis para apoiar a gestão dos resíduos sólidos em zonas costeiras e influenciar ações públicas e sociais voltadas a educação ambiental e conservação do ecossistema.

Palavras-chave: Poluição Plástica; Microplásticos; Praias; Sedimentos; Vegetação Costeira.

ABSTRACT

Brazil is the fourth largest polluter of plastic waste in the world, generating a direct impact on the oceans (marine pollution). Plastics in the environment, over time, are degraded by the action of weathering, reaching a particle size < 5 mm, which are called microplastics (MPs), responsible for environmental and biological impacts. The objective of this research was to evaluate the macro and microplastics found on six beaches in the municipality of Aracaju, capital of Sergipe (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio and Viral). Two collections were carried out on each beach, from October 2023 to April 2024, in two areas: sand strip and vegetation strip. To carry out the study, an area of 2,000 m² was delimited, both in the sand and in the vegetation, where the macroplastics were collected, which were later weighed, separated, identified, counted and classified according to the type of plastic. In these areas, 10 quadrants (50 cm x 50 cm) were defined, where sand samples were collected superficially, which underwent a process of MP extraction, which were classified according to shape and color and chemical identity determined by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). A total of 2,823 macroplastics equivalent to 22,298 g were collected, distributed in the sand and vegetation strips. Viral beach had the highest concentration of waste, in grams (8,943 g), while Cinelândia beach had the lowest (1,147 g). The largest numbers of items were collected on Atalaia (590) and Refúgio (567) beaches. Regarding the collection strips, the difference was significant only in terms of the mass of waste, with the highest quantity in the vegetation (12,544 g). Plastic debris was the most commonly found type of waste (571 items). The predominant types of plastics were low-density polyethylene (LDPE) with 25.4% and polypropylene (PP) with 23.4%. The Clean Coast Index (CCI) classified all beaches as very clean for macro-waste. As for MPs, the Microplastic Pollution Index (MPI) was applied, classifying most beaches as having moderate abundance. A total of 438 MPs were found, 87% in the form of fragments and 67% in white. The largest number of items was observed at Viral beach (140) and the smallest at Cinelândia (42 items). The vegetation strip represented 60% of the MPs found. 10% of the MPs were read by FTIR, some of which were similar to polypropylene polymer (PP) and polyethylene (PE). The results obtained are useful to support solid waste management in coastal areas and to influence public and social actions aimed at environmental education and ecosystem conservation.

Keywords: Plastic Pollution; Microplastics; Beaches; Sediment; Vegetation Coast.

1. INTRODUÇÃO

A produção de plástico em larga escala começou na década de 1950 para atender a uma demanda crescente por bens manufaturados e embalagens para contenção e proteção de alimentos e mercadorias, gerando o aumento da quantidade de plásticos descartados no meio ambiente. Estima-se que desde então, mais de 160 milhões de toneladas de lixo plástico já foram depositadas nos oceanos de todo o mundo (PLASTIC EUROPE, 2016; COSTA, 2018). A perspectiva de produção mundial de plástico por ano é em torno de 400 milhões de toneladas com tendência de crescimento de 50% até o ano de 2025 (PLÁSTICO, 2022). Este cenário pode trazer prejuízos ao setor econômico, social e ambiental, como por exemplo: a segurança do transporte marítimo, a pesca, o turismo, o lazer e aos ecossistemas (UNEP, 2016).

De acordo com Stiftung (2020), apenas 10% de todo lixo produzido no mundo é reciclado. No Brasil, somente 1,3% das 11,3 milhões de toneladas de materiais são reciclados, o que categoriza o país como o quarto maior produtor de lixo urbano do mundo, estando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia (ABRELPE, 2019).

Diante da grande variedade de produtos e do consequente aumento no consumo, a poluição plástica tornou-se um problema de preocupação mundial. Esse tema é discutido em alguns dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentados pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030. O ODS 14, que trata da vida na água, é particularmente relevante para essa problemática, pois inclui uma meta específica relacionada ao plástico (ONU, 2024).

Apesar dos esforços globais e das metas estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a poluição por plásticos continua sendo um assunto relevante acerca do que se refere a gestão de resíduos sólidos em áreas litorâneas. A intensa atividade turística, aliada à riqueza biológica, faz com que a avaliação da poluição plástica seja essencial para garantir a preservação ambiental e a saúde pública.

A constante presença de plástico nos ecossistemas marinhos é um desafio para o gerenciamento costeiro (COSTA *et al.*, 2022), devido a resistência à degradação por microrganismos que mantém esses materiais no meio ambiente por muitos anos (YOSHIDA, 2016). A permanência desse material por um longo tempo, sofre ações de fotodegradação, ventos e chuvas, transformando-o em microplásticos, itens de tamanho entre 1mm e 5mm (ANDRADY, 2011; ARTHUR *et al.*, 2009). Além disso, é comum a ingestão dessas micropartículas pelos organismos marinhos, causando potenciais efeitos deletérios (SILVA *et al.*, 2021).

Esses microplásticos, podem ser distribuídos em duas classes: a) os primários (produzidos intencionalmente), como as microesferas existentes em cosméticos, produtos de higiene pessoal e limpeza; b) os secundários que são decorrentes da degradação do plástico na natureza devido a ação de intempéries, através das ondas, do vento, ações erosivas (ANDERSON, 2016). Uma vez não biodegradáveis, os plásticos permanecem no meio ambiente adsorvendo compostos hidrofóbicos tóxicos, tornando-se um risco para a biodiversidade. Quando ingeridos ou filtrados por organismos, esses compostos entram na cadeia alimentar, causando danos aos ecossistemas e potencialmente afetando a saúde humana (CASTRO *et al.*, 2016).

Faz-se necessário discutir essa temática para tomada de ações, especialmente, no que está preconizado na Agenda 2030, identificando o cenário atual da poluição, assim como, rastrear as possíveis causas que originam o acúmulo de resíduos plásticos em zonas costeiras, como por exemplo, a capital do estado de Sergipe, Aracaju.

Além disso, a pouca oferta de trabalhos que abordem essa problemática, principalmente, incluindo a área de vegetação, impulsionou a busca de mais informações em torno dessa questão. Vale destacar que as praias de Aracaju são grandes atrativos turísticos e que, por serem urbanizadas, também sofrem influências de rios e sistemas de drenagem como fontes geradoras de macros e microplásticos. Dessa forma, justifica-se a realização desse estudo, cujo intuito é avaliar os resíduos plásticos coletados em praias da capital sergipana.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Quantificar plásticos e microplásticos na faixa litorânea da cidade de Aracaju, Nordeste, Brasil, a fim de analisar o cenário de poluição proveniente da utilização e disposição inadequada desses materiais.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar, quantificar e caracterizar os macros e microplásticos encontrados na faixa de areia e na vegetação costeira das praias;
- Comparar a distribuição de resíduos plásticos entre as praias e entre as faixas das áreas de coleta da areia e da vegetação;
- Classificar os macros e microplásticos encontrados quanto ao tipo de polímero;
- Calcular índices de poluição, utilizando o método do Índice de Costa Limpa (CCI) para macroplásticos e Índice de Poluição por microplásticos (IPM) para microplásticos

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O significado de plástico é referente a um grupo de materiais sintéticos feitos de hidrocarbonetos, formados por polimerização, que consistem em uma série de reações químicas em matérias-primas orgânicas (contendo carbono), principalmente gás natural e petróleo bruto, podendo ser duro ou mole, opaco ou transparente, flexível ou rígido. Frequentemente, são misturados com aditivos químicos, como plastificantes, retardadores de chama e corantes de forma a torná-los mais flexíveis e duráveis, dando origem a uma diversidade de produtos, que estão presentes no cotidiano da população (STIFTUNG, 2020).

Em tamanhos menores, entre 1 mm e 5 mm, eles passam a ser denominados de microplásticos, podendo ser classificados como primários ou secundários. Os primários podem ser encontrados em cosméticos, produtos para higiene pessoal e produtos de limpeza industrial. Já os secundários são oriundos do lixo humano descartado inadequadamente como materiais de pesca, produtos descartáveis e embalagens (DRIEDGER *et al.*, 2015). A exposição de detritos maiores à radiação ultravioleta (UV) do sol causa sua fotodegradação e quando somados a ação física do vento e disponibilidade de oxigênio dão origem aos microplásticos secundários (AUTA *et al.*, 2017).

Estes materiais podem levar até 450 anos para se decompor, como no caso da garrafa PET, enquanto copos descartáveis levam 50 anos e sacos plásticos 20 anos, contribuindo para a acumulação de lixo nos oceanos (NEVES, 2013). A dificuldade de degradação facilita a permanência no ambiente e a flutuabilidade permite o transporte pela ação da água e do vento (NEVES *et al.*, 2011).

O plástico definiu uma nova cultura de uso e descarte, trazendo não só benefícios à saúde e à higiene dos consumidores, geração de emprego e crescimento econômico, como também impactos ambientais negativos. É necessário encontrar um equilíbrio que aproveite os benefícios do plástico sem sacrificar o meio ambiente. A melhor maneira de reduzir os microplásticos no ambiente é diminuir a descarga nas fontes geradoras, como por exemplo, reduzir o uso de plásticos, especialmente os de uso único, como garrafas de água, canudos e copos; e mudança de hábitos (SARRIA-VILLA; GALLO-CORREDOR, 2016).

3.1 Contaminação por plásticos em áreas costeiras

Uma elevada quantidade de plástico tem sido observada em áreas litorâneas, representando mais de 60% dos resíduos encontrados em praias de todo o mundo (ANDRADES *et al.*, 2020). Um estudo realizado ao longo do complexo da Baía da Costa de Taghazout, constatou que os plásticos representaram 79% do lixo encontrado, onde os principais compostos foram tampas, recipientes para alimentos, pedaços de poliestireno, sacos plásticos e garrafas com um valor médio de lixo de 0,226 itens. m⁻² (ABELOUAH *et al.*, 2021).

Já em outra pesquisa, que teve como base monitorar o lixo e microplásticos em sedimentos entre marés ao longo da costa atlântica do sul de Portugal e Marrocos, identificou como principais fontes de contaminação as embalagens de alimentos, a pesca e o tabaco. Mais de 97% do lixo marinho recuperado era plástico. Fragmentos e filamentos foram as categorias de plásticos mais abundantes. Os filamentos eram feitos principalmente de polipropileno (PP, 50%) e tereftalato de polietileno (PET, 29%), enquanto os polímeros predominantes para fragmentos eram polietileno (PE, 75%) e PP (25%) (VELEZ, 2019).

Segundo dados da ONU (2023), há 51 bilhões de partículas microplásticas nos mares, 500 vezes mais do que estrelas na nossa galáxia. A poluição por plásticos gera mais de US\$ 8 bilhões de prejuízo à economia global. Levantamento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, aponta que os principais setores diretamente afetados são o pesqueiro, comércio marítimo e turismo. Além disso, o lixo plástico nas praias vem reduzindo o número de turistas em áreas como Havaí, Ilhas Maldivas e Coréia do Sul (WWF, 2022).

No Brasil, instituído pela Lei 7.661/88, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, define como Zona Costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre, a serem definidas pelo Plano. Este plano visa orientar a utilização racional dos recursos na Zona Costeira, contribuindo para a elevação da qualidade de vida da população e a proteção do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (SILVA, 2016).

Estudos com resíduos plásticos em ambientes costeiros começaram somente no final da década de 2000, em que foi observada pela primeira vez a presença de esférulas plásticas no Arquipélago de Fernando de Noronha (IVAR DO SUL; SPENGLER; COSTA, 2009) e na Praia da Boa Viagem em Pernambuco, estado do nordeste brasileiro (COSTA *et al.*, 2010). Especificamente nos sedimentos de praias arenosas, microplásticos já foram mostrados nos seis continentes, em que se

destacam regiões próximas às aglomerações urbanas com maiores concentrações, indicando a possível influência dos sistemas de drenagem de esgoto (BROWNE *et al.*, 2011).

Dentre os resíduos encontrados em 44 praias brasileiras, o plástico correspondeu a maior quantidade de itens, constituindo 97,7% delas, onde embalagens de alimentos (categoria plástico) e bitucas de cigarro (classificados como outra categoria) foram os itens mais encontrados (ANDRADES *et al.*, 2020).

Carvalho (2022) verificou que as concentrações de microplásticos em praias do leste do Rio de Janeiro variaram de 7 a 708 partículas por m², com uma média de 20,8 itens.m⁻² (4,8 itens.kg⁻¹) durante a coleta realizada no verão, e 110,6 itens.m⁻² (17,8 itens.kg⁻¹) durante o inverno. As partículas foram analisadas quanto à forma, cor e tipos de polímeros. Fragmentos, fibras, *pellets*, filmes plásticos e poliestireno (isopor) totalizaram 3.537 partículas, com os fragmentos de microplásticos representando 47,5% do total de detritos detectados. Quanto à identidade química, 30 polímeros foram identificados e classificados como polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), e poliestireno (PS). Microplásticos foram detectados em todos os pontos, inclusive em praias de difícil acesso, como a Praia da Sacristia em Maricá, indicando que a dinâmica costeira interfere diretamente na deposição da poluição por MPs.

Atualmente, apesar da vasta literatura sobre a poluição plástica nas praias, pouco se sabe sobre a situação das praias de Aracaju, capital de Sergipe, situada no nordeste brasileiro. Seu litoral possui como uma das características principais em suas praias, a presença de restingas. Elas têm como papel fundamental, a consolidação do substrato arenoso e a manutenção da drenagem natural, prevenindo a erosão nesses ambientes. Essa vegetação oferece recurso alimentar e disponibilidade de locais de nidificação para a fauna residente e migratória (BRASIL, 1999).

Em Sergipe, as restingas, estão localizadas na planície costeira, compreendendo uma extensão de 1.942,867 km², distribuídos em 168 km de linha de costa em 11 municípios, dentre eles, Aracaju (SERGIPE, 2011). Elas encontram-se sob proteção legal, sendo definidas “como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues”, como Áreas de Preservação Permanente (APP) pela Lei nº 12.651/2012 (Art. 4º, Inciso VI), a qual dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Além disso, a proteção das Restingas é garantida pela Lei nº 11.428/2006 (conhecida como a “Lei da Mata Atlântica”), que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica”, incluindo as Restingas com uma das formações florestais nativas e/ou ecossistemas associados.

A cidade de Aracaju possui em torno de 600 mil habitantes (IBGE, 2022) e seus mais de 30 km de praias atraem grande especulação imobiliária e essa expansão de construções no litoral da capital contribui para o aumento de geração de resíduos sólidos próximos a orla, que, dispostos inadequadamente, acaba resultando na poluição estuarina, impactos sobre a balneabilidade das praias, turismo e poluição ambiental (SANTOS, 2010; GERCO-SE, 2019).

Localizada no litoral central do estado do Sergipe, entre a foz do Rio Sergipe ao Norte e do Rio Vaza Barris ao Sul, Aracaju, possui paisagem marcada por uma densa rede hidrográfica formando córregos, rios e mangues. Além disso, sua topografia pouco diversificada, próxima a rios e a costa reflete em seu relevo com cotas chegando próximo a 100 metros em seus limites máximos. Essas particularidades contribuem com algumas características climáticas, como os próprios regimes de ventos, temperaturas, precipitação e umidade relativa do ar (ANJOS, 2017).

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju, a faixa costeira do município é caracterizada por formas planas baixas (praias e restingas) construídas pela deposição de areias e outros materiais retrabalhados pelo mar (sedimentos de praias e aluviões). Este aspecto particular, onde existe uma vasta vegetação margeando as praias, contribui para o acúmulo de lixo que ficam retidos e, muitas vezes não são visualizados para que sejam realizada a limpeza, agravando assim, a poluição por plásticos nesta biota (Figura 1).



Figura 1 - Poluição plástica na vegetação de uma praia da cidade de Aracaju, Sergipe. Fonte: Autoria própria (2024).

Os estudos realizados por Maynard *et al.*, (2021) nos municípios de Pacatuba e Brejo Grande, situados do estado de Sergipe, relataram uma maior quantidade de resíduos na areia de Pacatuba, sendo constatado que a origem dos microplásticos e macroplásticos encontrados, podem ser oriundos das embarcações que passam pela região já que se encontram próximos do porto de Sergipe, ou terrestre, pelo descarte inadequado de resíduos, além da pesca e turismo que também geram impactos negativos para o ambiente. Já em Brejo Grande, na praia de Carapitanga, o menor número de itens coletados, foi associado ao avanço da maré e do soterramento dos resíduos lá depositados.

Santos (2023) identificou que nas praias de Atalaia e Aruana, no município de Aracaju/SE, houve maior presença de plástico (80%), no total de lixo coletado, onde os resíduos com maior abundância foram copos, embalagens e fragmentos macros. Mesmo quantificando todo material coletado nas praias, durante muito tempo não se dispunha de um índice capaz de determinar, por meio de critérios tecnicamente consistentes, o quanto uma praia estava limpa ou suja, impossibilitando mensurar o grau de limpeza, ou de sujeira, de uma praia. Visando atender tal lacuna na obtenção de tão importante informação e desenvolver uma ferramenta de gestão costeira quanto à poluição por plástico, Alkalay *et al.*, (2007) desenvolveram o método Índice de Costa Limpa (CCI) que foi aplicado em praias da zona costeira de Israel inicialmente e será utilizado no presente estudo.

3.2 Identificação de Microplásticos nas amostras

Os microplásticos apresentam grande capacidade de dispersão no ambiente, podendo ser encontradas em água doce, salgada, salobra e subterrânea, áreas remotas e ainda no solo, ar e alimentos (AHMED *et al.*, 2022). No entanto, a quantidade e qualidade dos microplásticos em cada compartimento do ambiente, pode ser influenciada por fatores ambientais e até mesmo pelas características do polímero.

Estima-se que 1,21 toneladas de microplásticos são transportados do ambiente terrestre para o marinho, a cada ano, pela ação do vento. Contudo a deposição de microplásticos atmosféricos pode ser influenciada pela velocidade e direção do vento, precipitação, dentre outros (HUANG *et al.*, 2021). Estudos demonstram a ocorrência de microplásticos ao longo das décadas em diversos lugares do mundo e variadas concentrações de partículas em suas áreas (Quadro 1).

Quadro 1 – Concentração de Microplásticos em praias de diferentes continentes.

Local	Densidade (Mps. m ⁻²)	Referência
Japão (Praias Costeiras)	53,7	Kusui & Noda, 2003
Brasil (Pernambuco-Boa Viagem)	1.000	Costa <i>et al.</i> , 2010
Portugal (Bordeira)	18	Martins & Sobral, 2011
Estados Unidos (Alabama)	13,2	Martins & Sobral, 2011
Chile (Aysén)	169	Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013
África do Sul (Kenton)	688,9	Nel & Fronemam, 2015
Brasil (São Paulo-Paranapuã)	4,72	Silva, 2016
Brasil (Rio de Janeiro -Copacabana)	3	Carvalho & Neto, 2016
Guatemala (Praia El Quetzalito- Costa do Caribe)	279	Mazariegos-Ortiz <i>et al.</i> , 2020
Colômbia (Sant Antero, Córdoba)	318 ± 314	Garces-Ordoñez <i>et al.</i> , 2020
Caribe (praias Palenque e Punta Galeta)	62 ± 76 e 294 ± 316	Borrero <i>et al.</i> , 2020
Brasil (Rio de Janeiro-Niterói)	543	Castro <i>et al.</i> , 2020
Brasil (Sergipe-Praia do Viral e Pontal dos Mangues)	30,4 e 17,4	Maynard <i>et al.</i> , 2021
Brasil (Ceará-Jericoacoara)	34	Dutra, 2022

Fonte: Autoria própria (2024).

Além das concentrações, outros aspectos associados aos microplásticos são seus tamanhos, formas e cores. Os tipos e formas mais comumente reportados na literatura são os *pellets*, fragmentos e fibras, e em menor frequência os filmes, filamentos, esponjas, espumas e microesferas (FRIAS; NASH, 2019), sendo essas formas e tipos dependentes das características dos microplásticos secundários (processo de degradação das partículas de plástico ao longo do tempo no ambiente) (ZHANG *et al.*, 2020). Sua forma tem sido utilizada para identificar sua origem e o transporte, visto que muitas formas são específicas de determinados produtos.

A cor, por sua vez, pode mostrar as potenciais fontes dos resíduos plásticos, sendo comumente encontrados nas cores vermelho, laranja, amarelo, marrom, bege,

off white, branco, cinza, azul e verde. No entanto, partículas mais escuras, brancas, transparentes ou translúcidas podem estar sub-representadas durante a inspeção visual, que tem sido a maneira mais usual de caracterizar os MPs em amostras ambientais (ZHANG *et al.*, 2020).

Há uma tendência e demanda crescente pela caracterização química, o que tem impulsionado o desenvolvimento de diferentes métodos analíticos nessa área. Os maiores avanços relacionados à caracterização resultam da necessidade de reduzir a subjetividade da análise, possibilitados pelos avanços na instrumentação analítica. Assim, a caracterização vem se tornando mais precisa em evitar falsos positivos, além de aumentar a produtividade com a possibilidade de análises de MPs cada vez menores e com técnicas cada vez mais rápidas e modernas, como o Infravermelho com transformada de Fourier (μ -FPA-FTIR) (MONTAGNER *et al.*, 2021).

A automatização é vista como uma tendência a ser explorada para estabelecer diretrizes e bases para futuros monitoramentos. Discussões estratégicas abordam a decisão do compartimento ambiental, localização e frequência de amostragem. Também é aplicado a harmonização dos métodos (protocolos de amostragem, preparo de amostras, parâmetros como a faixa de tamanho, critérios e unidades de quantificação) para compilação e comparação de dados, respeitando o controle analítico e de qualidade, especialmente para evitar contaminações cruzadas e confirmar a identidade dos polímeros, incluindo testes de proficiência (MONTAGNER *et al.*, 2021).

Diferentes unidades de medida são utilizadas para expressar amostras de sedimento, como m^2 para unidades de superfície, m^3 quando se leva em conta a profundidade, ou em casos em que são utilizadas medidas de volume (mL ou L) e até de massa (kg ou g). A falta de clareza nos dados dificulta a comparação de estudos, além de haver distinção entre aqueles que relatam massa seca ou molhada, uma vez que as amostras de sedimento de locais distintos têm diferentes teor de água, aumentando as restrições das conversões (GESAMP, 2015). Essa ausência de uma padronização das unidades de medida e métodos de coleta esbarra em incongruências metodológicas referente à padrões e processos de contaminação afirma Oliveira *et al.*, (2023).

As metodologias definidas na literatura determinam o tamanho da área de coleta das amostras, assim como a distância entre elas, podendo ser utilizados quadrantes de $1 m^2$, como realizado por Carvalho e Neto (2016). Já Besley *et al.*, (2016), utilizou a linha maré alta para demarcar a areia na praia de Meijendel,

Holanda, foram obtidas amostras aleatórias ao longo de 100 m de extensão, utilizando-se um modelo de 50 x 50 cm para amostragem (quadrantes de 0,25 m² de área). Foi coletada areia dos 5 cm superiores com uma colher metálica, nos quatro cantos de cada quadrante demarcado, assim como no centro.

3.3 Impacto da poluição por plásticos na saúde dos seres vivos

Devido ao seu pequeno tamanho, que torna sua presença quase imperceptível, os Mps são biodisponíveis para uma grande quantidade de organismos aquáticos. Por este motivo, podem induzir respostas tóxicas cujos impactos podem se espalhar pela cadeia trófica. Sabe-se que os microplásticos podem entrar na cadeia trófica através de consumidores mais basais, como o zooplâncton, e atingir organismos de níveis tróficos mais elevados, como espécies marinhas maiores causando-lhes danos enormes (ZHANG *et al.*, 2006; SILVA, 2023), (Figura 2).



Figura 2 - Ingestão dos microplásticos por seres vivos marinhos até chegar aos seres humanos. Fonte: <https://www.yachting.com/Mar de preocupação: a ameaça crescente do plástico nos oceanos, 2023>.

Um estudo realizado, a nível internacional, constatou a contaminação por microplásticos em diferentes espécies comerciais, como peixes e frutos do mar de vários países. Foram encontrados MPs em quatro, de vinte marcas de sardinhas

enlatadas de diferentes países, como Canadá, Alemanha, Irã, Japão, Letônia, Malásia, Marrocos, Polônia, Portugal, Rússia, Escócia, Tailândia e Vietnã (KARAMI *et al.*, 2018).

Uma revisão da literatura realizada por Gall e Thompson (2015) sobre os impactos do lixo na vida marinha reportou casos de ingestão e emaranhamento em 693 espécies, envolvendo principalmente tartarugas, mamíferos e aves marinhas, onde em 92% de todos os relatos, o plástico foi o resíduo presente. Segundo os autores, todas as espécies conhecidas de tartarugas marinhas, 54% de todas as espécies de mamíferos marinhos e 56% de todas as espécies de aves marinhas foram afetadas pelo emaranhamento ou ingestão de lixo, enquanto as demais espécies foram descritas com outras interações, incluindo o uso de resíduos como substrato de fixação ou de transporte.

Na região Sul e Sudeste, aves da espécie Procellariiformes, ameaçadas de extinção, apresentaram macroplásticos no trato digestivo em 67% dos casos, sendo que 63% desses resíduos foram identificados como fragmentos plásticos (resíduos > 5 mm provenientes de sacos e embalagens plásticas ou pedaços rígidos de objetos maiores) (NASCIMENTO *et al.*, 2022). O acúmulo desses compostos no estômago dessas aves por um longo tempo gera graves impactos no ambiente, podendo afetar o ciclo de vida e o sucesso reprodutivo das espécies, levando a danos populacionais a longo prazo (FINKELSTEIN *et al.*, 2007; HARDESTY *et al.*, 2015).

A ingestão de resíduos em pelo menos 462 cetáceos, representando 48 espécies, foi relatada por Baulch e Perry (2014). Os itens mais ingeridos foram de plásticos (46%). De acordo com os dados do estudo, o número de casos notificados de ingestão de detritos na última década é mais de 11 vezes maior do que entre 1960 e 1970. Dessa forma, uma ação conjunta dos governos federal, estadual e municipal, atuando na criação e implementação de leis e na adequação dos sistemas de coleta e disposição de resíduos (urbanos e industriais), além da sociedade, através de uma mudança de hábitos, poderia gradualmente evitar a chegada de mais resíduos ao oceano, reduzindo os riscos para os animais marinhos (ARAÚJO, 2016).

O risco para os vertebrados (animais com coluna vertebral, incluindo humanos) é semelhante ao risco para invertebrados, mas há um aspecto adicional relacionado aos vertebrados devido ao potencial de acumulação de plásticos associados a toxinas na cadeia alimentar. Efeitos subletais do consumo de microplásticos incluem redução na aptidão reprodutiva, na capacidade de escapar de predadores e na capacidade de se alimentar. Danos à pele e ulcerações dos órgãos internos foram relatados em vertebrados marinhos (WRIGHT; THOMPSON; GALLOWAY, 2013).

Um estudo desenvolvido por Ben-Haddad *et al.*, (2022), mostra que o bivalve *Donax trunculus* (um molusco que vive em profundidades de 0–1 m em areia fina e bem selecionada) apresenta densidades de MPs variando de 1,75 a 5,93 itens por grama de peso úmido da espécie. A transferência de MPs através dos sedimentos e de toda a rede trófica, e através de diferentes níveis alimentares, de baixo para cima, gera um perigo iminente para a saúde dos seres humanos (PRATA *et al.*, 2020).

O plástico é considerado um perigo letal aos organismos vivos, pois, alguns animais acabam confundindo esse resíduo com alimentos e ao ingeri-los pode ocorrer problemas como a obstrução do aparelho digestório, estrangulamento, perda na capacidade de locomoção, fuga dos predadores ou causar ferimentos provocando infecções e perda de membros, prejudicando assim atividades necessárias como a capacidade de nadar, migrar, alimentação, proteção e até mesmo na reprodução desses animais (NEVES, 2013).

3.4 Tipos de plásticos associados aos resíduos marinhos

As categorias de plástico se diferenciam através da expansão e estrutura dos polímeros, os quais são decompostos em dois grupos, de acordo com suas características de fusão ou derretimento. Podem ser classificados como termorrígidos, também conhecidos como termofixos que, quando aquecidos, não derretem, o que os torna não reutilizável através de processos convencionais de reciclagem e representam cerca de 20% do total consumido no Brasil. Entre os principais podemos citar: Poliuretano (PU) e Acetato de vinila (EVA) (TONIN, 2021).

Já aqueles que podem ser moldáveis, quando aquecidos e se restabelecem ao serem resfriados, são denominados termoplásticos que representam 80% dos plásticos consumidos e obedecem às seguintes subdivisões: a) Polietileno tereftalato (PET), encontrado em embalagens e garrafas para uso alimentício e ou hospitalar, cosméticos, bandejas para micro-ondas e outros produtos. Muito utilizado por ser transparente, inquebrável, impermeável e muito leve; b) Polietileno de alta densidade (PEAD), originado através da polimerização do etileno e conhecido também como eteno. Suas principais características são: inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve e impermeável; c) Policloreto de vinil (PVC), material leve e muito resistente às variações climáticas e se adaptam a ambientes quentes, frios, úmidos ou secos; d) Polietileno de baixa densidade (PEBD), obtido através da polimerização do etileno, é um polímero de estrutura química mais simples, flexível, leve, transparente e impermeável; e) Polipropileno (PP), polímero derivado do propeno ou propileno, tem

como características a transparência, brilho, rigidez e é inquebrável; f) Poliestireno (PS), resina do grupo dos termoplásticos, sendo obtido através da polimerização do estireno. Por ser bastante frágil e barato é muito utilizado na fabricação de produtos descartáveis; g) Outros, significa que o plástico não se enquadra em nenhum dos outros números citados anteriormente (TONIN, 2021).

Os diferentes polímeros termoplásticos são classificados internacionalmente por códigos, que os distingue conforme a reciclabilidade e o tipo de resina (Quadro 2).

Quadro 2 - Símbolos de reciclagem para os tipos de resinas plásticas com seus respectivos exemplos de usos.

Símbolo	Abreviação em português/inglês	Nome do polímero	Exemplos de uso
	PET/PET	Polietileno tereftalato	fibras de poliéster, filmes, embalagens de alimentos, garrafas de bebidas
	PEAD/PE-HD	Polietileno de alta densidade	garrafas de plástico, recipientes para produtos de limpeza, canos para gás e água potável, utensílios domésticos
	PVC/PVC	Policloreto de vinila	botas, cortinas de chuveiro, canos, revestimentos de piso, cabos elétricos, imitação de couro
	PEBD/PE-LD	Polietileno de baixa densidade	sacos de plástico (não alimentares), filme plástico, sacos de lixo, tubos, revestimentos de caixa de leite
	PP/PP	Polipropileno	Copos, embalagem de alimentos, acabamento interno de carros, parachoque, cadeirinha de criança
	PS/PS	Poliestireno	Copos, Isopor, embalagem de alimentos, material de embalagem, isolamento
	OUTROS/OTHER	Plásticos diversos como poliamida (PA), policarbonato (PC), além da combinação de diferentes plásticos	malas, brinquedos, cerdas para escovas de dente, cordas, embalagens de alimento

Fonte: Crawford *et al.*, 2017a e Pohjakallio, 2020.

Entre os plásticos ou polímeros mais utilizados, e consequentemente, mais descartados pela sociedade moderna, estão o polietileno (PE) de alta e baixa densidades, polipropileno (PP), cloreto de polivinila (PVC), poliestireno (PS) e tereftalato de polietileno (PET) (THOMPSON *et al.*, 2009). Juntos, eles representam cerca de 90% da produção global de plásticos (ANDRADY, 2011).

3.5 Plásticos x ODS – Uma preocupação da humanidade

O crescimento do consumo de produtos plásticos e, consequentemente, da geração de resíduos no ambiente, especialmente, em zonas costeiras, retratam uma preocupação mundial. Em 2015, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, foi definida a Agenda 2030, sendo implementada em 2016 e com duração até 2030. Esta agenda prevê 17 objetivos (ODS) e 169 metas, que norteiam ações globais relacionadas a temas como segurança alimentar, saúde, água e saneamento, redução das desigualdades, proteção e uso sustentável dos ecossistemas terrestres e aquáticos, entre outros (HWANG e KIM, 2017).

A agenda 2030 agrupa os temas em quatro dimensões principais: ambiental, social, econômica e institucional (ONU, 2024). Devido a abrangência que a poluição plástica está inserida, essa temática pode ser tratada em pelo menos cinco dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentados pela Organização das Nações Unidas (ONU). São eles: ODS 6, Água potável e saneamento; ODS 11, Cidades e comunidades sustentáveis; ODS 12, Consumo e produção responsáveis; ODS 14, Vida na água e ODS 15, Vida terrestre.

Com o objetivo de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, o ODS 6 se enquadra nesta temática a partir dos indicadores direcionados à implementação da gestão integrada dos recursos hídricos, assim como, quando se compromete a proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos (ONU, 2024).

No ODS 11 a ideia de fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo, incluindo os desastres relacionados à água, reduzindo o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à gestão de resíduos municipais, apoiando países menos desenvolvidos, contribui para tratativa da problemática em questão (ONU, 2024).

A interação com o ODS 12 pode ser vista a partir do objetivo em assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis com indicadores que atuam na redução da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso,

além de garantir para que todas as pessoas tenham informação e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza (ONU, 2024).

Para a ODS 14, especialmente, a ONU proclamou, em 2017, a Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável. Conhecida como Década da Ciência Oceânica, essa iniciativa, que está vigente desde 2021, visa gerar conhecimento científico sobre os oceanos e sustentar infraestruturas e parcerias para reverter o declínio da saúde dos oceanos e a insustentabilidade de suas atividades. Tem como objetivo criar condições viáveis para o desenvolvimento sustentável através do diálogo, de reuniões e pesquisas conjuntas a nível nacional, global e regional (UNESCO, 2021).

A Década da Ciência Oceânica busca alcançar sete resultados: (a) Oceano limpo: as fontes de poluição devem ser identificadas e reduzidas ou removidas; (b) Oceano saudável e resiliente: os ecossistemas marinhos devem ser mapeados, protegidos, restaurados e gerenciados; (c) Oceano produtivo: a cadeia produtiva de alimentos deve ser sustentável; (d) Oceano previsível: a sociedade deve compreender a situação atual e futura dos oceanos; (e) Oceano seguro: a vida e os meios de subsistência devem ser protegidos dos perigos relacionados ao oceano; (f) Oceano transparente: o acesso aos dados, informações e tecnologias deve ser equitativo; (g) Oceano inspirador e envolvente: a sociedade deve entender e valorizar o oceano, visto que está atrelado ao bem-estar humano e ao desenvolvimento sustentável principais (UNESCO, 2021).

E, através do ODS 15, a ação de mobilizar e aumentar significativamente, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas complementa a interação e contribuição com a discussão sobre a poluição originada por plásticos (ONU, 2024).

O plástico pode causar efeitos de bioacumulação e biomagnificação nos organismos vivos, afetando a reprodução, interferindo na disponibilidade de alimentos, nas funções do ecossistema e, conseqüentemente, na dinâmica da cadeia alimentar. Ele também pode afetar a saúde humana ao contaminar a água potável e o sal de cozinha, por exemplo (KASAVAN *et al.*, 2021). Além disso, devido à sua alta durabilidade, o plástico pode ser transportado para longe do local de descarte, influenciando diversos ecossistemas. Observa-se, também, que esse material impacta negativamente a economia, interferindo no turismo, lazer, pesca e outras atividades, devido ao seu ciclo de vida prolongado (OECD, 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada em Aracaju, pertence a região nordeste, considerada a menor capital do Brasil, é uma cidade litorânea, com mais de 600 mil habitantes (IBGE, 2022), com forte influência de bacias hidrográficas. Localizada às margens do oceano Atlântico, é banhada pelos rios Sergipe, que corre ao norte da cidade e deságua no oceano e pelo rio Vaza-Barris que corre na parte sul e se divide entre a Bahia e Sergipe. O PIB da capital sergipana ocupa a primeira colocação, comparado aos outros 74 municípios do estado de Sergipe, sendo o setor de serviços responsável por 85,8% do PIB do município, entre eles o turismo, e a indústria por 14,2% (IBGE, 2022).

As médias térmicas anuais variam na faixa dos 26°C e a precipitação média de chuvas fica em torno de 1.590 mm, apresentando clima quente e úmido, e águas mornas ao longo do seu litoral. A localização dos principais hotéis e restaurantes da cidade estão presentes nas áreas circunvizinhas da região à beira-mar, onde também, estão presentes vários pontos turísticos, atraindo grande movimentação de pessoas durante o ano todo (ARACAJU, 2012).

Todas as praias que fazem parte do litoral aracajuano são caracterizadas com praias urbanas. Dentre elas, seis praias foram escolhidas para realização deste trabalho: Praia dos Artistas, Praia de Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio e Viral (Quadro 3). A escolha dos pontos de pesquisa foi definida de acordo com as características das praias ao longo da extensão do litoral da capital (aproximadamente 35 km), possuindo uma diversidade de atrativos para banhistas, comerciantes e pescadores.

Além disso, devido ao fato de serem urbanizadas, as praias sofrem impactos diretos do crescimento imobiliário presente na extensão da orla costeira. Outro fator que pode ser destacado é a presença de efluentes que desaguam no oceano, visto que a cidade não coleta 100% do esgoto a influência das redes de drenagem de águas pluviais, que misturadas às sujidades das ruas, desembocam na costa carreando resíduos sólidos (SERGIPE, 2024).

Para delimitação das áreas, a presença da vegetação costeira (restingas) foi condição indispensável para a realização deste estudo, já que as coletas foram definidas em duas faixas (areia e vegetação). Para identificação dos pontos de coleta

em cada praia foi utilizado o sistema de georreferenciamento (GPS), modelo GARMIN, Datum WGS84/UTM ZONE 24S.

Quadro 3 - Localização das praias onde foi realizado o estudo.

Praias	Coordenadas	Datas		Características
		Coleta 1	Coleta 2	
Praia dos Artistas	24 L 0711038 8784602	27/10/2023	14/03/2024	- Zona urbana - Estruturas fixas de bares e restaurantes - Próximo ao centro hoteleiro, comercial e residencial
Praia de Atalaia	24 L 0713192 8784500	08/11/2023	14/03/2024	- Zona urbana - Estruturas móveis de quiosques - Próximo ao centro hoteleiro, comercial e residencial - Ponto turístico
Praia da Cinelândia	24 L 0712621 8783731	08/02/2024	17/04/2024	- Zona urbana - Estruturas móveis de quiosques - Próximo ao centro hoteleiro, comercial e residencial - Quadras poliesportivas
Praia do Robalo	24 L 0709868 8779924	29/02/2024	24/04/2024	- Zona urbana - Estruturas fixas de bares e restaurantes - Próximo a condomínios residenciais
Praia do Refúgio	24 L 0707289 8776102	29/02/2024	24/04/2024	- Zona urbana - Estruturas fixas de bares e restaurantes - Presença de condomínios residenciais
Praia do Viral	24 L 0703385 8770118	13/03/2024	25/04/2024	- Não há estrutura de atendimento a banhistas - Distante de hotéis, residências e comércio - Difícil acesso

Fonte: Autoria própria (2024).

As praias da Atalaia e dos Artistas, por estarem mais próximas da maior concentração hoteleira, atraem um maior número de turistas devido à proximidade e facilidade de acesso, enquanto a Cinelândia possui no seu entorno uma variada oferta de áreas poliesportivas, o que faz dela um grande atrativo aos praticantes de esportes. As praias do Robalo e Refúgio, possuem um conjunto de barracas com estruturas fixas e arquitetura arrojada e grandes condomínios residenciais. Situada ao final da zona costeira de Aracaju, sentido sul, a praia do Viral, embora não ofereça nenhuma estrutura de barracas, nem proximidade á hotéis e residências, apresenta um cenário propício para banho e pesca (Figura 3).

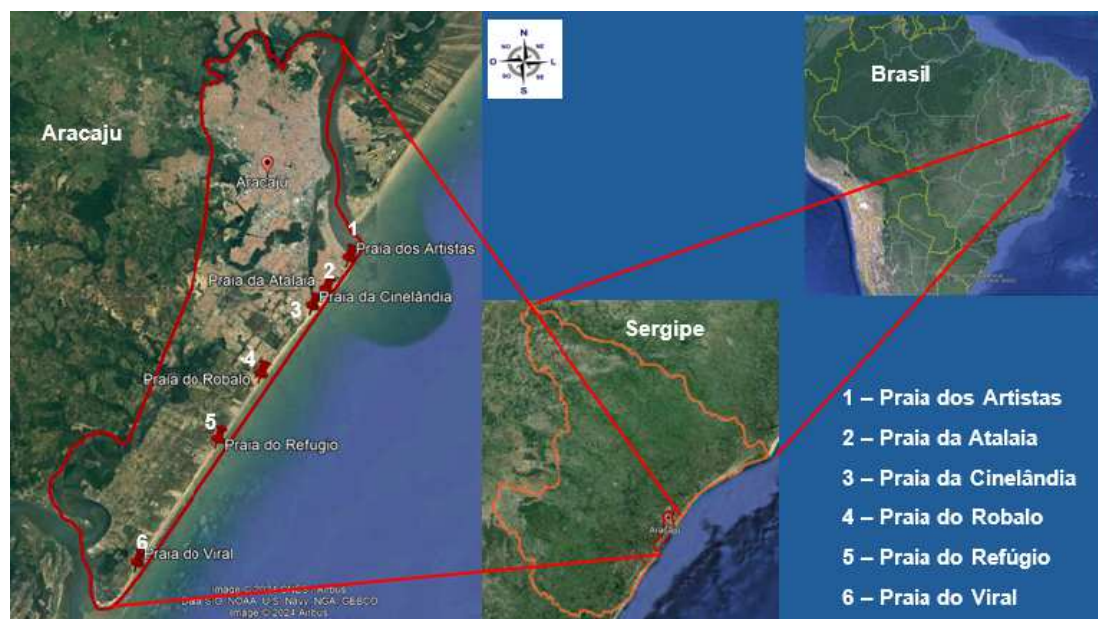


Figura 3 - Localização do município de Aracaju e das praias onde foi realizado o estudo (Praia dos Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio e Viral). Fonte: Imagens do Google Earth. Adaptado pela autora (2024).

As coletas foram realizadas no período entre outubro de 2023 a abril de 2024, em dias da semana que antecedem a limpeza feita pela prefeitura de Aracaju conforme programação informada no período pelo órgão gestor.

4.2 Macroplásticos

4.2.1 Coleta de campo

Foi determinado um transecto de 100 metros na faixa longitudinal tendo como referência a preamar sentido costa e 20 metros no sentido transversal, totalizando uma área de 2.000 m². Esta área também foi delimitada para a coleta na área da vegetação, tomando como base o encontro da vegetação com a faixa de areia (Figura 4).

Para realização da coleta dos macroplásticos (resíduos > 2,5 cm) foi feita uma adaptação dos procedimentos descritos em OSPAR (2010) que consiste em quantificar e qualificar os resíduos encontrados numa área de 2.000 m².



Figura 4 – Exemplo de delimitação das áreas de 2.000 m² (100m x 20m) para coleta dos macroplásticos, praia do Refúgio, Aracaju (SE). Legenda: A - Faixa de areia / B - Faixa de vegetação. Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.2 Identificação dos macroplásticos

Os resíduos coletados nas praias foram encaminhados ao laboratório do Instituto Tecnologia e Pesquisa (ITP) da Universidade Tiradentes em Aracaju, onde passaram por processos de: a) separação e limpeza para retirar o excesso de areia; b) pesagem; c) identificação e contagem dos objetos (copos, canudos, garrafas etc.); d) classificação quanto ao tipo de plástico correspondente (Figura 5).

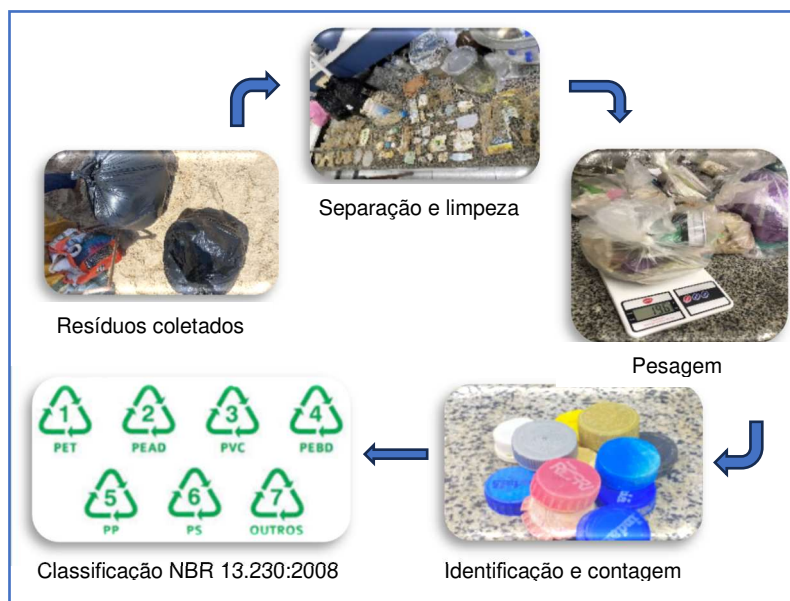


Figura 5 - Processo de avaliação dos macroplásticos. Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.3 Classificação dos macroplásticos

Para este estudo, a classificação foi realizada considerando os termoplásticos conforme sua reciclabilidade (NBR 13230:2008) de acordo com o item 3.4.

4.2.4 Cálculo do CCI (Índice de Costa Limpa)

O método consiste em quantificar o número de itens plásticos encontrados na área amostrada da praia, assim, sendo possível obter um valor comparável a outras localidades. Por questões estatísticas e para facilitar a interpretação dos valores, o índice é definido a partir da multiplicação do resultado obtido pelo coeficiente de sujeidade ($K = 20$).

$$CCI = \frac{\text{Quantidade de itens}}{\text{Área total da coleta}} \cdot K$$

O CCI possibilita classificar as praias quanto ao grau de sujeidade em: a) muito limpa (0 – 2); limpa (2 – 5); moderada (5 – 10); suja (10 – 20); e extremamente suja (> 20).

4.3 Microplásticos

4.3.1 Coleta de campo

As coletas das amostras e extração de microplásticos das areias foram adaptadas da Comissão Europeia, (2013), *National Oceanic and Atmosphere Administration* (MASURA *et al.*, 2015), Löder e Gerdts (2015), *Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmen* Proteção Ambiental (GESAMP, 2015) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2016).

Assim, o protocolo de amostragem consiste em demarcar um trecho de 100 m x 20 m paralelo à marca da preamar e, nesse trecho, são definidos aleatoriamente dez quadrantes de 50 cm x 50 cm, separados por pelo menos 5 metros de distância (Figura 6). Este procedimento é repetido na vegetação, correspondente a mesma área, totalizando vintes amostras de areia em cada praia escolhida.



Figura 6 – Exemplo da delimitação das áreas de coleta de areia em 10 quadrantes (50 cm x 50 cm) contidos numa sessão de 100m x 20m (mesma área dos macroplásticos), para identificação de possíveis microplásticos, onde **d** é a distância mínima entre os quadrantes. A - Faixa da areia / B - Faixa da vegetação. Fonte: Autoria própria (2024).

4.3.2 Preparação das amostras de areia

As amostras coletadas (camada superficial) foram misturadas, a fim de alcançar uma homogeneização e, posteriormente seguiram para o processo de secagem em estufa (60°), mínimo de 24 horas. Depois de secas, foi feito o quarteamento e peneiramento (16 mesh ou 5mm) e extraído uma amostra de 500 g de areia (Figura 7).



Figura 7 – Preparação das amostras de areia coletadas nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 para processo de extração de Microplásticos. Quarteamento (A); Secagem (estufa a 60º) (B); Peneiramento(C); Pesagem (500g) (D). Fonte: Autoria própria.

4.3.3 Extração dos Microplásticos

O procedimento laboratorial de extração dos Mps é constituído por uma técnica de separação por densidade em duas etapas: a amostra foi misturada a uma solução de cloreto de sódio (NaCl) e, no segundo momento, passará para uma solução de cloreto de zinco (ZnCl_2) (Figura 8).

- Etapa 1: Será utilizada a proporção de 1 L de solução salina de cloreto de sódio – NaCl ($d = 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$) para cada 500 g de areia, misturada por 2 min, até alcançar uma solução homogênea e deixada em repouso por 2 h. Após processo de decantação da areia, utilizando uma pinça ou pipeta de *pasteur*, extrai-se os Mps que ficaram suspensos na superfície. Feito isto, repete-se o processo novamente.

- Etapa 2: Consiste em trocar a solução de NaCl por cloreto de zinco – ZnCl_2 ($d = 1,5 - 1,7 \text{ g.cm}^{-3}$), misturar e deixar por 5 horas. Após repouso, os possíveis microplásticos sobrenadantes são extraídos e reservados junto aos da etapa 1.

Concluída a separação do que foi extraído nas etapas anteriores, segue com a lavagem em água destilada, a fim de tirar os resquícios das soluções e, posteriormente, secagem na estufa a 40° por 24 horas.

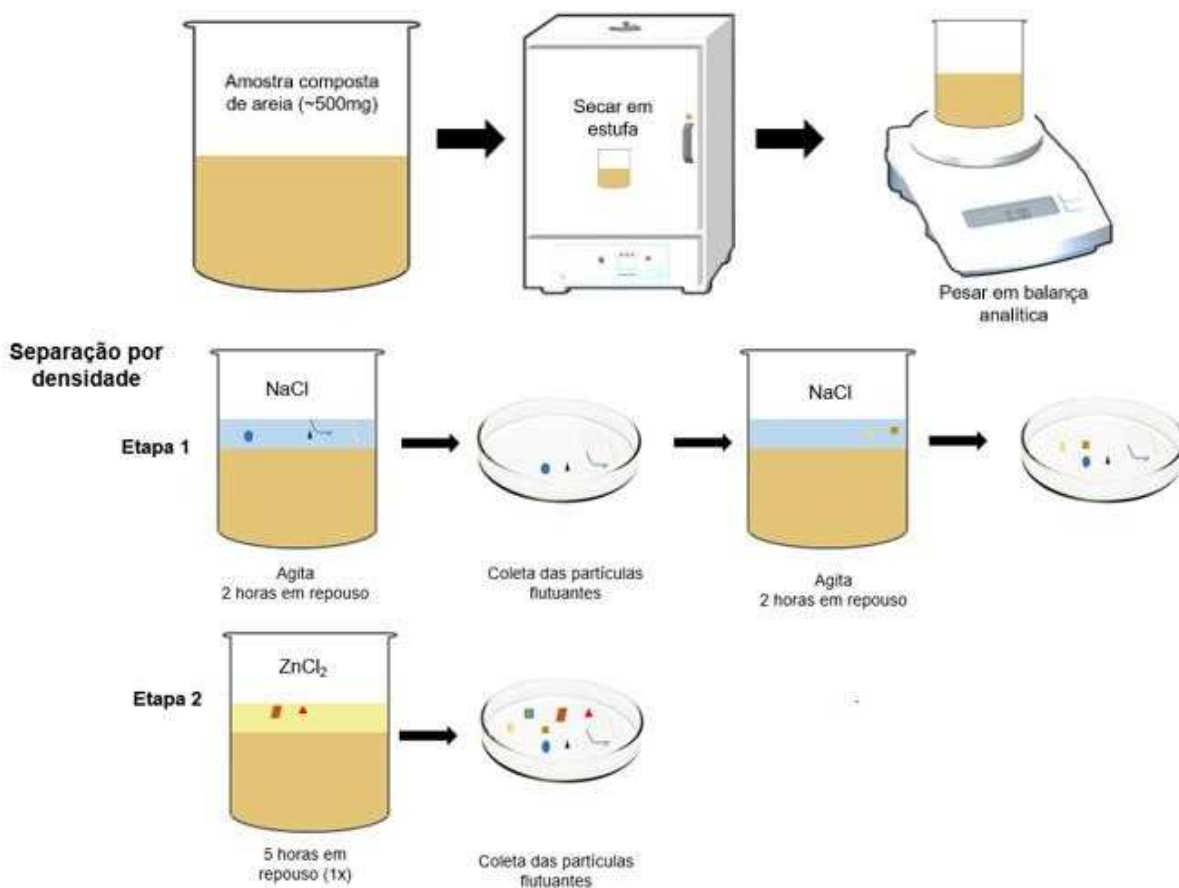


Figura 8 - Esquema ilustrativo do procedimento de extração de microplásticos das amostras da areia. Fonte: Maynard *et al.*, (2021).

4.3.4 Identificação de Microplásticos

Os Mps passaram por uma inspeção visual no Microscópio Estereoscópico Nikon SMZ800, para caracterizá-los quanto ao formato e cor. Concluída a triagem, os itens foram contabilizados e submetidos a análise no Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier com um cristal de diamante de Reflexão Total Atenuada (FTIR-ATR) usando um modelo de espectrômetro Agilent Cary 630 FTIR, para definição da identidade química (Figura 9).



Figura 9 – Equipamentos utilizados na identificação dos microplásticos: Microscópio Estereoscópico Nikon SMZ800 (A) e Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR (B).

Após gerado um banco de dados com materiais conhecidos, onde era sabido o tipo de polímero de origem, os itens coletados passaram pelo FTIR, sendo possível apenas a leitura de alguns MPs, visto que muitos apresentaram tamanho ou quantidade insuficiente para a conclusão da identificação química. Para este estudo não foi realizada a medição individual dos MPs, apenas a identificação (1 a 5 mm), quantificação e características quanto ao formato e a cor. As análises foram realizadas no Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP).

4.3.5 Índice de poluição por microplásticos (IPM)

Para mensuração do índice de poluição por microplásticos (IPM) foi adotado o proposto por Rangel-Buitrago *et al.*, (2021). Ele determina a presença de MPs no ambiente, calculando a relação existente entre a quantidade de partículas e a área levantada, sendo então demonstrados em MPs.m², seguindo a fórmula:

$$IPM = \frac{\text{Quantidade de MPs}}{\text{Área total dos quadrantes}}$$

O IPM permite avaliar uma praia como de 0 – 2 = presença muito baixa; 2 – 5 = baixa abundância; 5 – 15 = abundância moderada; 15 – 25 = alta abundância e > 25 = abundância muito alta.

4.4 Análise de Dados

Para a análise dos dados estatísticos, foi utilizado o modelo misto para análise de variância das médias com os tipos de praias, tipos de faixas, tipos de resíduos e classificação dos plásticos como fatores fixos e os resíduos, em frequência e em gramas, como fatores aleatórios (DANCEY, 2018). Foi adotado um nível de significância de 5% e os procedimentos estatísticos foram realizados no programa SAS versão 9.4.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Macroplásticos

Foram coletados um total de 22.298g de plásticos nas praias estudadas. A que apresentou maior massa (8.943g) foi a praia do Viral e a menor foi a praia da Cinelândia (1.147g) ($p < 0,05$). Em relação às faixas de coleta, a diferença foi significativa, sendo que a vegetação obteve maior quantidade (12.544g) quando comparadas todas as praias ($p < 0,001$) e, individualmente, nas praias da Atalaia, do Robalo e do Refúgio ($p < 0,05$), conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de resíduos plásticos encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE, Brasil.

PRAIAS	MASSA (g)			Nº de ITENS		
	FA	FV	TOTAL MASSA	FA	FV	TOTAL ITENS
Artistas	920	903	1.823	295	171	466
Atalaia	1.228	2.219	3.447	236	354	590
Cinelândia	517	630	1.147	143	156	299
Robalo	744	1.246	1.990	194	236	430
Refúgio	1.963	2.985	4.948	232	340	572
Viral	4.382	4.561	8.943	225	241	466
TOTAL	9.754	12.544	22.298	1.325	1.498	2.823

Legenda: Faixa de areia (FA); Faixa de vegetação (FV). Fonte: Autoria própria

A massa total (22.298g) correspondeu a 2.823 itens coletados. Houve uma diferença significativa dos itens nas praias da Atalaia e do Refúgio (590 e 572, respectivamente). Já na comparação entre as faixas de areia e de vegetação, não

houve diferença significativa entre as quantidades de itens encontrados ($p > 0,05$), no entanto, a praia dos Artistas apresentou mais itens (295) na faixa de areia e as praias de Atalaia (354) e Refúgio (340), na vegetação ($p < 0,05$) (Tabela 1).

A maior massa (8.943g) encontrada na praia do Viral, provavelmente se relaciona à ausência de lixeiras e a falta de infraestrutura, o que facilita o descarte inadequado de produtos gerando acúmulo na faixa de areia e de vegetação. Essa massa pode ser associada também ao tipo de resíduo, que nesse caso as garrafas foram responsáveis em contribuir com esse resultado. A maioria das garrafas encontradas eram do tipo PET de 2 litros.

Além disso, o fato de estar mais afastada do centro urbano e ser de difícil acesso, pode resultar numa limpeza incipiente por parte do poder público, agravando a poluição daquele ambiente. Complementarmente, Maynard *et al.*, (2021), destacam que como a praia do Viral não é muito frequentada por banhistas, os resíduos encontrados lá, podem ter sido transportados por correntes marítimas, bem como sofrer a influência da foz do rio Vaza-Barris.

A ineficiência de limpeza como justificativa no resultado da quantidade de resíduos plásticos encontrados em duas praias localizadas na Ilha de São Francisco em Santa Catarina também foi abordado por Pfuetzenreuter e Vieira (2022). Diante da grande quantidade de plásticos encontrada, sugeriram que além deste resultado estar associado às atividades pesqueiras, ao turismo, aos próprios moradores e ao deslocamento proveniente de correntes marítimas, também deve-se considerar a não realização de limpeza frequente nestas praias e a presunção de que rios e valas de drenagem contribuíram para a deposição de resíduos ao longo do tempo.

As praias mais frequentadas, como é o caso da Atalaia, Artistas e Cinelândia, denotam uma preocupação maior do poder público em criar estratégias de limpeza a fim de garantir a sensação de bem-estar dos frequentadores. Segundo os autores, o turismo é apontado como a principal fonte de resíduos sólidos no litoral sul de Sergipe, inclusive em praias remotas. A presença de uma infraestrutura adequada para recepção de banhistas e o fácil acesso às praias devido à proximidade da área urbana, contribuem com a geração da quantidade de resíduos encontrado nestes pontos (NOBRE; SANTOS; NILLIN, 2021).

Outro fator que pode contribuir com este cenário é o comportamento das pessoas nas praias, servindo de atratores para a poluição nestas áreas. Isso pode ser explicado através da teoria das *affordances* oriunda da psicologia ecológica, na qual o ser humano percebe oportunidades de agir sobre o ambiente a partir de um processo de percepção direta. Ou seja, de acordo com esta teoria, para as praias mais limpas,

possivelmente as pessoas que a frequentam irão conservar o ambiente que encontraram, e, dificilmente irão realizar descartes inadequados. Já naquelas em que a presença de lixo é maior, para os frequentadores, descartar algo naquele ambiente não trará grandes impactos, uma vez que ele já encontrou um cenário propício e, foi “induzido” ao erro.

As *affordances* significam oportunidades de ação que o ambiente oferece ao indivíduo. A partir disso, a presença de outras pessoas associada a uma limpeza da praia pode ser uma restrição ambiental que inibe o comportamento poluidor, ou seja, o arremesso de plásticos na superfície (GIBSON, 1986).

Em paralelo a isso, o que pode contribuir também para o acúmulo da quantidade de massa encontrada na faixa de vegetação (12.544g), possivelmente, estar associado ao fato da limpeza ser feita apenas manualmente e a ausência da utilização da tecnologia do maquinário utilizado durante a limpeza, já que este só funciona na areia.

A proximidade da faixa de vegetação, com a rodovia, também pode atrair mais resíduos, que por sua vez, são descartados inadequadamente pelos transeuntes e os usuários dos veículos que trafegam nesta região. Verificou-se também que a vegetação de restinga, com suas ramificações rasteiras, facilita a permanência destes resíduos e que a exposição deles por um longo período sofrendo as ações de fotodegradação, os transformará em microplásticos (partículas < 5 mm), impactando diretamente na fauna e na flora da região (STIFTUNG, 2020).

A identificação dos resíduos encontrados revelou uma diversidade com mais de 20 (vinte) tipos, porém foram consideradas 13 (treze) categorias neste estudo conforme observa-se na Tabela 2. Denominou-se “fragmentos macros” àqueles com tamanho insuficiente para identificar sua origem. Já para os chamados “diversos” foram todos os itens que ao final das duas coletas não obtiveram somatório maior que 15 unidades, dentre eles estão: escova de dentes, creme dental, armação de óculos, cosméticos, haste flexível, potes de alimentos, pente, brinquedo infantil, seringa e embalagens mistas.

Tabela 2 – Identificação dos resíduos encontrados nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE

PRAIAS	FR	EM	CO	TAM	PT	CA	TAL	GA	IS	SA	DI	PA	MP	Total
Artistas	63	130	77	57	40	17	11	13	14	9	11	19	5	466
Atalaia	65	102	117	61	76	38	50	5	35	19	12	8	2	590
Cinelândia	28	62	44	54	0	54	12	0	2	28	2	9	4	299
Robalo	101	68	59	39	77	41	19	3	2	1	6	3	11	430
Refúgio	190	69	91	64	41	8	9	35	21	9	30	4	1	572
Viral	124	66	67	71	38	3	0	41	20	18	14	0	4	466
Total	571	497	455	346	272	161	101	97	94	84	75	43	27	2823

Legenda: FR = Fragmentos macros; EM = Embalagens; CO = Copos; TAM = Tampas; PT = Plásticos Transparentes; CA = Canudos; TAL = Talheres; GA = Garrafas; IS = Isopor; SA = Sacolas; DI = Diversos; PA = Palitos; MP = Material de Pesca.

Conforme mostrado na Tabela 2, em relação ao tipo de resíduos, os fragmentos macros, as embalagens e os copos foram aqueles com maior ocorrência, enquanto que os palitos, o material de pesca e outros diversos tipos de plásticos foram aqueles com menor frequência ($F = 187,43$; $p < 0,001$). Estes itens também foram encontrados em uma praia do litoral sul do estado de Sergipe, além disso, concluíram que a maior fonte geradora de resíduos eram os próprios usuários que levam seus alimentos de casa e o forte comércio de comidas e bebidas no local (NOBRE; SANTOS; NILLIN, 2021).

Com relação aos fragmentos macros, embora não tenha sido possível identificar a origem desses resíduos, sua presença indica a degradação sofrida pelo material, que, com o passar do tempo exposto às intempéries, radiação solar, ventos e chuvas, pode futuramente se transformar em microplásticos. Fatores contribuintes para esse resultado incluem as constantes ações antrópicas no litoral sergipano, como turismo, pesca e intensa pressão imobiliária, que favorecem a ocupação de dunas e o tráfego de veículos em áreas proibidas. Essas atividades promovem a presença de resíduos marinhos tanto na faixa de areia quanto na vegetação (SANTOS, 2023).

Por meio da análise dos tipos de resíduos por praia (Tabela 2) e aplicação do teste qui-quadrado foi possível observar diferenças significativas entre os tipos de itens por praias a partir do mapa de calor dos resíduos padronizados ajustados (Figura 10).



Figura 10 - Avaliação da análise dos tipos de resíduos por praia, aplicando o teste de qui-quadrado, nos resíduos coletados nas praias dos: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, Aracaju/SE. OBS: Valores acima de 1,96 indicam diferença significativa.

Foi encontrada significância estatística na interação entre todos os fatores fixos (períodos das coletas, tipos de praias, tipos de faixas e tipos de plásticos) e os fatores aleatórios (frequência) ($F = 565,52$; $p < 0,001$). Especificamente, em relação às praias, as praias de Atalaia ($M = 11,35 \pm 13,91$) e do Refúgio ($M = 11,00 \pm 19,37$) foram aquelas com maior quantidade de resíduos encontrados e a praia da Cinelândia foi aquela com menor ocorrência ($M = 5,75 \pm 7,37$) ($F = 299,63$; $p < 0,001$).

Verificou-se que alguns itens se destacam quando analisados individualmente por praia, como é o caso dos canudos na praia da Cinelândia por exemplo. Embora essa praia tenha apresentado menores quantidades de massa (1.147g) e itens (299), os canudos apresentaram diferença significativa quando comparados a outras praias. Isso pode estar associado aos produtos consumidos (bebidas em geral) e ao perfil de usuários que a frequentam, visto que, é uma praia que oferece uma vasta área de recreação e esportes.

O canudo foi um item encontrado em todas as praias, especialmente, na praia da Cinelândia. A presença deste tipo de resíduos vai de encontro à Lei Estadual 8.689, de 25 de junho de 2020, que proíbe, no Estado de Sergipe, o fornecimento de canudos confeccionados em material plástico em hotéis, restaurantes, bares, padarias, clubes noturnos e eventos musicais de qualquer espécie, entre outros estabelecimentos comerciais. Sendo assim, é necessário intensificar a fiscalização desta legislação, além de promover campanhas educativas a fim de sanar com este

passivo ambiental.

As praias do Refúgio e do Viral, além de apresentarem maior massa de resíduos (4.948g e 8.943g, respectivamente), também registraram frequência significativa de fragmentos macros ($p < 0,05$) comparada as outras praias. Provavelmente, devido à falta de limpeza frequente nessas localidades mais distantes do centro urbano, os resíduos ficam expostos por um longo período às intemperes e ações das marés resultando na fotodegradação do material.

Dado que os fragmentos macros foram os itens que representaram a maioria dos resíduos encontrados, isso propicia a continuação de pesquisas com essa temática, uma vez que, ao longo do tempo ocorrerá o aparecimento de microplásticos secundários (plásticos $< 5\text{mm}$ resultantes da degradação no ambiente). Esses dados também causam preocupação em empresários do ramo hoteleiro, que têm as praias como principal atrativo turístico. Eles acreditam que uma constante limpeza com destinação correta dos resíduos e a realização de ações educativas associadas a redução do consumo de plásticos são fundamentais para o combate da poluição nas praias (SILVA *et al.*, 2022).

Quanto ao tipo de plástico, obteve-se o predomínio do tipo polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polipropileno (PP). Não foi possível classificar o tipo de plástico referente aos resíduos identificados como “fragmentos macros” devido a dificuldade de identificar sua origem, sendo atribuídos à eles a denominação de “não-classificados” para este estudo (Figura 11).

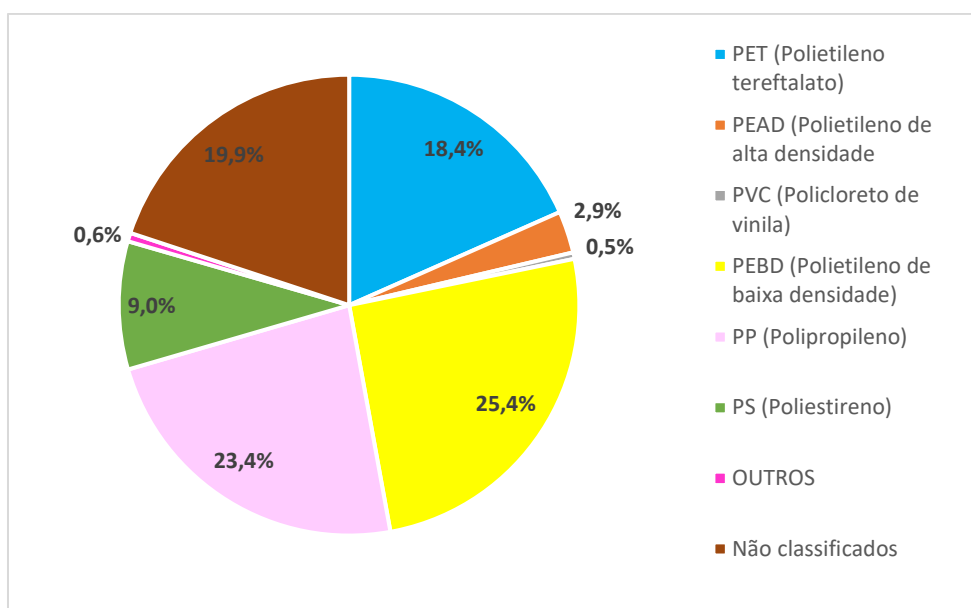


Figura 11 – Classificação quanto ao tipo de plástico (NBR 13230:2008) dos resíduos coletados nas praias dos: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

Os resultados obtidos a cerca dos tipos de plásticos de origem dos resíduos encontrados nas seis praias estudadas foram atribuídos, principalmente, aos materiais mais encontrados durante as coletas realizadas (embalagens e copos). Este resultado se assemelha com a porcentagem encontrada na praia de Paranapuã/SP, onde 67% dos resíduos plásticos encontrados eram de origem de polietileno (PE) e 19% de polipropileno (PP). O autor atribuiu a concentração desse tipo de polímero à grande demanda da sociedade, pois o polietileno e polipropileno são os tipos plásticos mais produzidos pelas indústrias (ANDRADY & NEAL, 2009). Seu baixo custo de produção, alta durabilidade e processo lento de degradação associado a sua baixa densidade, que possibilita uma maior dispersão no ambiente, podem ter contribuído com este resultado (LUSHER *et al.*, 2013).

Esse estudo também corrobora com o resultado obtido na pesquisa realizada na praia de Tamandaré/PE, Lins-Silva *et al.*, (2021) onde, entre os plásticos coletados, predominou os do tipo polietileno e polipropileno, principalmente na Baía e no Estuário em direção ao oceano. O polietileno, por exemplo, devido a sua grande versatilidade, abrange inúmeras aplicações, e tem se destacado, principalmente, no setor de embalagens. Um crescimento médio de 3% na sua demanda no Brasil vem sendo registrado nos últimos anos (STIFTUNG, 2020).

A predominância do polietileno também foi detectada em um estudo onde foram investigados a ingestão deste polímero em um crustáceo comercializado como alimento. Associado a isso, o impacto causado nestes seres apontou atrofia do intestino, má formação de células e encolhimento das brânquias (HSIEH *et al.*, 2021). Outros impactos também foram observados em peixes da espécie Robalo, no qual verificou-se altos níveis de vacuolização dos enterócitos e redução no número de células calciformes (ESPINOSA; ESTEBAN; CUESTA, 2019).

Este resultado, provavelmente reflete os tipos de produtos consumidos pelos usuários nas praias, uma vez que está associado à quantidade de itens mais encontrados (embalagens e copos). O ato de levar alimentos e bebidas à praia é comum entre os frequentadores, principalmente, devido ao fato de algumas delas não oferecerem estrutura de quiosques, bares e restaurantes.

Em análise feita diante da poluição marinha das praias urbanizadas, da zona costeira de Santa Catarina, observou-se que a principal origem dos detritos, estava associada a atividades desenvolvidas em terra, provenientes de drenagem pluvial, ou ainda, descarte inadequado pelos banhistas e usuários (ROCHA, 2023).

O crescimento do consumo de produtos plásticos e, conseqüentemente, da geração de resíduos no ambiente, especialmente, em zonas costeiras, retratam uma

preocupação mundial uma vez que esta temática está inserida em alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), já citados anteriormente (ONU, 2024). Diante disso, a criação de políticas públicas que visam a limpeza das praias deve ser uma ferramenta importante contra a poluição de plásticos (RHODES, 2018).

Aplicando o método Índice Costa Limpa (CCI) nos resultados obtidos, foi possível classificar as praias quanto a sujeidade. Em todas as praias estudadas o índice classificou-as como muito limpas (Tabela 3).

Tabela 3 – Avaliação da sujeidade conforme o método Índice Costa Limpa (CCI) nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24 em Aracaju/SE.

Praias	Nº de itens - FA	CCI - FA	Nº de itens - FV	CCI - FV	Qdade total	CCI Total	Classificação
Artistas	295	1,48	171	0,86	466	1,17	ML
Atalaia	236	0,59	354	0,89	590	1,48	ML
Cinelândia	143	0,72	156	0,78	299	0,75	ML
Robalo	194	0,97	236	1,18	430	1,08	ML
Refúgio	232	1,16	340	1,70	572	1,43	ML
Viral	225	1,13	241	1,21	466	1,17	ML

Legenda: Faixa de areia (FA); Faixa de vegetação (FV).

CCI = Nº de itens coletados / Área total da coleta x K (fator de sujeidade = 20).

Classificação: ML = muito limpa (0 – 2); L = limpa (2 – 5); M = moderada (5 – 10); S = suja (10 – 20) e ES = extremamente suja (> 20).

Esse resultado pode ser atribuído a realização da limpeza urbana que é feita nas praias de Aracaju, tanto de forma manual, quanto automatizada através da máquina saneadora. Além disso, o fato da segunda coleta ter sido realizada nos meses de março e abril, onde já se inicia o período chuvoso na cidade, a diminuição dos frequentadores coletas foram realizadas em dias de semana e em meses em que apresentam menor frequência dos banhistas. Este método foi utilizado pela primeira vez em 4 praias analisadas em Istambul por Akarsu *et al.*, (2022) onde foram consideradas como extremamente sujas. Os autores concluem que para tratar esse dado deve haver políticas de reciclagem mais consistentes e soluções coordenadas para restauração ecológica.

No nordeste brasileiro, o litoral do município de Salvador, também passou por análise utilizando o CCI, classificando a maioria das praias da capital baiana como extremamente sujas. O autor atribui este resultado a ineficácia da limpeza urbana e a zonas de convergências que influenciam o acúmulo dos resíduos em determinados

locais, além da forte ação turística e comercial característicos desta região (ANDRADE NETO, 2014).

Mesmo o resultado obtido pelo CCI tenha classificado as praias como muito limpas, foi possível identificar e rastrear os resíduos mais acometidos por cada área. Esses dados podem contribuir com o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) de Aracaju, visto que em todos os ODS que se relacionam com essa problemática, a cidade apresenta apenas 47% dos indicadores atendidos (IDSC, 2024).

Além disso, a presença desses materiais descartáveis evidencia possíveis fragilidades na legislação vigente, como o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Sergipe (Lei nº 8.634/24), que define como obrigações do estado promover a educação ambiental, o uso sustentável e racional dos recursos naturais, e a proteção dos ecossistemas costeiros. Existe também um projeto de lei (PL 4186/2020), aprovado pela câmara, que visa proibir a fabricação e comercialização de produtos plásticos de uso único em território nacional.

Embora as praias tenham sido consideradas como muito limpas pelo método CCI, foi observado o descarte inadequado por usuários como importante fonte geradora dos resíduos acumulados nas praias. É necessário investir em educação, levar a informação à população, instituir leis, ou aumentar a fiscalização das existentes de forma a cumprir e fazer cumprir as determinações que tratem da gestão de resíduos sólidos e façam a sociedade, comerciantes e indústrias atender e se adequar ao que for estabelecido.

5.2 Microplásticos

Ao final das duas coletas, após análises das areias, foram identificados 438 microplásticos distribuídos entre as faixas de areia e de vegetação. A maior quantidade de MPs foi encontrada nas areias da vegetação com 266 itens, quando comparada a faixa de areia que apresentou um total de 172 (Figura 12).

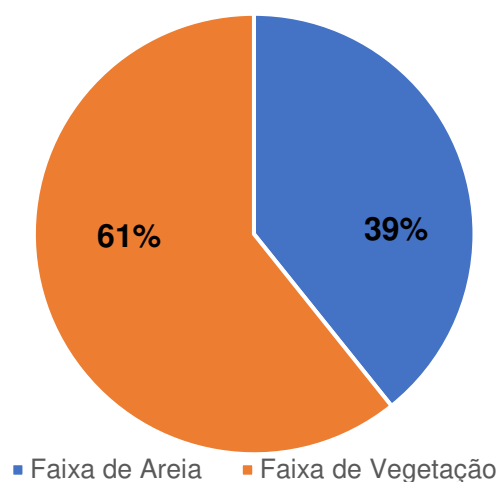


Figura 12 – Percentual da quantidade de MPs identificados nas areias das faixas de coleta das praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

A predominância dos MPs na faixa da vegetação, coincide com o resultado obtido na análise realizada com os macroplásticos e, também, com o número de fragmentos macros encontrados, principalmente nesta faixa. A distribuição dos MPs analisados individualmente em cada praia, reforça o que foi observado com relação aos resíduos macro, especialmente para a praia do Viral (Figura 13). O fato dessa praia ter tido a maior quantidade em massa de resíduos macroplásticos (8.943 g), entende-se que, o resultado obtido para o total de MPs encontrados (140 itens) seja decorrente da degradação de todo esse material acumulado por mais tempo.

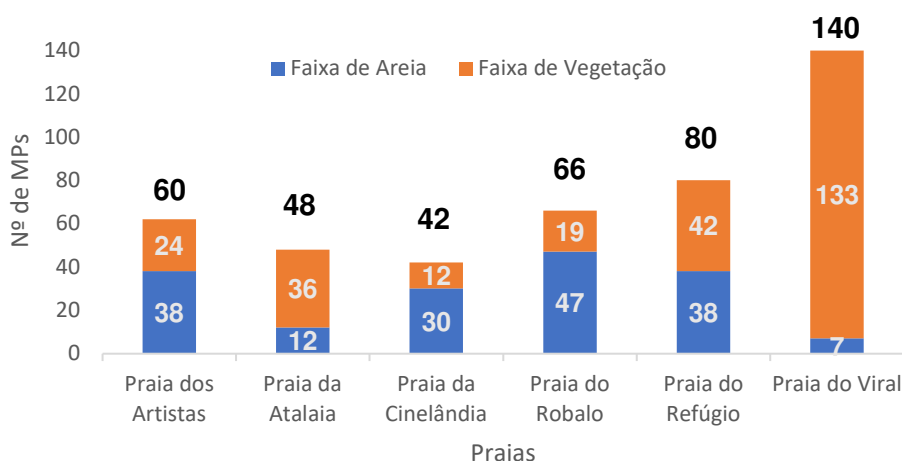


Figura 13 – Número de MPs encontrados na areia de cada praia (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

Observando as datas específicas das coletas realizadas (12 no total, sendo 2 em cada praia) no período outubro/2023 a novembro/2024, também foi considerada a

precipitação pluviométrica mensal, onde foram registradas uma maior concentração de chuvas nos meses de fevereiro, março e abril de 2024, para análise da quantidade de MPs encontrados (Figura 14).

Conforme dados obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em fevereiro, o total de chuva na estação meteorológica automática (A409) de Aracajú (SE) foi de 109,4mm. Esse valor é 64,0% acima da média climatológica (1991-2020) da estação convencional (83096) da capital sergipana, que é de 66,7 mm.

Em março, o total de chuva na estação meteorológica automática de Aracajú (SE) foi de 89,4 mm. Esse valor é 22% acima da média climatológica (1991-2020) da estação convencional (83096) da capital sergipana, que é de 73,3 mm. Já em abril, o total de chuva na estação meteorológica automática (A409) de Aracajú (SE) foi de 323,8mm. Esse valor representa 110% acima da média climatológica (1991-2020) da estação convencional de Aracajú (83096), que é de 153,9 mm.



Figura 14 – Resumo gráfico da associação das datas ds coletas, precipitação mensal e número de MPs encontrados na areia de cada praia (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

Apesar de Sergipe ter seu período chuvoso compreendido entre os meses de abril a agosto (ALVARES *et al.*, 2013), o mês de fevereiro de 2024 registrou uma concentração acima da média (109,4 mm), além da ocorrência de fortes ventos neste período (INMET, 2024). Comparando-se as duas coletas realizadas em cada praia, observou-se que no período de maior precipitação a quantidade de MPs foi maior, com exceção da praia do Viral. Apesar dessa observação, não podemos afirmar que exista

uma influência da precipitação com relação a poluição por MPs, pois foram realizadas uma coleta em cada período. Para tanto, seria necessário dar continuidade a estudos de forma a obter uma quantidade de dados suficientes para este tipo de avaliação.

Embora o mês de abril dê início a época de chuvas e tenha registrado mais precipitação acumulada (323,8 mm), as coletas realizadas que tiveram maior quantidade de MPs se concentraram no mês de março (52, 59 e 142 MPs). O maior valor encontrado de MPs (142 itens) foi registrado na Praia do Viral e pode ter tido influência do Rio Vaza-Barris. Essa análise foi constatada por Rangel-Buitrago *et al.*, (2021) onde eles afirmam que altas densidades de detritos plásticos de diversos tamanhos podem chegar as praias, especialmente em função de rios quando sua vazão é intensificada pelos eventos de chuvas.

Santos *et al.*, (2020) também retratam a contribuição de corpos hídricos (Rio Parapuça e Rio Sapucaia) para a deposição de resíduos marinhos nas praias de Lagoa Redonda e em Pirambu. Maiores concentrações de MPs também foram observadas por Santos, (2023) no mês de menor precipitação (março) em praias urbanizadas (Aruana, Atalaia e Abaís), porém, já nas praias da área de proteção integral (Pirambu e Lagoa Redonda) o resultado foi maior no mês de maio, considerado mais chuvoso na pesquisa.

A fim de identificar a concentração de MPs nestas praias, foi aplicado o método do Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) (Tabela 4).

Tabela 4 - Índice de Poluição por Microplásticos (IPM) encontrado nas praias do: Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral, no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

Praias	IPM – FA (itens.m ⁻²)	IPM – FV (itens.m ⁻²)	IPM Total (itens.m ⁻²)	Classificação
Artistas	7,6	4,8	6,2	AM
Atalaia	2,4	7,2	4,8	BA
Cinelândia	6	2,4	4,2	BA
Robalo	9,4	3,8	6,6	AM
Refúgio	7,6	8,4	8	AM
Viral	1,4	26,6	14	AM
Total				

Legenda: Faixa de areia (FA); Faixa de vegetação (FV).

Número total de itens: Somatório dos itens coletados nas praias.

Área total: 2.000m² x 2 faixas x 2 coletas = 8.000m².

Legenda: PMB=Presença muito baixa (0-2); BA=Baixa Abundância (2-5); AM=Abundância Moderada (5-15); AA=Alta Abundância (15-25); AMA=Abundância Muito Alta (>25).

De acordo com o IPM, o resultado obtido para o Viral equivale a uma concentração de 14,0 itens.m⁻², coincidindo com o obtido por Maynard *et al.*, (2021) que também encontrou maior concentração de MPs nesta praia (30,4 itens.m⁻²),

quando comparada a outras do estudo. A praia da Cinelândia permanece sendo o local com menor quantidade de resíduos (42) equivalente a uma concentração de 4,2 itens.m⁻² (baixa abundância). O IPM classificou 4 (Artistas, Atalaia, Cinelândia e Robalo) das 6 praias estudadas com abundância moderada de MPs, no entanto, segundo Silva (2016), resultados de concentração de MPs nas amostras de areia, principalmente, em praias urbanizadas, podem ser subestimados caso haja muitos frequentadores na praia, já que os MPs podem ser soterrados para camadas mais profundas, além da realização frequente da limpeza das que podem removê-los.

As praias arenosas têm sido o foco principal de estudos que avaliam a abundância de MPs, entretanto, a falta de padronização de metodologias usadas em estudos no Brasil e no mundo e as unidades de medidas utilizadas pelos autores dificulta a comparação de resultados entre lugares diferentes (CASTRO *et al.*, 2020). Além disso, a escolha dos locais para realizar a avaliação de poluição por MPs em praias de regiões costeiras, representa um fator crítico na determinação do resultado final (KIM *et al.*, 2015).

De acordo com Hidalgo-Ruz e Thiel (2013), essa falta de uniformidade entre os estudos explica por que a distribuição de MPs nas praias ainda é pouco compreendida, e há necessidade de examinar sistematicamente zonas de acumulação de MPs. Uma vez identificados, os MPs foram classificados quanto ao formato, sendo 87% em forma de fragmento, e, quanto a cor, onde o branco representou 69% (Figuras 15, 16 e 17).

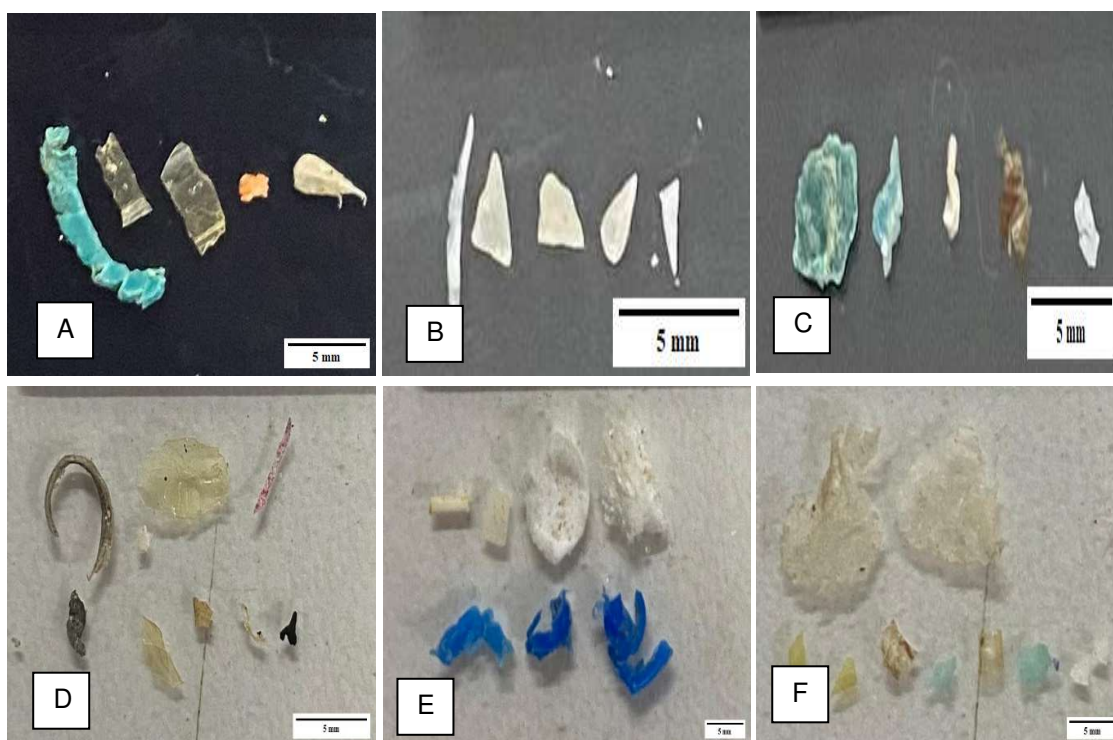


Figura 15 – Identificação dos MPs através do microscópio estereoscópico, quanto o formato e a cor. Praia dos Artistas (A); Praia de Atalaia (B); Praia da Cinelândia (C); Praia do Robalo (D); Praia do Refúgio (E) e Praia do Viral (F).

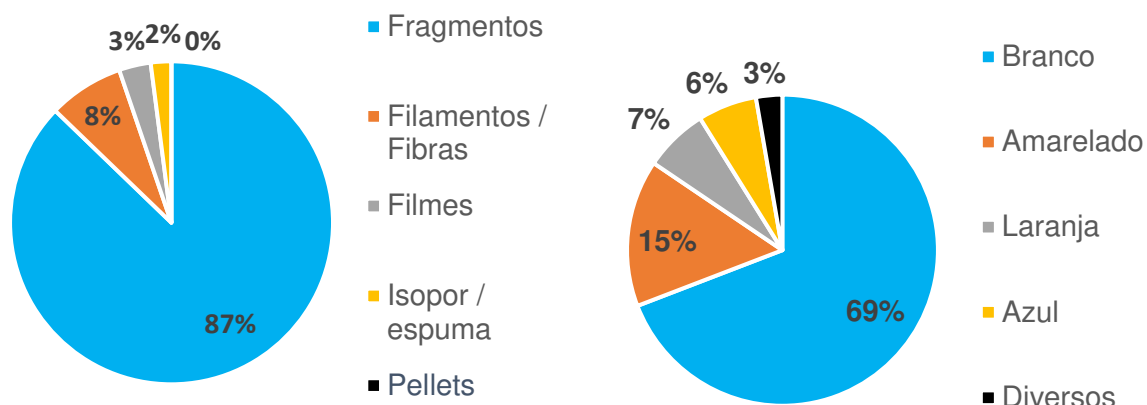


Figura 16 – Classificação dos formatos dos MPs encontrados na areia das praias (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE. / Figura 17 – Classificação das cores dos MPs encontrados na areia das praias (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Refúgio, Robalo e Viral), no período de out/23 a abr/24, em Aracaju/SE.

Resultados similares também foram encontrados nas praias de Santos, onde prevaleceu fragmentos de cores brancas e transparentes (MANZANO, 2009), assim como nas águas do Atlântico Sul (IVAR DO SUL E COSTA, 2013). Outros resultados obtidos em praias de Sergipe realizados por Santos (2023) e Maynard *et al.*, (2021) também se assemelham com esse estudo.

Contrariamente, a presença de fragmentos entre os MPs não foi predominante em estudos realizados nas praias do Caribe Sul da Costa Rica (22%), nas praias da Costa Algarvia, em Portugal (7%) e nas praias da Ilha Grande, litoral sul fluminense (24%) (MADUREIRA; LEONOR; MACEDO, 2020).

A cor amarelada, que foi a segunda cor mais encontrada, pode estar associada a descoloração causada pelo intemperismo. Possivelmente estas partículas tenham sido originadas da cor branca. O amarelamento/descoloração são indícios de um longo período de permanência do plástico no ambiente (envelhecimento), resultante, principalmente da foto-oxidação (GESAMP, 2019). Além disso, o envelhecimento dos MPs pode determinar o transporte e a transformação das partículas no ambiente, assim como suas interações com agentes contaminantes (LUO *et al.*, 2022).

A relação entre MPs com coloração envelhecida e sua tipologia foi observada em estudo onde observou-se que 90% destes MPs são do tipo fragmentos.

(PIRSAHEB; HOSSINI; MAKHDOUMI, 2020). Porém, embora a cor amarelada tenha representado 67% do resultado, não há relação de predominância referente aos formatos dos MPs até o momento.

Amostras dos possíveis microplásticos foram submetidas à leitura através do método de espectroscopia pelo Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para encontrar sua identidade química. Entre as leituras realizadas foi possível identificar espectros semelhantes ao polietileno e ao polipropileno, que foram os tipos de plásticos mais encontrados nos resíduos coletados. Em comparação com o espectro demonstrado por Aud (2021), observou-se semelhança com o polímero de polipropileno (PP) (Figura 18). Esta identidade química foi encontrada em amostras de todas as praias do estudo.

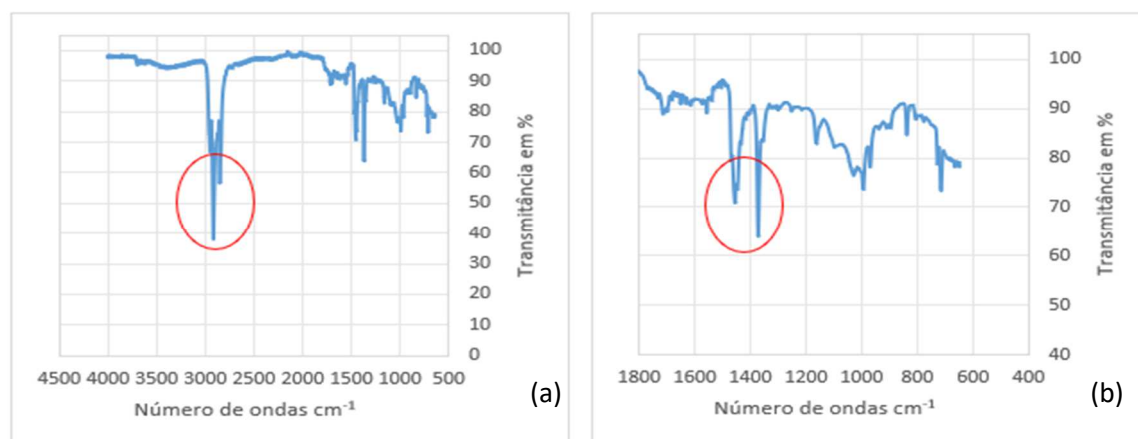


Figura 18 – Espectro de infravermelho de amostra de PP na região de 4500 a 500 cm^{-1} (a) e ampliação do espectro na região de 1800 cm^{-1} (b) encontrada na areia da praia do Robalo em Aracaju/SE. Fonte: Autoria própria (2024).

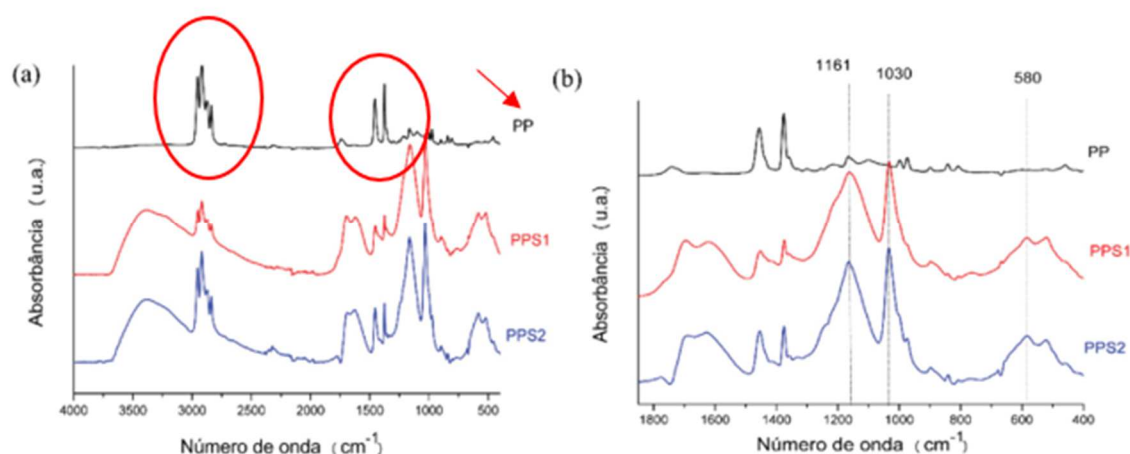


Figura 19 – Espectro de infravermelho das amostras de PP, na região de 4000 a 400 cm^{-1} (a) e ampliação do espectro na região de 1850 cm^{-1} (b). Fonte: Aud, (2021).

De acordo com por Aud (2021), as bandas características do polipropileno estão presentes no espectro apresentado na Figura 19. Dentre elas, destaca-se a

banda que aparece na região de 2700–3000 cm^{-1} devido ao estiramento C–H de grupos –CH–, –CH₂– e –CH₃. Essas características também foram apontadas por Smith (2021), onde ele demonstra que o PP é formado a partir do monômero onde o C = C e reage para formar cadeias com picos de estiramento de CH em 2956 e 2875 (A), picos de estiramento de CH em 2921 e 2840 (B) e o guarda-chuva do grupo metil modo em 1377(C) (Figura 20a). Observação semelhante foi feita por Fang *et al.* (2012) ao atribuir através do FTIR picos no número de ondas para determinação do PP conforme Figura 20b.

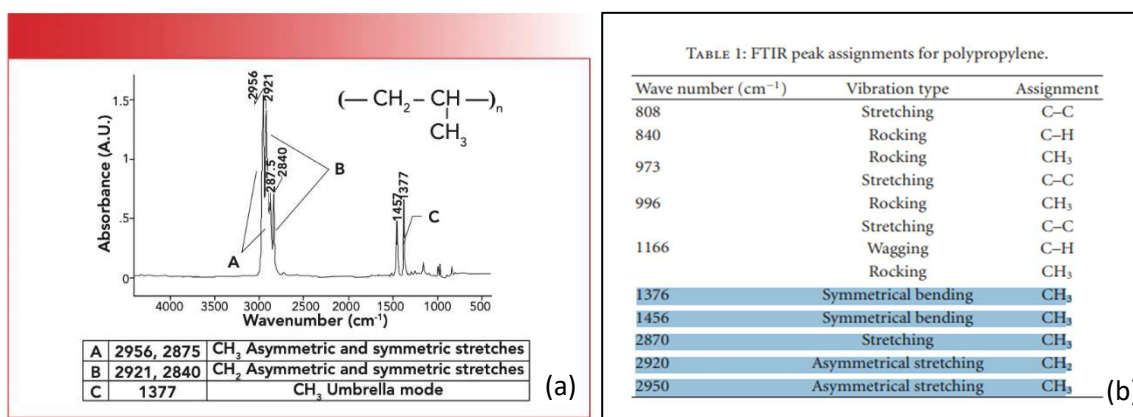


Figura 20: Estrutura química através do espectro de infravermelho e os picos atribuídos ao polipropileno (a); Atribuições do pico do FTIR para propileno (b). Fonte: Smith, 2021; Fang *et al.*, (2012).

Algumas amostras, após leitura do FTIR, assemelharam-se com o polietileno (PE) (Figura 21a). Essa identidade química pode ser observada nos espectros de amostras da costa de Tamil Nadu (Índia), onde são mostrados os picos de absorção nos números de onda 718–730 cm^{-1} , 1450–1471 cm^{-1} e 2849–2960 cm^{-1} que são devidos ao alongamento assimétrico e simétrico de CH_2 , deformação por flexão e deformação por balanço (KARTHIK *et al.*, 2018) (Figura 21b).

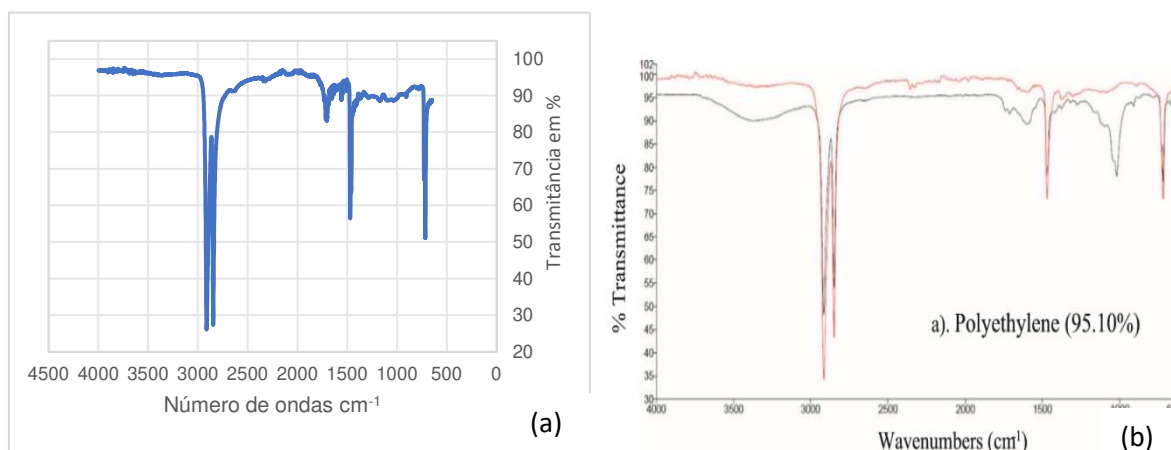


Figura 21 – Espectro de infravermelho encontrado em amostras de areia da

praia do Refúgio, Aracaju (SE), Brasil semelhante ao PE (a) e amostras da costa de Tamil Nadu, Índia com 95,10% de semelhança ao PE (b). Fonte: Autoria própria e Karthik *et al.*, (2018).

Este resultado corrobora com estudo realizado por Maynard *et al.* (2021), onde foram encontrados espectros semelhantes ao PE, em amostras de uma das praias de sua pesquisa (Regência/ES) (Figura 22a). Este também foi o polímero mais encontrado por Tiwaria *et al.* (2019) em amostras de praias da costa indiana, onde 43% dos MPs lidos pelo FTIR foram semelhantes ao PE (Figura 22b).

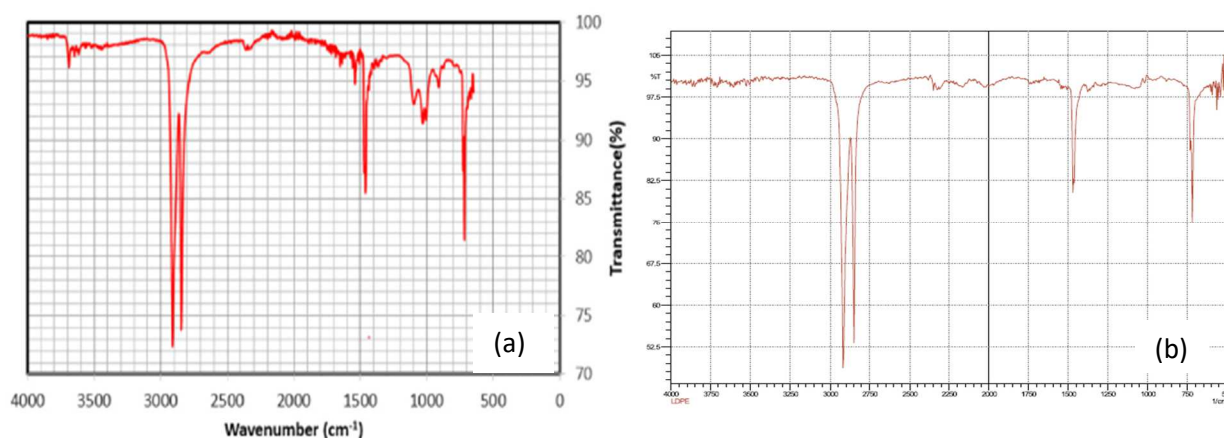


Figura 22 – Espectro de infravermelho encontrado em amostras da praia de Regência (ES), Brasil (a) e de amostras da Costa indiana, com 43% de semelhança com o PE (b). Fonte: Maynard *et al.*, (2021) e Tiwaria *et al.*, (2019).

6. CONCLUSÃO

Diante da quantidade de macro e microplásticos encontrados nas praias de Aracaju, percebe-se o descarte inadequado de resíduos, principalmente na faixa de vegetação, como uma das principais fontes geradoras da poluição por plásticos identificadas nas praias deste estudo. Mesmo as praias sendo classificadas como muito limpas, a grande massa de resíduos coletados, principalmente nas praias mais distantes do centro urbano (Refúgio e Viral), retrata uma preocupação quanto a necessidade de melhorias na gestão de resíduos sólidos e medidas socioeducativas para a população local e turistas sobre o uso consciente dos plásticos. Além disso a grande concentração de microplásticos constatada em todas as praias, ressalta a importância dessas ações.

A variedade de materiais encontrados, principalmente fragmentos macros, embalagens e copos, demonstra uma vulnerabilidade na zona costeira da capital sergipana, quanto ao conhecimento, ações e fiscalização dessas áreas, visto que vai de encontro a algumas legislações vigentes, fazendo-se necessário fomentar ações mitigadoras no combate ao cenário da poluição plástica. Embora não haja uma padronização metodológica para analisar a ocorrência de microplásticos, a predominância dos fragmentos macros entre os resíduos, pode ter contribuído na geração de MPs, em que, na sua maioria, foram identificados com formato de fragmentos e na cor branca.

O polietileno e o polipropileno foram os polímeros mais encontrados entre os macros, aproximadamente 50% do total. Já para os microplásticos, devido ao fato de apenas 10% dos itens terem tido sua identidade química observada pelo FTIR, optou-se em analisar apenas os espectros gerados que se assemelharam com o polipropileno, sendo interessante a continuação de outros estudos para uma análise mais ampla dos demais resultados obtidos.

Espera-se que esta avaliação venha a fornecer informações relevantes sobre o cenário da poluição plástica em zonas costeiras, contribuir com ações definidas nos ODS, a fim de impulsionar o atendimento aos indicadores, que, atualmente, encontram-se com o índice baixo de desenvolvimento. Além disso, a identificação da ocorrência de resíduos plásticos, nas formas macro e micro, e suas áreas de concentração, possibilita direcionar novos estudos capazes de analisar o comportamento dos plásticos associados às suas possíveis fontes geradoras, abundância, tempo de degradação, conhecimento da sociedade e impactos ao ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ABELOUAH, M.R.; BEN-HADDAD, M.; RANGEL-BUITRAGO, A. A. N. Marine litter in the Central Atlantic coast of Morocco. *Ocean Coast. Manag.* 2021; 214; 105940.
- ABRELPE. Breve Panorama De Ações De Combate Ao Lixo No Mar: Brasil e Santos (SP). 2019.
- ABNT NBR 13230: 2008. Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis – Identificação e Simbologia.
- AHMED, R. HAMID, A. K.; KREBSBACH, S. A.; HE, J. Z. WANG, D. Critical review of microplastics removal from the environment. *Chemosphere* 2022; 293.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2013; 22 (6): 711–728.
- AKARSU C.; SONMEZ V. Z.; ALTAY M. C.; PEHLIVAN T.; SIVRI N. The spatial and temporal changes of beach litter on Istanbul (Turkey) beaches as measured by the clean-coast index. *Marine Pollution Bulletin* 2022; 176:113407.
- ANDERSON, J.C.; PARQUE, B.J.; PALACE, V.P. “Microplásticos em ambientes aquáticos: Implicações para o ecossistema canadense”. *Poluição ambiental* 2016; 218: 269-280.
- ANDRADES, R.; PEGADO, T.; GODOY, B. S.; REIS-FILHO, J. A.; NUNES, J. L. S.; GRILLO, A. C.; MACHADO, R. C.; SANTOS, R. G.; DALCIN, R. H.; FREITAS, M. O.; KUHNEN, V. V.; BARBOSA, N. D.; ADELIR-ALVES, J.; ALBUQUERQUE, T.; BENTES, B.; GIARRIZZO, T. Anthropogenic litter on Brazilian beaches: Baseline, trends and recommendations for future approaches. *Marine Pollution Bulletin* 2020; 151: 110842.
- ANDRADE NETO, G.F. Ocorrência, Distribuição e Grau de Poluição por Pellets, Lixo de Praia e Lixo Bentônico nas Praias do Município de Salvador, Bahia, Brasil. [Dissertação]. 2014.
- ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 2011; 62 (8): 1596–1605.
- ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2009; 364,1977–1984.
- ANJOS, M. W. Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju-SE.,277 f., Tese (Doutorado em Geografia) – Lisboa: Universidade de Lisboa. 2017.
- ARACAJU. 2012 [acessado em 3 set 2024]. Disponível em: <https://www.aracaju.se.gov.br>
- ARAÚJO, M.C.B.; SILVA-CAVALCANTI, J.S. Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 2016; 10 (5): 74-81.

ARTHUR, C.; BAKER, J.; BAMFORD, H. (Eds.). "Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris". *University of Washington Tacoma* 2009; p. 9– 11.

AUD, B. N. Modificação química do polipropileno através da introdução de grupos sulfônicos para aplicação como catalisador em reações de esterificação, visando a produção de biodiesel. [Tese]. Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia; 2022.

ALKALAY, R.; PASTERNAK, G.; ALON, Z. Clean-coast index – a new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management*. 2007: 50; 352-362.

AUTA, H.S.; EMENIKE, C.U.; FAUZIAH, S.H. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International* 2017; 102: 165-176.

BAULCH, S.; PERRY, C.; Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. *Mar. Pollut. Bull* 2014; 80: 210–221.

BEN-HADDAD, M.; ABELOUAH, M. R.; HAJJI, S.; RANGEL-BUITRAGO, N.; HAMADI, F.; ALLA, A. A. Microplastics pollution in sediments of Moroccan urban beaches: The Taghazout coast as a case study. *Marine Pollution Bulletin* 2022; 180: 113765.

BESLEY, A.; VIJVER, M. G.; BEHRENS, P.; BOSKER, T. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin* 2017; 114 (1): 77–83.

BRASIL. Resolução Nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova como parâmetro básico para análise dos estágios sucessionais de vegetação de restinga [Internet]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0261-300699.PDF>.

BRASIL. Lei Nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências [online]. 2006 [acessado 3 abr 2024]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; e dá outras providências. [online]. 2012 [acessado em 4 abr 2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

BRASIL. PL Nº 4.186, de 12 de agosto de 2020. Dispõe sobre a proibição da fabricação e comercialização de produtos plásticos de uso único. [online]. 2020 [acessado em 4 abr 2024]. Disponível em: <https://www.camara.leg.br>.

BROWNE, M.A.; GALLOWAY, T.S.; THOMPSON, R.C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental science & technology* 2011; 44 (9): 3404-3409.

CARVALHO, D.G.; NETO, J.A.B. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management* 2016;128:10-17.

CARVALHO, D.G. Avaliação espaço-temporal de microplásticos em praias do leste

do estado do Rio de Janeiro, Brasil. [Tese]. Rio de Janeiro. Universidade Federal Fluminense-Instituto de Geociências Departamento de Geologia e Geofísica Marinha-Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra; 2022.

CASTRO, R.O.; SILVA, M.L.; MARQUES, M.R.C.; ARAÚJO, F.V. Avaliação de microplásticos na Enseada de Jurujuba, Niterói, RJ, Brasil, área de cultivo de mexilhões. *Marine Pollution Bulletin*; 2016. 110 (1), 555-558.

CASTRO, R.O.; SILVA, M.L.; MARQUES, M.R.C.; ARAÚJO, F.V.. Spatio-temporal evaluation of macro, meso and microplastics in surface waters, bottom and beach sediments of two embayments in Niterói, RJ, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 2020;160: 111537.

CHESHIRE, A.; ADLER, E.; BARBIÈRE, J. *UNEP/IOC guidelines on survey and monitoring of marine litter. Nairobi*, 2009.

COMISSÃO EUROPÉIA. Orientação sobre a monitorização do lixo marinho nos mares europeus. Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo 2013; 1-128.

COSTA, M.F.; SUL, J. A. I.; SILVA-CAVALCANTI, J.S.; ARAÚJO, M.C.B; SPENGLER, A.; TOURINHO, P.S. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental monitoring and assessment* 2010; 168: 299-304.

COSTA, J. P. Micro and nanoplastics in the environment: research and policymaking. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018; (1): 12-16.

COSTA, H.; GIL, J.; NASCIMENTO, E.; TURRA, A.; BOUÇAS, D.; MARQUES, N.; SOUTO, J. Plásticos de uso único no turismo costeiro: um debate urgente. *Turismo, Sustentabilidade e COVID-19: entre incertezas e esperanças*. 2022; 237-260.

DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística Sem Matemática para Psicologia-7*. Penso Editora, 2018.

DRIEDGER, A.G.J.; DURR, H.H.; MITCHELL, K.; CAPPELLEN, P.V. Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: A review. *Rev. J.Gt Lakes* 2015; 41: 9-19.

ESPINOSA, C.; ESTEBAN, M. A.; CUESTA, A. Dietary administration of PVC and PE microplastics produces histological damage, oxidative stress and immunoregulation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, v. 95, p. 574-583, 2019.

FANG J.; ZHANG, L.; SUTTON, D.; WANG, X.; LIN, T. Needlelessmelt electro spinning of polypropylene no fibres, *Journal of nanomaterials*, 2012;1-9.

FINKELSTEIN, M.E; GRASMAN, K.A; CROLL, D.A; TERSHY, B.R; KEITT, B.S; JARMAN, W.M; SMITH, D.R. Alteração da função imune associada a contaminantes em albatroz-de-patas-pretas (*Phoebastria nigripes*), um predador do Pacífico Norte. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 2007: 26 (9), 1896-1903.

FRIAS, J. P.G.L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin* 2019; 138:145-147.

GALL, S.C.; THOMPSON, R.C. The impact of debris on marine life. *Marine pollution bulletin* 2015; 92 (1-2): 170-179.

GERCO SE. *Versão final do Plano de Gerenciamento Costeiro do estado de Sergipe*. Sergipe, 2019.

GESAMP. Fontes, destino e efeitos dos microplásticos no ambiente marinho: uma avaliação global. Organização Marítima Internacional, Londres, Reino Unido, 2015; 1-98.

GESAMP. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. *GESAMP Reports Stud* 2019; 99: 130.

GIBSON J.J. The Ecological Approach to Visual Perception. 1o ed. *Psychology Press & Routledge Classic Editions*; 1986.

HARDESTY, B.D; HOLDSWORTH, D.; REVILL, A.T; WILCOX, C. A biochemical approach for identifying plastics exposure in live wildlife. *Methods in Ecology and Evolution*. 2015; 6: 92-98.

HIDALGO-RUZ, V.; THIEL, M. Distribuição e abundância de pequenos detritos plásticos em praias do Pacífico SE (Chile): um estudo apoiado por um projeto de ciência cidadã. *Marine environmental research* 2013; 87:12-18.

HSIEH, S. L; WU, Y.C; XU, R. Q; CHEN, Y. T; CHEN, C.W; SINGHANIA, R. R; DONG, C.D. Effect of polyethylene microplastics on oxidative stress and histopathology damages in *Litopenaeus vannamei*. *Environmental pollution*, 2021; 288, 117800.

HUANG, D. LI, X.; OUYANG, Z.; ZHAO, X.; WU, R.; ZHANG, C. The occurrence and abundance of microplastics in surface water and sediment of the West River downstream, in the south of China. *Science of the total environment* 2021; 756: 143857.

HWANG, S.; KIM, J. United Nations and the Sustainable Development Goals – A Handbook for Youth. United Nations ESCAP East and North-East Asia Office, 2017.

IBGE. Cidades – Sergipe. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022 [acessado em 3 jun 2024]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/itaporanga-dajuda/panorama>.

IDSC. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades. 2024 [acessado em 4 set 2024]. Disponível em: <https://cidadessustentaveis.org.br>.

INMET. Agritempo - Gráfico - SE. 2024. Agritempo: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. [acessado em 22 set 2024]. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Grafico/index.jsp?siglaUF=SE>.

IVAR DO SUL, J. A.; SPENGLER, A.; COSTA, M. F. H., there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). *Marine pollution bulletin*. 2009; 58 (8):1236-1238.

IVAR DO SUL, J. A; COSTA, M. F. Plastic pollution risks in an estuarine conservation. 2013. *Journal of Coastal Research*, Special Issue N° 65.

KARAMI, A.; GOLIESKARDI, A.; CHOO, C. K.; LARAT, V.; KARBALAEI, S.; SALAMATINIA, B. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of The Total Environment*. 2018; 612: 1380–1386.

KARTHIK, R.; ROBIN, R. S.; PURVAJA, R.; GANGULY, D.; ANDAVELU, I.; RAGHURAMAN, R.; RAMESH, R. Microplásticos ao longo das praias da costa sudeste da Índia. *Ciência do Meio Ambiente Total*. 2018; 645: 1388-1399.

KASAVAN, S.; YUSOFF, S.; Fakri, M. F. R.; SIRON, R. Plastic pollution in water ecosystems: A bibliometric analysis from 2000 to 2020. *Journal of Cleaner Production*, 2021; 313: 127946.

LEONOR, D.A.S. Micro plásticos em águas e sedimentos da costa algarvia. [DISSERTAÇÃO]. Portugal: Universidade NOVA de Lisboa; 2020.

LINS-SILVA, N.; MARCOLIN, C.R.; KESSLER, F.; SCHWAMBORN, R. A fresh look at microplastics and other particles in the tropical coastal ecosystems of Tamandaré, Brazil. *Marine Environmental Research*. 2021; 169: 1-10.

LÖDER, M. G. J.; GERDTS, G. Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics - A Critical Appraisal. In M. Bergmann et al. (eds.): *Marine Anthropogenic Litter*. 2015:201-227.

LUSHER, A.L.; MCHUGH, M.; THOMPSON, R.C.; 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 2013; 67, 94-99.

LUO, H.; LIU, C.; HE, D.; XU, J.; SUN, J.; LI, J.; PAN, X. Comportamentos ambientais de microplásticos em sistemas aquáticos: Uma revisão sistemática sobre degradação, adsorção, toxicidade e biofilme em condições de envelhecimento. *Journal of Hazardous Materials*. 2022: 423, 126915.

MACEDO, A.V. A influência da dinâmica e dos diferentes usos na distribuição e origem de microplásticos no litoral da Ilha Grande, Angra dos Reis, (RJ). [Dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2020.

MADUREIRA, E.A.L. Caracterização da poluição por microplásticos no litoral de Limón, Caribe Sul da Costa Rica, como subsídio à gestão costeira. [Dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade do estado do Rio de Janeiro; 2020.

MANZANO, A.B. Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil. [Tese]. Universidade de São Paulo; 2009.

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. *NOAA Technical Memorandum*. 2015:39-48.

MAYNARD, I.F.N.; BORTOLUZZI, P.C.; NASCIMENTO, L.M.; MADI, R.R.; CAVALCANTI, E. B.; SILVA A.L.; JERALDO, V.L.S.; MARQUES, M.N. Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast. *Science of The Total Environment* 2021; 771.

MONTAGNER, C.; DIAS, M.; PAIVA, E.; VIDAL, C. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova*, 2021 [acessado em 01 jun 2024]. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.

NASCIMENTO, G.D.D.; PEREIRA, A.; BRITO, G.R.; KOLESNIKOVAS, C.K.; SERAFINI, P.P. Prevalência e tipos de plásticos em albatrozes e petréis (Aves: Procellariiformes): Recorte espacial da costa Sudeste e Sul do Brasil, de 2015 a 2019. 2022.

NEVES, R.C.; SANTOS, L.A.S.; OLIVEIRA, K.S.S.; NOGUEIRA, I.C.M.; LOUREIRO, D.V.; FRANCO, T.; FARIAS, P.M.; BOURGUINON, S.N.; CATABRIGA, G.M.; BONI, G.C.; QUARESMA, V.S. Análise qualitativa da distribuição de lixo na praia da barrinha (Vila Velha – ES). *Gestão Costeira Integrada* 8p; 2011.

NEVES, D.F.P. Lixo marinho nos fundos oceânicos e a sua ingestão por peixes da costa portuguesa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. [Dissertação]. Universidade Nova de Lisboa, Portugal. 2013.

NOBRE, F.S.M.; SANTOS, A.A.; NILLIN, J. Records of marine litter contamination in tropical beaches (Sergipe, Brazil) with different uses. *Marine Pollution Bulletin* 2021; 170: 112532.

OLIVEIRA, A.S.; COSTA, L.L.; LIMA, J.S.; COSTA, I.D.; MACHADO, P.M.; ZALMON, I.R. Contaminação por microplásticos em praias arenosas no Brasil: Uma revisão sistemática. *Ecologia Australis* 2023; 27 (1):1-21.

ONU-NAÇÕES UNIDAS. Objetivo do Desenvolvimento Sustentável. [online]. 2024 [acessado em 14 abr 2024]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/14>.

OSPAR (2010) “Commission. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR” *Maritime Area*. London, United Kingdom. 84p.

PFUETZENREUTER, A; VIEIRA, C. V. Avaliação do lixo marinho nas praias do norte da ilha de São Francisco do Sul, SC. *Revista Geama* 2022; 8.1: 4-13.

PIRSAHEB, M.; HOSSINI, H.; MAKHDOUMI, P. Review of microplastic occurrence and toxicological effects in marine environment: Experimental evidence of inflammation. *Process Safety and Environmental Protection* 2020;142: 1-14.

PLASTIC EUROPE: “Plastics – the facts 2016”. In *PlasticsEurope, EuPC*. Brussels: Plastics Europe. 2016.

PLÁSTICO. Produção de Plástico no mundo. *Rev Plástico Moderno*. Ed. 586. [online]. 2022 [acessado 6 jun 2024]. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/producao-de-plastico-no-mundo-impactos-e-solucoes/>.

PRATA, J. C. Effects of spatial and seasonal factors on the characteristics and carbonyl index of (micro) plastics in a sandy beach in Aveiro, Portugal. *Science of the Total Environment* 2020; 709: 135892.

PRATA, J.C.; COSTA, J.P.; LOPES, I.; DUARTE, A.C.; SANTOS, T.R. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the total environment* 2020; 702: 134455.

RANGEL-BUITRAGO, N.; ARROYO-OLARTE, H.; TRILLERAS, J.; ARANA, V. A.; MANTILLA-BARBOSA, E.; GRACIA C., A.; MENDOZA, A. V.; NEAL, W. J.; WILLIAMS, A. T.; MICALLEF, A. Microplastics pollution on colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin* 2021; 170: 112685.

RHODES C. J. Plastic pollution and potential solutions. *Science progress* 2018; 101(3): 207-260.

ROCHA, L. S. Gerenciamento costeiro e estudo de caso da Lagoa da Conceição. 2023. [Dissertação]. Florianópolis, SC. Universidade Federal de Santa Catarina; 2023.

SANTOS, L. C. M. Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, Brasil: uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos manguezais. [Tese]. Universidade de São Paulo; 2010.

SANTOS, A. A.; NOBRE, F. S. de M.; RIBEIRO, F.; NILIN, J. Initial beach litter survey in a conservation unit (Santa Isabel Biological Reserve, Sergipe) from northeast Brazil. *Marine. Pollution Bulletin*, 2020; 153 (111015).

SANTOS, A.A. Ocorrência e impactos de microplásticos no litoral sergipano: Uma abordagem socioambiental. [Dissertação]. Programa de Pós-graduação em desenvolvimento e meio ambiente. Universidade Federal de Sergipe; 2023.

SARRIA-VILLA, R.A.; GALLO-CORREDOR, J.A. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería* 2016; 8 (1): 21-27.

SERGIPE. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Atlas Digital da Secretária de Recursos Hídricos [online]. 2011 [acessado 21 mai 2024]. Disponível em: <https://sedurbi.se.gov.br/portaltrecursososhidricos/#>.

SERGIPE. Lei Nº 8.634, de 27 de dezembro de 2019. Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Sergipe [Internet]. Disponível em: <https://al.se.leg.br>.

SERGIPE. Lei Nº 8.689, de 25 de junho de 2020. Proíbe, no Estado de Sergipe, o fornecimento de canudos confeccionados em material plástico, e dá providências correlatas [Internet]. Disponível em: <https://www.se.gov.br>.

SERGIPE. Meio Ambiente - Adema. 2024 [acessado em 3 set 2024]. Disponível em: <https://www.se.gov.br/noticias/meioambiente/adema>.

SILVA, P.P.G. Contaminação e toxicidade de microplásticos de uma área de proteção marinha costeira. [Dissertação] — Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos; 2016.

SILVA, D. D. C; VIEIRA, H. A. G; ROLIM, V. S; SILVA, W. F; SOUZA, M. G; PAULINO, M.G; SANTOS, M. W. Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres. *Research, Society and Development*. 2021: 10(7), e54310716761-e54310716761.

SILVA, B.D.L.; GIL, J.; NASCIMENTO, E.P.; COSTA, H.A.; PAIXÃO, R. Poluição plástica no litoral brasileiro: percepções de gestores de meios de hospedagem sobre

consumo de descartáveis. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo* 2022; 16: e-2481.

SILVA, R. Objetivo do desenvolvimento sustentável 14: um alerta sobre a poluição plástica e o problema do microplástico nos oceanos do Brasil. *Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy - International Law and Business Review* 2023; 3 (2): 168–191.

SMITH, B.C. The Infrared Spectra of Polymers III:Hydrocarbon Polymers. *Spectroscopy*, 2021; 36: 22-25.

STIFTUNG H. B. *Atlas do plástico: fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos*. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2020.

THOMPSON, R.C.; SWAN, S.H.; MOORE, C.J.; VOM SAAL, F.S. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009; 364 (1526): 1973-1976.

TIWARI, M.; RATHOD, T.D.; AJMAL, P.Y.; BHANGARE, R.C.; SAHU, S.K. Distribution and characterization of microplastics in beach sand from three different Indian coastal environments. *Marine pollution bulletin* 2019;140, 262-273.

TONIN Plásticos e Embalagens. Principais tipos de plásticos e suas características, [online] 2021. [acessado em 06 abr 2024]. Disponível em: <http://www.toniembalagens.com.br>.

UNEP. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi.2016.

UNESCO. Década da ciência oceânica para o desenvolvimento sustentável. [online]. 2021. [acessado em 06 de abr 2024]. Disponível em: <http://unesco.org>.

VELEZ, N. A baseline assessment of beach macrolitter and microplastics along northeastern Atlantic shores. *Marine Pollution Bulletin* 2019; 149: 110649.

WRIGHT, S.L.; ROSE, D.; THOMPSON, R.C.; GALLOWAY, T.S. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Current Biology* 2013; 23 (23): R1031-R1033.

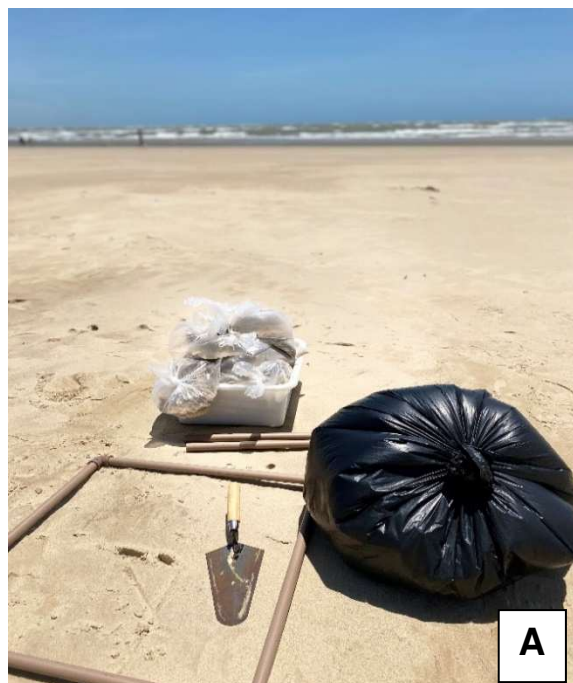
WWF BRASIL. O Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. [online]. 2022 [acessado em 3 maio 2024]. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>.

YOSHIDA, S. A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). *Science* 2016; 351 (6278): 1196-1199.

ZHANG, L.; ZHANG S.; GUO, J.; YO, K.; WANG, Y.; LI, R. Dynamic distribution of microplastics in mangrove sediments in Beibu Gulf, South China: Implications of tidal current velocity and tidal range. *Journal of Hazardous Materials* 2020; 399:122849.

APÊNDICES / ANEXOS

APÊNDICE A – COLETAS DE CAMPO



A: Quadrante 50 cm x 50 cm – coleta de amostras de areia (sacos menores).

B: Coleta de macroplásticos (sacos maiores).

C: Coleta de campo em parceria com os alunos do PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica).

D: Coleta da amostra de areia em camada superficial (quadrante 50cm x 50cm).

APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS NO LABORATÓRIO.



A e B: Identificação de macroplásticos, contagem e separação.

C: Inspeção visual no microscópio estereoscópico para identificação dos microplásticos.



D: Identificação de microplásticos e caracterização quanto ao formato e a cor.

ANEXO 1 – TRABALHO PREMIADO EM 1º LUGAR EM EVENTO REGIONAL.

O presente trabalho de pesquisa participou do XVI Encontro de recursos Hídricos de Sergipe em março de 2024, o qual, juntamente com outros 54 trabalhos submetidos, ganhou o prêmio de melhor trabalho apresentado, sendo convidado a publicar um artigo científico na revista *Scientia Plena*.



Link para acesso:

https://www.se.gov.br/noticias/meioambiente/premiacao_de_trabalhos_academicos_marca_encerramento_do_xvi_encontro_de_recursos_hidricos_em_sergipe



ANEXO 2 – PUBLICAÇÃO DO ARTIGO – ESTUDO DA POLUIÇÃO PLÁSTICA EM PRAIAS DA CIDADE DE ARACAJU, SE, BRASIL, EM 22 DE SETEMBRO DE 2024.



SCIENTIA PLENA
www.scientiaplena.org.br

VOL. 20, NUM. 08

2024

doi: 10.14808/sci.plena.2024.089913

Estudo da poluição plástica em praias da cidade de Aracaju, SE, Brasil

Research about plastic pollution on the beaches in the Aracaju city, SE, Brazil

A. M. D. Monteiro^{1*}; F. J. S. Castro^{1,3}; M. N. Marques^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Tiradentes, 49032-490, Aracaju-SE, Brasil

²Instituto de Tecnologia e Pesquisa da Universidade Tiradentes, 49032-490, Aracaju-SE, Brasil

³Instituto Federal de Sergipe, 49055-260, Aracaju-SE, Brasil

*ayla.dias@gmail.com

(Recebido em 10 de maio de 2024; aceito em 08 de agosto de 2024)

O crescimento da produção mundial de plásticos tem levado ao aumento desses resíduos nas praias como consequência do descarte inadequado. Esse estudo avaliou os resíduos plásticos coletados em seis praias (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio e Viral) situadas na cidade de Aracaju, estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. Foram realizadas duas coletas em cada praia no período de outubro de 2023 a abril de 2024, na faixa de areia (FA) e faixa de vegetação (FV). A área de coleta foi delimitada em 2.000m² a partir do limite da preamar no sentido costa, para FA e a partir do início da vegetação no mesmo sentido, para FV. Foram coletados 2.823 itens, equivalente a 22.298g distribuídos nas FA e FV. A quantidade em massa (12.544g) foi maior na FV. Não houve diferença entre as quantidades de itens encontrados entre as FA e FV. A praia do Viral apresentou maior quantidade em massa (8.943g), enquanto a Cinelândia, a menor (1.147g). Em relação aos itens, as maiores quantidades foram encontradas na Atalaia (590) e Refúgio (572) e a menor na Cinelândia (299), predominando fragmentos, embalagens e copos. A classificação revelou que o poliestireno - PS (23,7%) e polietileno de alta densidade - PEAD (20,6%) foram os mais prevalentes. Os resultados demonstram a necessidade de políticas públicas que tratem especificamente sobre o assunto a exemplo de campanhas educativas sobre o uso consciente dos plásticos e seu descarte adequado. Palavras-chave: educação ambiental, plásticos, litoral.

The growth in global plastic production has led to an increase in this waste on beaches as a result of inadequate disposal. This study evaluated plastic waste collected on six beaches (Artistas, Atalaia, Cinelândia, Robalo, Refúgio and Viral) located in the city of Aracaju, state of Sergipe, Northeast Brazil. Two collections were carried out on each beach between October 2023 and April 2024, on the sand strip (SS) and vegetation strip (VS). The collection area was delimited at 2,000m² from the high tide limit towards the coast, for FA and from the beginning of vegetation in the same direction, for FV. A total of 2,823 items were collected, equivalent to 22,298g distributed in the FA and FV. The mass quantity (12,544g) was higher in FV. There was no difference between the quantities of items found between FA and FV. Viral beach had the highest mass quantity (8,943g), while Cinelândia had the lowest (1,147g). Regarding items, the largest quantities were found in Atalaia (590) and Refúgio (572) and the smallest in Cinelândia (299), predominantly fragments, packaging and cups. The classification revealed that polystyrene - PS (23.7%) and high-density polyethylene - HDPE (20.6%) were the most prevalent. The results demonstrate the need for public policies that specifically address the issue, such as educational campaigns on the conscious use of plastics and their proper disposal.

Key-words: environmental education, plastics, coast.