



INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE
Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente
Campus Araquari

ELISÂNGELA SILVA LOPES RICARDO

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM
MATRIZES AMBIENTAIS DE ÁGUAS MARINHAS SUPERFICIAIS E SEDIMENTO DE AREIA NA
REGIÃO DA PRAIA GRANDE EM SÃO FRANCISCO DO SUL - SC**

Araquari, 2024

ELISÂNGELA SILVA LOPES RICARDO

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM
MATRIZES AMBIENTAIS DE ÁGUAS MARINHAS SUPERFICIAIS E SEDIMENTO DE AREIA NA
REGIÃO DA PRAIA GRANDE EM SÃO FRANCISCO DO SUL - SC**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari*, para obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Ciências Ambientais).

Orientador: Prof. Dr. Überson Boaretto Rossa

Coorientador: Prof. Dr. Amarildo Otávio Martins

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto
Werneck Ribeiro

Araquari, 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

R43a Ricardo, Elisângela Silva Lopes
Análise e Avaliação da Presença de Microplásticos e
Mesoplásticos em Matrizes Ambientais de Águas
Marinhas Superficiais e Sedimento de Areia na região
da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC /
Elisângela Silva Lopes Ricardo; orientador Überson
Boaretto Rossa; coorientador Amarildo Otávio
Martins; coorientador Eduardo Augusto Werneck
Ribeiro. -- Araquari, 2024.
122 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal
Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2024.

Inclui referências.

1. Microplásticos. 2. Sistema de amostragem. 3.
matrizes ambientais. 4. FTIR-ATR. I. Rossa, Überson
Boaretto , II. Martins, Amarildo Otávio . III.
Ribeiro, Eduardo Augusto Werneck . IV.
Instituto Federal Catarinense. . V. Título.

Elisângela Silva Lopes Ricardo

Análise e Avaliação da Presença de Microplásticos e Mesoplásticos em Matrizes Ambientais de Águas Marinhas Superficiais e Sedimento de Areia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC

Esta Dissertação, foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Ambiente e aprovada em sua forma final pelo curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari*.

Data da Defesa: 22/03/2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Überson Boaretto Rossa (Orientador)

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR

Instituição de vínculo: Instituto Federal Catarinense - IFC, Campus Araquari

Prof^a. Dra. Patrícia Devantier Neuenfeldt

Doutora em Química pela Universidade Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Instituição de vínculo: Instituto Federal Catarinense - IFC, Campus São Francisco do Sul.

Prof. Dr. Felipe Zamborlini Saiter

Doutor em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Instituição de vínculo: Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Campus Cariacica.

Suplente:

Prof. Dr. Erik Nunes Gomes

Doutor em Biologia Vegetal pela Universidade de Nova Jersey - Rutgers University

Instituição de vínculo: Universidade de Nova Jersey - Rutgers University



LISTA_ASSINATURAS N° Assinatura folha de aprovação/2024 - LQUIM/BRUS (11.01.13.36)
(N° do Documento: 74)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 09/04/2024 13:48)

FABRICIO MOREIRA SOBREIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CGES/ARA (11.01.02.39)
Matrícula: ###774#6

(Assinado digitalmente em 09/04/2024 09:27)

UBERSON ROSSA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CGES/ARA (11.01.02.39)
Matrícula: ###042#9

Visualize o documento original em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: 74, ano: 2024, tipo:
LISTA_ASSINATURAS, data de emissão: 09/04/2024 e o código de verificação: **b992d45be0**

Aos meus filhos Marcio Jean e Pedro Nilo.

"Em algum lugar, alguma coisa incrível está esperando para ser descoberta."

(Carl Sagan)

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me sustentou todo o tempo, me capacitando a superar todos obstáculos que surgiram nessa trajetória.

Aos meus pais que me instruíram e apoiaram em todos meus projetos de vida, sempre se alegrando com as minhas conquistas.

Aos meus filhos pelo apoio e compreensão neste período de ausências.

Ao meu orientador Professor Dr. Überson Boaretto Rossa, pela confiança, pelo apoio, parceria no desenvolvimento da pesquisa e ensinamentos.

Ao meu coorientador Professor Dr. Amarildo Otávio Martins pelo incentivo e ensinamentos, sempre à disposição em todas etapas, visualizando as potencialidades do projeto, dedicado no desenvolvimento da pesquisa e transmissão de seus conhecimentos; sua participação foi essencial para a realização desse projeto.

Ao coorientador Professor Dr. Eduardo Eduardo Augusto Werneck Ribeiro pelo apoio e colaboração.

Ao Instituto Federal Catarinense, Campus Brusque e Campus Blumenau pela disponibilização do espaço para realização das análises.

A equipe do PPGTA, pela oportunidade e contribuição à formação científica e pessoal.

Ao Freitag Laboratório pelo apoio na realização das análises de identificação dos tipos de polímeros e a parceria do Coordenador de Inovação da Empresa e também colega de mestrado André Ribeiro Prado pelo auxílio na realização dessas análises de identificação.

Aos barqueiros Serge e Adriano que auxiliaram nos procedimentos de amostragens das matrizes ambientais.

Agradeço especialmente ao meu esposo, Márcio Jean Ricardo, pela ajuda, incentivo, e compreensão durante o desenvolvimento do trabalho. Não teria conseguido sem você.

A todas as pessoas que de alguma maneira participaram, contribuíram e estiveram presentes no desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigada!

"O segredo da felicidade não é encontrado buscando o mais, mas no desenvolvimento da capacidade de aproveitar o menos."

(Sócrates)

Resumo

RICARDO, Elisângela Silva Lopes. Análise e Avaliação da Presença de Microplásticos e Mesoplásticos em Matrizes Ambientais de Águas Marinhas Superficiais e Sedimento de Areia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC. 2024. 122p. Professor advisor: Dr. Übersson Boaretto Rossa. Dissertation (Master degree in Science) - Postgraduate Course in Technology and Environment, Research Department, Postgraduate and Innovation, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2024.

Os plásticos descartados inadequadamente no meio ambiente ameaçam a vida de várias espécies de animais, incluindo o ser humano. A ocorrência de partículas de plástico inferiores a 5mm, denominadas Microplásticos (MPs), chamam a atenção devido a seu elevado potencial de dispersão, bem como sua capacidade de bioacumulação e magnificação nos organismos vivos, e apesar da crescente realização de estudos sobre esse tema há muito a ser explorado e compreendido com relação aos impactos e distribuição desses poluentes. Este estudo avaliou a região da Praia Grande, no município de São Francisco do Sul - SC, em relação a ocorrência de MPs e Mesoplásticos (MePs) nas matrizes ambientais envolvendo águas marinhas superficiais e sedimentos de areia de praia bem como desenvolveu uma Rede de Baixo Custo para MPs e MePs para amostragem de águas superficiais, o qual apresentou excelente desempenho durante o processo de amostragem. As amostras de águas superficiais bem como de sedimentos de areias foram avaliadas com relação aos aspectos morfológicos via estereomicroscópio bem como identificação dos tipos de polímeros envolvendo os grupos funcionais foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier acoplada ao módulo de reflectância atenuada total (FTIR-ATR). A concentração de MPs obtida no estudo envolvendo as águas marinhas superficiais foi de 0,01 MPs por m³ e a classificação quanto aos aspectos morfológicos da forma obteve uma predominância da forma fragmento e quanto ao aspecto relacionado a cor o azul foi predominante. Com relação aos tipos de polímeros identificados foram: polietileno, polipropileno, copolímero estireno - butadieno e celulose. A avaliação da ocorrência de MPs e MePs em sedimentos de areias contemplou dois pontos com características heterogêneas quanto à urbanização e à exploração turística. A concentração obtida na área 1 foi de MPs (70,44 partículas m⁻² com relação a área e 7,04 partículas Kg⁻¹ com relação a massa) e MePs (25,11 partículas m⁻² ou 2,51 partículas Kg⁻¹). Na área 2, as concentrações obtidas foram MPs (19,11 partículas m⁻² ou 1,91 partículas Kg⁻¹) e MePs (6,67 partículas m⁻² ou 0,67 partículas Kg⁻¹). Com relação às características morfológicas envolvendo a forma, na Área 1 ocorreu predominância do tipo fragmento envolvendo os MPs e MePs enquanto na Área 2 predominou a forma de linha para MPs e espuma para MePs. Quanto às cores, a cor branca foi predominante em todos os tipos de forma das áreas 1 e 2, com exceção para o MPs da área 1 em forma de linha que predominou a cor azul. Foram realizadas as identificações dos tipos de polímeros em uma seleção de partículas envolvendo 102 MPs e 45 MePs via espectrofotometria (FTIR-ATR). A seleção de MPs apresentou em maior quantidade: polietileno, copolímero estireno-butadieno e polipropileno e os MePs apresentou em maior quantidade: polipropileno, seguindo o polietileno e copolímero estireno-butadieno. Estudos envolvendo a padronização das metodologias de amostragem e análises bem como as unidades de concentração são um desafio a ser superado para que ocorram comparações entre os estudos possibilitando o monitoramento por longos períodos e uma melhor compreensão da distribuição dos MPs e MePs nos ambientes costeiros.

Palavras-chave: polímeros; FTIR-ATR; impacto ambiental; ambiente costeiro.

Abstract

RICARDO, Elisângela Silva Lopes. Analysis and Assessment of the Presence of Microplastics and Mesoplastics in Environmental Matrices of Surface Marine Waters and Sand Sediment in the Praia Grande region in São Francisco do Sul - SC. 2024. 122p. Teacher advisor: Dr. Überson Boaretto Rossa. Dissertation (Master degree in Science) - Postgraduate Course in Technology and Environment, Research Department, Postgraduate and Innovation, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2024.

Plastics inappropriately disposed of in the environment threaten the lives of several species of animals, including humans. The occurrence of plastic particles smaller than 5mm, called Microplastics (MPs), draws attention due to their high dispersion potential, as well as their ability to bioaccumulate and magnify in living organisms, and despite the increasing number of studies on this topic, there is much to be explored and understood regarding the impacts and distribution of these pollutants. This study evaluated the Praia Grande region, in the municipality of São Francisco do Sul - SC, in relation to the occurrence of MPs and Mesoplastics (MePs) in environmental matrices involving surface marine waters and beach sand sediments, as well as developing a Low Cost for MPs and MePs for surface water sampling, which showed excellent performance during the sampling process. Samples of surface waters as well as sand sediments were evaluated with regard to morphological aspects via stereomicroscope as well as identification of the types of polymers involving the functional groups was carried out by infrared spectroscopy with Fourier transform coupled to the total attenuated reflectance module (FTIR -ATR). The concentration of MPs obtained in the study involving surface marine waters was 0.01 MPs per m³ and the classification regarding the morphological aspects of the form obtained a predominance of the fragment form and regarding the aspect related to color, blue was predominant. Regarding the types of polymers identified, they were: polyethylene, polypropylene, styrene-butadiene copolymer and cellulose. The assessment of the occurrence of MPs and MePs in sand sediments included two points with heterogeneous characteristics regarding urbanization and tourist exploitation. The concentration obtained in area 1 was MPs (70.44 particles m² in relation to area and 7.04 particles Kg⁻¹ in relation to mass) and MePs (25.11 particles m² or 2.51 particles Kg⁻¹). In area 2, the concentrations obtained were MPs (19.11 particles m² or 1.91 particles Kg⁻¹) and MePs (6.67 particles m² or 0.67 particles Kg⁻¹). Regarding the morphological characteristics involving the shape, in Area 1 there was a predominance of the fragment type involving MPs and MePs while in Area 2 the line shape predominated for MPs and foam for MePs. As for colors, the white color was predominant in all types of shapes in areas 1 and 2, with the exception of the line-shaped MPs in area 1, which was predominant in blue. The types of polymers were identified in a selection of particles involving 102 MPs and 45 MePs via spectrophotometry (FTIR-ATR). The selection of MPs presented the greatest quantity: polyethylene, styrene-butadiene copolymer and polypropylene and the MePs presented the greatest quantity: polypropylene, followed by polyethylene and styrene - butadiene copolymer. Studies

involving the standardization of sampling and analysis methodologies as well as concentration units are a challenge to be overcome so that comparisons can occur between studies, enabling monitoring over long periods and a better understanding of the distribution of MPs and MePs in coastal environments.

Keywords: polymers; FTIR-ATR; environmental impact; coastal environment.

Lista de Figuras

Figura 1	Aspectos da Rede de Nêuston utilizado para coleta de amostra de águas superficiais com destaque para vista frontal e lateral da Rede de Nêuston e Copos Coletores em PVC e Inox.	25
Figura 2	Dinâmica de funcionamento do amostrador para coleta de microplástico e mesoplástico fixado à rede de Nêuston acoplado à embarcação e vista superior do amostrador em águas marinhas superficiais.	26
Figura 3	Tecnologia de Rede de Baixo Custo para coleta de microplásticos e mesoplásticos em amostra de águas superficiais com copo coletor acoplado. Copo coletor de MPs e MePs em PVC. Vista frontal do amostrador elaborado em madeira Pinus sp. tratada com verniz marítimo acoplado a rede de Nêuston e canos PVC responsáveis pela flutuabilidade.	27
Figura 4	Aspectos do sistema de flutuabilidade em PVC da Rede de Baixo Custo responsáveis pela estabilidade do sistema em águas superficiais. Destaque para as abraçadeiras entrelaçadas entre os canos de PVC para maior resistência.	28
Figura 5	Dinâmica do funcionamento da Tecnologia de Rede de Baixo Custo para microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais de um rio e águas superficiais marinhas.	29
Figura 6	Amostras de águas superficiais marinhas obtidas a partir da utilização da Tecnologia de Rede de Baixo custo condicionadas em frascos de vidro identificados. Aspectos de amostras de águas superficiais descritas pelo protocolo NOAA.	30
Figura 7	Resíduos retidos em peneira de malha 5,6 mm, durante processo de separação descritos pelo protocolo NOAA e resíduos separados a partir de amostras obtidas pela Tecnologia de Rede de Baixo Custo para MPs e MePs.	31

Figura 8	Localização dos pontos de amostragem em águas marinhas do litoral norte de Santa Catarina (Brasil) na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC com destaque para coordenadas e trajeto de navegação e coletas das águas superficiais marinhas.	37
Figura 9	Partículas presentes nas amostras de águas marinhas superficiais retidas nas peneiras de aço inoxidável com malha de 0,3 mm; 1,0 mm e 5,6 mm. Visualização do processo de separação das partículas de MPs por diferença de densidade com utilização da solução de cloreto de zinco (ZnCl ₂).	40
Figura 10	Estereomicroscópio acoplado à câmera e software para tratamento de imagens (A) e fragmentos microplásticos observados com aumento de 40 vezes. (B) polietileno 0,8 mm; (C) 0,2 mm de estireno; (D) polietileno 1,2 mm; (E) polietileno 1,4 mm; (F) polietileno 4,3 mm; (G) polietileno 3,0 mm; (H) 1,7 mm de celulose; (I) 1,8 mm de celulose; (J) polietileno de 1,4 mm; (K) polietileno de 1,9 mm.	41
Figura 11	Visualização do espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) acoplado ao módulo de reflexão total atenuada (ATR). Destaque para manipulação da amostra de MPs sendo inserida no módulo ATR com auxílio de uma pinça histológica para análise.	42
Figura 12	Gráfico representando as proporções de partículas de microplásticos avaliadas quanto aos aspectos morfológicos relacionados à cor e a forma das partículas.	43
Figura 13	Polímeros identificados em amostras de águas marinhas superficiais da região costeira da Praia Grande, São Francisco do sul - SC: polietileno, polipropileno, copolímero de estireno-butadieno e celulose.	44
Figura 14	Espectros de transmitância FTIR - ATR de amostras selecionadas com varredura espectral de 650 a 4000 cm ⁻¹ segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent. polímero de	

	polipropileno (A) com precisão de 0,75%; polímero de polietileno (B) com precisão de 0,93%.	45
Figura 15	Espectros de transmitância FTIR - ATR de amostras selecionadas com varredura espectral de 650 a 4000 cm ⁻¹ segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent. Estireno-butadieno (A) com precisão de 0,82% e polímero de celulose (B) com precisão de 0,94%.	46
Figura 16	Localização dos sítios de amostragem de sedimentos de areia de praia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC e nomeados como Área 1 e Área 2.	53
Figura 17	Visualização dos sítios de amostragens de sedimentos de areia de praia da área 1 e 2 com suas respectivas subdivisões contemplando as faixas de marés alta, intermaré, e maré baixa.	54
Figura 18	Equipamentos para coleta de amostras com destaque para o quadro amostral de madeira com frasco de vidro e pá para coleta em inox. Realização da coleta de amostra na areia superficial. Característica paisagística do sítio de amostragem.....	55
Figura 19	Destaque da separação via tamisação das partículas de tamanho superior a 1 mm. Agitação da amostra de areia com solução saturada de NaCl para procedimento de separação por densidade. Sistema de filtração a vácuo utilizando filtro de vidro com porosidade de 0,7 µm. Filtrados da amostra em triplicata após secagem em estufa.	57
Figura 20	Quantidade de partículas de microplásticos e mesoplásticos coletadas nos sedimentos de areia dos sítios de amostragem das áreas 1 e 2, na região da Praia Grande em São Francisco do Sul – SC.	59

Figura 21	Quantidade total de partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nas diferentes faixas de marés (Alta, Intermediária e Baixa) contemplando as duas áreas de amostragem.	60
Figura 22	Visualização de partículas de MPs com utilização de estereomicroscópio em aumento de 40 vezes (A) e (B), Aspectos de partículas de mesoplásticos (C) e (D) e partículas de mesoplásticos (E) e (F) retidas na peneira de 1mm obtidas na amostras de sedimentos de areia coletadas nas áreas 1 e 2, destacando uma ampla diversidade de formas, cores e tamanhos.	61
Figura 23	Tipos de formas observadas nas partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.	62
Figura 24	Cores observadas nas partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.	63
Figura 25	Relação das cores por tipo de forma das partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.	64
Figura 26	Relação das cores por tipo de forma das partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.	64
Figura 27	Polímeros identificados nos sedimentos de areia de praia das áreas 1 e 2 a partir da análise de partículas de microplásticos e mesoplásticos por espectrometria FTIR- ATR de acordo com a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent.	65

Figura 28	Amostras selecionadas de MPs dos três principais tipos de polímeros obtidos no estudo com seu respectivo Espectros de transmitância FTIR-ATR com varredura espectral de 650 a 4000 cm ⁻¹ : polímero de polietileno; polímero de polipropileno; estireno-butadieno, segundo biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent.	66
Figura 29	Aspectos de partículas de microplásticos primários na forma de pellets dos principais tipos de polímeros obtidos no estudo: Polietileno, polipropileno e estireno butadieno.	66
Figura 30	Composição dos sedimentos de areia de praia coletados nos sítios de amostragem da área 1 e 2 de acordo com a análise da granulometria da areia.	67

Lista de Tabelas

Tabela 1	Descrição dos materiais utilizados para confecção da Tecnologia de Rede de Baixo Custo para amostragem de microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais.	28
----------	--	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

EPDM	Ethylene Propylene Diene Methylene
FTIR-ATR	Fourier Transform Infrared- Attenuated total reflectance
GESAMP	Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MePs	Mesoplásticos
MP	Microplástico
MSFD	Marine Strategy Framework Directive
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
SB	Styrene Butadiene

SUMÁRIO

PREFÁCIO.....	19
1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE.....	20
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 Geral.....	23
2.2 Específicos	23
3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AMOSTRAGEM DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	24
3.2 Materiais e Métodos.....	27
3.3 Resultados e Discussão	30
3.4 Conclusão.....	32
4 MICROPLÁSTICOS NA SUPERFÍCIE DE ÁGUAS MARINHAS DA COSTA DE SANTA CATARINA (BRASIL): IDENTIFICAÇÃO POR ESTEREOMICROSCÓPIO E ESPECTROFOTÔMETRO FTIR-ATR	33
4.1 Introdução	35
4.2 Materiais e Métodos.....	36
4.2.1 <i>Localização e amostragem em águas marinhas superficiais</i>	37
4.2.2 <i>Procedimentos de controle de qualidade durante análises laboratoriais</i>	39
4.3 Resultados e Discussão	43
4.3.1 <i>Resultados</i>	43
3.2 <i>Discussão</i>	48
4.4 <i>Conclusão</i>	50
5 OCORRÊNCIA, CARACTERÍSTICAS E IDENTIFICAÇÃO VIA FTIR-ATR E ESTEREOMICROSCOPIA DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM SEDIMENTOS DE AREIA DE PRAIA EM SÃO FRANCISCO DO SUL (BRASIL)	51
5.1 Introdução	53
5.2 <i>Materiais e Métodos</i>	55
5.2.2 <i>Procedimentos de controle de qualidade durante análises laboratoriais</i>	58
5.2.3 <i>Procedimento de separação de amostras via tamisação e por diferença de densidade</i>	58
5.2.4 <i>Visualização microscópica e classificação morfológica das partículas de MPs e MePs</i>	60
5.2.5 <i>Caracterização das partículas de MPs e MePs segundo grupos funcionais por Espectroscopia FTIR-ATR</i>	61

<i>5.2.6 Análise estatística do quantitativo de MPs e MePs obtidos nas duas áreas de estudo</i>	61
5.3 Resultados e Discussão	62
<i>5.3.1 Resultados</i>	62
<i>5.3.1.1 Abundância de MPs, MePs obtidos nas áreas de estudo 1 e 2</i>	62
<i>5.3.1.2.1 Aspectos morfológicos da forma das partículas de MPs e MePs</i>	65
<i>5.3.1.4 Classificação dos sedimentos de areia dos sítios amostrais com relação ao aspecto de granulometria</i>	70
<i>5.3.2 Discussão</i>	70
5.4 Conclusão	74
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE	87

PREFÁCIO

A desenvolvimento do trabalho intitulado “Análise e Avaliação da Presença de Microplásticos e Mesoplásticos em Matrizes Ambientais de Águas Marinhas Superficiais e Sedimento de Areia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC” descrito na presente dissertação de mestrado foi motivado pela compreensão da complexidade envolvendo a presença dos resíduos plásticos, em especial os microplásticos, em diversos ambientes bem como seus impactos.

O trabalho de dissertação foi dividido em cinco capítulos; nos capítulos envolvendo a avaliação de matrizes ambientais foram relatados os resultados obtidos, bem como realizadas as discussões e conclusões referentes as matrizes ambientais avaliadas.

No primeiro capítulo pode ser apreciada a contextualização dos trabalhos recentemente publicados dentro dessa temática, bem como os números de produção mundial de plásticos e suas complicações. No segundo capítulo são relatados o objetivo geral e os específicos do trabalho. O terceiro capítulo da dissertação traz a descrição detalhada do desenvolvimento de um sistema de amostragem de baixo custo para microplásticos e mesoplásticos, visando sua reprodutibilidade e utilização em pesquisas envolvendo a amostragem em matrizes de água superficiais. No quarto capítulo do trabalho foi relatado a avaliação de presença de MPs em águas marinhas superficiais do litoral norte de Santa Catarina, contemplando a Praia Grande no município de São Francisco do Sul - SC (Brasil); nesse contexto foram abordados procedimentos de amostragem, abertura, caracterização morfológica e identificação dos polímeros. No quinto capítulo foram verificadas ocorrências de partículas envolvendo microplásticos e mesoplásticos em sedimentos de areia de praia em dois pontos distintos da Praia Grande no litoral de Santa Catarina junto ao município de São Francisco do Sul – SC. Os dois pontos onde foram coletados as amostras de sedimentos de areia de praia apresentavam características heterogêneas quanto a urbanização, exploração turística e granulometria da areia; foram relatados de forma detalhada os procedimentos de amostragem, abertura, caracterização morfológica das partículas e identificação dos polímeros.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE

Os plásticos sintéticos ou semissintéticos são materiais poliméricos compostos por moléculas orgânicas derivadas comumente de compostos de petróleo (DA COSTA *et al.*, 2016) com produção anual crescente (PLASTIC EUROPE, 2023), devido principalmente às suas características relacionadas a resistência, praticidade e baixo custo. O grande consumo de plásticos somados ao efeitos antropogênicos (SODRÉ *et al.*, 2023) como descarte incorreto, gerenciamento de resíduos inadequado ou ausente e a sua lenta decomposição tem provocado um acúmulo desses resíduos em diversos ambientes ao ponto de ser considerado um indicador geológico potencial no Antropoceno (OLIVATTO *et al.*, 2018)

A produção e comercialização dos plásticos iniciou-se no século XIX e a partir de 1950 sua produção apresentou uma significativa expansão com aumento de 1,7 para 322 milhões de toneladas entre 1950 e 2016 chegando em quase 400 milhões de toneladas de plástico produzido em 2022 (PLASTICS EUROPE, 2023; REVEL *et al.*, 2018). Desde 2000, a indústria envolvendo a produção de plásticos já produziu a mesma quantidade de plásticos que em todos os anos anteriores somados; onde a maior parte do plástico produzido foi descartado em forma de lixo (HAMILTON *et al.*, 2019). A lista dos maiores produtores de plástico no mundo é liderada pela China 32%, Acordo de Livre Comércio da América do Norte (NAFTA) 19%, Ásia com exceção da China 17%, Europa 15%. Entre os tipos de polímeros mais produzidos se destaca o Polipropileno com 19,7%, seguido pelo Polietileno de baixa densidade com 17,4% do total de plásticos produzidos (PLASTICS EUROPE, 2021).

Os Plásticos são resíduos de difícil degradação devido às suas propriedades poliméricas envolvendo as ligações químicas, massa molar e grupos funcionais permitindo a permanência desses contaminantes por longos períodos nos ecossistemas, porém devido a um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos fragmentos maiores de plásticos podem ser degradados em tamanhos menores inferiores a 5mm, denominados de microplásticos (MPs) (ARTHUR *et al.*, 2009) .

As partículas de MPs possuem uma grande capacidade de acúmulo, dispersão e efeitos adversos que impactam diversos ecossistemas, bem como prejuízos à saúde humana (CHOLEWINSKI *et al.*, 2022; JUNG *et al.*, 2022; TIAN *et al.*, 2023) e têm sido considerados os poluentes emergentes das últimas décadas (MACHADO *et al.*, 2018).

Os MPs foram observados pela primeira vez na década de setenta (CARPENTER; SMITH, 1972) e o termo microplásticos (MPs) só foi incorporado aos trabalhos científicos em 2004 (ANDRADY, 2011; THOMPSON *et al.*, 2004) no entanto vários conceitos ainda são encontrados para os MPs de acordo com a faixa de tamanho das partículas (HANVEY *et al.*, 2017; OLIVATTO *et al.*, 2018). A definição proposta em 2009 pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que se refere aos MPs como partículas de polímeros orgânicos sintéticos com tamanho inferior a 5 mm tem sido a mais adotada pelos trabalhos científicos (MONTAGNER *et al.*, 2021; ARTHUR *et al.*, 2009) O Guia GESAMP (2019) define os resíduos plásticos encontrados nas matrizes ambientais como MPS as partículas plásticas com tamanho inferior a 5 mm, mesoplásticos (MePs) entre 5 e 25 mm, macropásticos entre 25 mm e 1 m e megapásticos acima de 1 m. De acordo com sua origem os MPs têm sido classificados como primários e secundários; os primários são nomeados como partículas de polímeros que são produzidos, de acordo com sua finalidade, em dimensões inferiores a 5mm e, portanto, já são descartados no ambiente na forma de microplásticos. Os MPs primários estão presentes em materiais de consumo como microesferas utilizadas em produtos cosméticos (LEI *et al.*, 2017; NAPPER *et al.*, 2015) microfibras de tecidos provenientes da lavagem de tecidos e entre outras aplicações (GALVÃO *et al.*, 2020). Os MPs secundários constituem-se de fragmentos plásticos inferiores a 5 mm introduzidos, de forma indireta no meio ambiente, através da degradação de detritos plásticos maiores por meio de processos físicos, químicos e biológicos (XIANG *et al.*, 2022).

Desde que foram observados pela primeira vez a presença de MPs tem sido relatada em diversos estudos envolvendo matrizes ambientais (CHOLEWINSKI *et al.*, 2022; JUNG *et al.*, 2022; LOGANATHAN *et al.*, 2023; TIAN *et al.*, 2023) indicando um número crescente de investigações relacionadas a essa problemática a nível mundial e amplamente relatado em toda a Europa, Ásia e América do Norte, no entanto, em regiões como a América Latina apesar de contribuir com 4% da produção total de plásticos e 8% do consumo total de plásticos em todo o mundo (PLASTICS EUROPE, 2023) as publicações de trabalhos envolvendo a

investigação da presença e impactos relacionados aos MPs ainda são limitadas (CHINFAK *et al.*, 2021; FRANCO *et al.*, 2021). As pesquisas realizadas tanto na América Latina como em outras regiões são caracterizadas pela falta de padronização envolvendo métodos de análises e classificação dos MPs (GRILLO *et al.*, 2022).

Na América Latina o Brasil se destaca como o país que mais vem desenvolvendo pesquisas na área (KUTRALAM-MUNIASAMY *et al.*, 2020) ressaltando que apesar dos estudos realizados na América Latina terem se concentrando em sua maioria em ambientes marinhos os esforços científicos foram fortemente focados na contaminação por MPs em amostras de biota (41%), seguida de sedimento/solo (37%) e água (22%) (Fernandes *et al.*, 2022). Com relação aos estudos realizados no Brasil é verificada uma predominância de pesquisas em matrizes aquáticas e sedimentos com foco em ecossistemas marinhos porém com identificação principalmente por inspeção visual (MONTAGNER *et al.*, 2021) portanto com relação às matrizes aquosas a falta de conhecimento sobre MPs no que se refere aos tipos de polímeros, transporte, destino e impactos destacam que mais investigações são urgentemente necessárias. Pesquisas relevantes têm sido realizadas no Brasil como a identificação de ingestão de MPs por peixes (DANTAS *et al.*, 2020; PEGADO *et al.*, 2018), sedimentos do rio Amazonas (GEROLIN *et al.*, 2020) sedimentos de praia do arquipélago de Fernando de Noronha (CARVALHO; *et al.*, 2021). Os MPs foram verificados também em mexilhões (SANTANA *et al.*, 2016) em estuário de Santos, São Paulo e por Castro *et al.* (2020) em Niterói, no estado do Rio de Janeiro. A presença de MPs também foi verificada em ostras do estuário de Paranaguá, litoral do Paraná (VIEIRA *et al.*, 2021) e em águas superficiais da região da Baía da Guanabara, Rio de Janeiro (OLIVATTO *et al.*, 2019).

Não há ainda na legislação brasileira leis que regulamentem a produção, comercialização e descarte de plásticos e MPs. As pesquisas envolvendo a identificação de MPs nos vários ambientes e biotas brasileiras visam impulsionar ações políticas e comportamentais concretas no sentido de frear a produção, descarte e conseqüentemente poluição dos vários ambientes, principalmente nos corpos d'água. Portanto, é urgente a expansão do conhecimento sobre as fontes de MPs, ocorrência, transporte, destino e impactos potenciais, considerando a dificuldade e quase impossibilidade de remoção dos MPs do meio ambiente o que torna indispensável alterar comportamentos a fim de evitar novas entradas desses resíduos no meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Quantificar e qualificar a presença de MPs e MePs em amostras de matrizes ambientais envolvendo águas marinhas superficiais e sedimentos de areia de praias na região da Praia Grande, localizada no município de São Francisco do Sul - SC, bem como realizar sua identificação qualitativa utilizando microscopia ótica e espectrofotometria de infravermelho (FTIR- ATR).

2.2 Específicos

Desenvolver um Sistema de baixo custo para amostragem para Microplásticos e Mesoplásticos em águas superficiais;

Quantificar a presença de fragmentos de plásticos inferiores a 5,0 mm utilizando microscopia ótica;

Classificar os fragmentos de MPs e MePs segundo os aspectos morfológicos envolvendo cor, tipo e tamanho;

Identificar os tipos de polímeros via espectroscopia de infravermelho (FTIR- ATR).

3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA AMOSTRAGEM DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS¹

DEVELOPMENT OF A LOW-COST SYSTEM FOR SAMPLING MICROPLASTICS AND MESOPLASTICS IN SURFACE WATER

Resumo

Um sistema de amostragem de microplásticos (MPs) e mesoplásticos (MePs) em águas foi desenvolvido utilizando materiais de baixo custo baseado no protocolo padrão internacional da National Oceanic and Atmospheric Administration com a utilização de uma rede de amostragem de nylon fixado a uma estrutura de madeira tratada e com tubos plásticos responsáveis pela flutuabilidade. As amostragens foram feitas em águas superficiais marinha e doce no litoral de Santa Catarina, com o objetivo de coletar amostras ao longo da faixa litorânea. A estrutura desenvolvida apresentou excelentes desempenhos com relação à estabilidade e robustez durante o processo de amostragem. A análise e caracterização dos MPs foi feita dentro das recomendações protocolares utilizando peneiras de separação. O sistema desenvolvido poderá ser utilizado no monitoramento ambiental envolvendo a amostragem de MPs em águas, somado a sua relação custo benefício e acessibilidade para os profissionais da área.

Palavras-chave: microplásticos; amostragem; águas superficiais; monitoramento ambiental

Abstract

A sampling system for microplastics (MPs) and mesoplastics (MePs) in waters was developed using low-cost materials based on the international standard protocol of the National Oceanic and Atmospheric Administration with the use of a nylon sampling net fixed to a wooden structure treated and with plastic tubes responsible for buoyancy. Sampling was carried out in marine and fresh surface waters on the coast of Santa Catarina, with the aim of collecting samples along the coastal strip. The developed structure showed excellent performance in terms of stability and robustness during the sampling process. The analysis and characterization of MPs was carried out within the protocol recommendations using separation sieves. The developed system can be used in environmental monitoring involving the sampling of MPs in water, added to its cost-benefit ratio and accessibility for professionals in the field.

Keywords: microplastics; sampling; surface waters; environmental monitorin.

¹Nota científica publicada na revista *Naturae* (ISSN 2674-6441), v. 4 n. 2 (2022): [www.https://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae](http://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae) <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004>

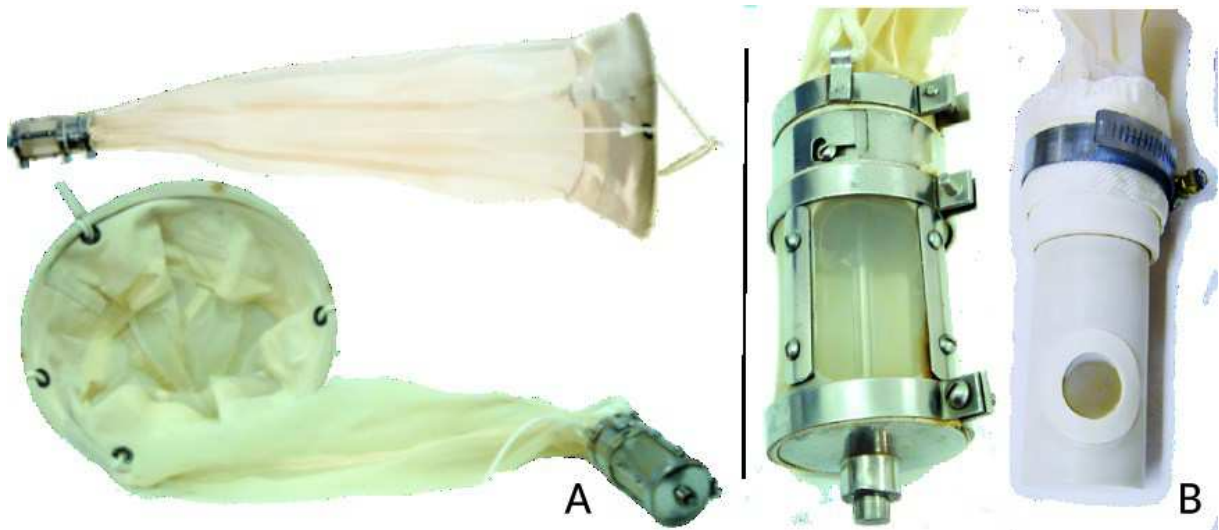
3.1 Introdução

O monitoramento dos ambientes marinhos com relação à presença do lixo plástico possibilita uma avaliação bastante necessária da dimensão e impactos do lixo plástico marinho, o que viabiliza a elaboração de ações de mitigação bem como a avaliação da sua eficácia. No entanto para efetivação de rotinas de monitoramento é essencial a utilização de métodos padronizados e confiáveis de amostragem e caracterização de amostra (GESAMP, 2019).

Estudos envolvendo o desenvolvimento de protocolos de amostragem, abertura, preparação de amostras e caracterização de MPs vem sendo realizados e desenvolvidos; no entanto, a falta de padronização e normatização impossibilita estudos comparativos no monitoramento com relação aos MPs em matrizes ambientais objetivando estabelecer uma linha de base coesa que permita a concretização de programas de monitoramento (GRILLO *et al.*, 2022).

Recentemente os protocolos desenvolvidos pelo Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2019) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA *et al.*, 2015) são referenciados e possibilitam a normatização dos procedimentos envolvendo pesquisas na área de resíduos plásticos. Devido às dificuldades inerentes ao processo de representatividade amostral de MPs em matrizes aquosas, o protocolo desenvolvido pela NOAA apresenta como alternativa a adaptação de uma rede de Nêuston (Figura 1) utilizado comumente na amostragem de Nêuston, portanto a análise de MPs em águas superficiais é possível pela a adaptação de um sistema de amostragem de microorganismos aquáticos (redes de Nêuston) envolvendo protocolos para a avaliação (CETESB, 2011).

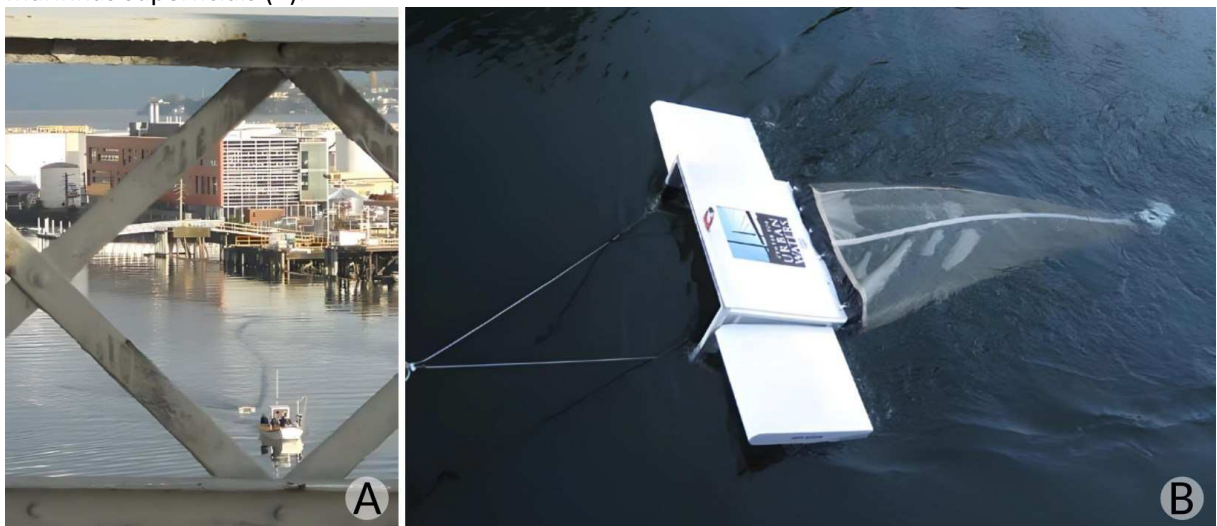
Figura 1: Aspectos da Rede de Nêuston utilizado para coleta de amostra de águas superficiais com destaque para vista frontal e lateral da Rede de Nêuston acoplada ao copo coletor (A) e Copos Coletores em PVC e Inox (B).



Fonte: CETESB (2011).

As redes de Nêuston adaptadas tem sido uma das opções de amostradores mais utilizadas para captura de MPs e MePs (GESAMP, 2019), sendo que a abertura de malha de rede utilizada varia de tamanho entre 50 μm e 500 μm , com 330 μm mais comumente usados (HIDALGORUZ *et al.*, 2012). A adaptação de um sistema flutuante (Figura 2) em um reboque envolvendo barcos tem demonstrado excelentes resultados segundo o protocolo NOAA.

Figura 2: Dinâmica de funcionamento do amostrador para coleta de microplásticos e mesoplásticos fixado à rede de Nêuston acoplado à embarcação (A) e vista superior do amostrador em águas marinhas superficiais (B).



Fonte: NOAA (2015).

3.2 Materiais e Métodos

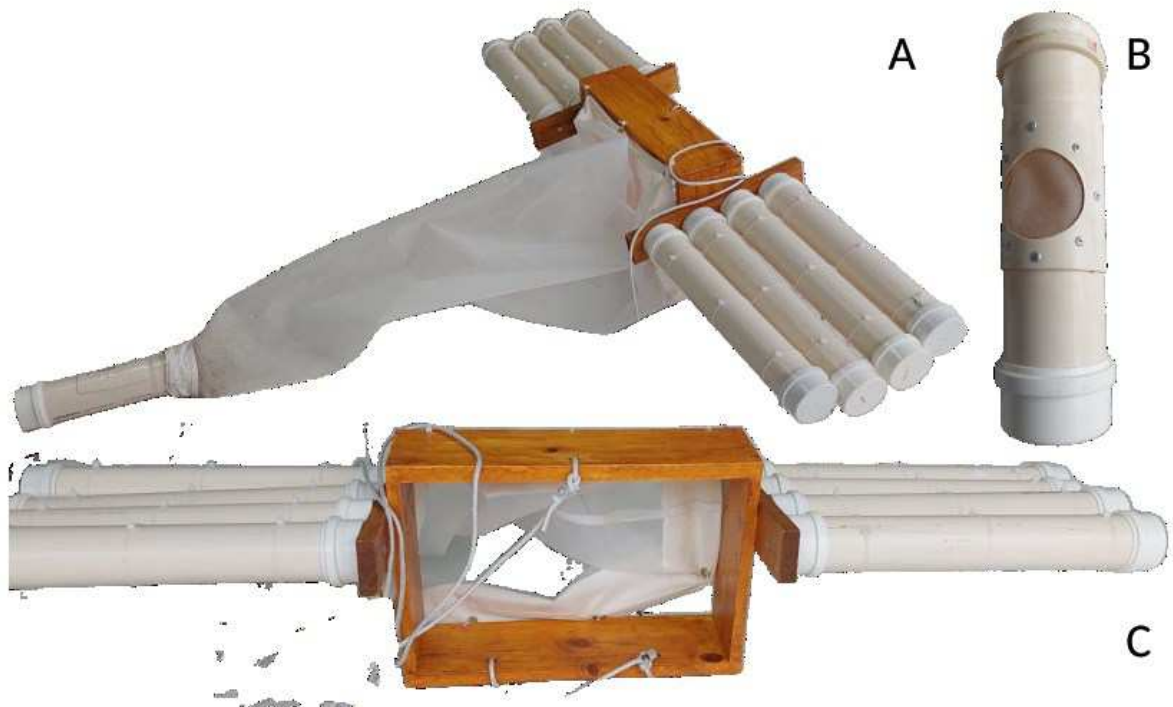
Para a construção do sistema de amostragem de MPs foram utilizados materiais de baixo custo (Tabela 1). Uma rede de nylon cujo material não é facilmente suscetível às alterações e deformidades com 300 μm de abertura; semelhante à rede de Nêuston foi utilizada como sistema de arraste. O desenvolvimento da Rede de Baixo Custo para MPs teve como finalidade tornar acessível a amostragem de MPs em águas e a viabilização, considerando a facilidade para a aquisição dos materiais necessários na construção, somados aos excelentes resultados adquiridos.

A construção do sistema Rede de Baixo Custo para MPs teve como princípio a flutuabilidade utilizando canos de PVC observando os tamanhos dos canos com relação às dimensões da estrutura de madeira para facilitar a estabilidade (Figura 3A); ressaltando que os canos devem ser devidamente lacrados com os tampões de adesivo plástico para PVC e isolamento interno com silicone, para que não ocorra a infiltração de água no sistema de flutuabilidade.

O copo coletor foi fixado na extremidade inferior da rede por uma braçadeira, e construído com a extremidade de um cano PVC com janela lateral onde a abertura foi feita com furadeira e broca tipo copo e fixada com rebites. O copo coletor apresenta orifícios vedados com malha de nylon (300 μm) para diminuir o acúmulo de água no interior onde irá reter os MPs (Figura 3B).

A estrutura retangular central de madeira tratada com verniz marítimo (Figura 3C) foi feita com dimensões 50x30x15 cm montada com parafusos onde a rede foi fixada na parte posterior com abraçadeiras de nylon (Figura 3A) enquanto na parte frontal foram feitos 3 furos para fixação de cordas de nylon náutica com aproximadamente 50 cm objetivando manter o sistema na horizontal durante o arraste.

Figura 3: Tecnologia de Rede de Baixo Custo para coleta de Microplásticos e Mesoplásticos em amostra de águas superficiais com copo coletor acoplado (A). Copo coletor de microplásticos e mesoplásticos em PVC (B). Vista frontal do amostrador elaborado em madeira Pinus sp. tratada com verniz marítimo acoplado a rede de Nêuston e canos PVC responsáveis pela flutuabilidade (C).



Fonte: Autores (2022).

O sistema de flutuabilidade de canos (Figura 4A) foi feito com uma inclinação lateral de aproximadamente um ângulo de 30° com relação a estrutura central de madeira, para que a lâmina de água possa adentrar à rede e aumentar a estabilidade em águas superficiais. Os canos de PVC foram fixados um ao outro (Figura 4B) em uma sequência de abraçadeiras de nylon com o objetivo de dar estabilidade mecânica durante o processo de reboque nas águas.

Figura 4: Aspectos do sistema de flutuabilidade em PVC da Rede de Baixo Custo responsáveis pela estabilidade do sistema em águas superficiais (A). Destaque para as abraçadeiras entrelaçadas entre os canos de PVC para maior resistência (B).



Fonte: Autores (2022).

Na tabela 1 é possível verificar a lista de materiais utilizados para a confecção da Rede de Baixo Custo para Microplásticos.

Tabela 1: Descrição dos materiais utilizados para confecção da Tecnologia de Rede de Baixo Custo para amostragem de microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais.

Quantidade	Descrição do material	Valor
2	Peça de madeira <i>Pinus.sp</i> com seções de dimensões de 50 cm x 15 cm x 2 cm	R\$70,00
2	Peça de madeira <i>Pinus.sp</i> com seções de dimensões de 30 cm x 15 cm x 2 cm	R\$60,00
2	Peça de madeira <i>Pinus.sp</i> com seções de dimensões de 40 cm x 7 cm x 2 cm	R\$30,00
8	Unidade de parafuso francês com rosca sextavada e arruela 5 mm x 16 mm	R\$11,04
8	Unidade de parafuso fixer para madeira 4,5 mm x 60 mm	R\$ 2,64
8	Fração de cano PVC de 75 mm com dimensão de 50 cm	R\$ 284,00
1	Fração de cano PVC de 75 mm com dimensão de 30 cm (Obs.: extremidade do cano para melhor fixação da braçadeira)	R\$35,50
17	Unidade de Cap Tampão PVC de 75 mm	R\$68,00
30	Unidades de abraçadeira autotravante de nylon 3 mm x 200 mm	R\$11,00
1	Fração de tela em nylon malha de abertura 0,3 mm com dimensão de 1,5 m	R\$150,00
8	Unidades de ilhós de 2 cm	R\$ 2,40
1	Fração de tecido de algodão com dimensão de 80 cm	R\$17,00
8	Unidades de rebites de repuxo de 4,8 mm x 25 mm	R\$4,16
10	Fração de corda náutica trançada com dimensão de 10 m	R\$10,00
1	Frasco de verniz marítimo com 50 ml	R\$ 8,90
	Total	764,64

Fonte: Autores (2022)

3.3 Resultados e Discussão

Os testes de amostragem em matrizes aquosas para MPs foram feitos em águas superficiais marinhas e doces (Figura 5) durante um circuito de aproximadamente 3 km em diferentes campanhas de amostragem na região norte do litoral de Santa Catarina. A Rede de Baixo Custo para MPs foi acoplada a um barco de modelo tipo bote de pesca esportiva com propulsão a motor utilizando corda náutica para reboque do sistema de amostragem.

Figura 5: Dinâmica do funcionamento da Tecnologia de Rede de Baixo Custo para microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais de um rio (A) e águas superficiais marinhas(B).



Fonte: Autores (2022).

A Rede de Baixo Custo para MPs por ser construída com materiais leves, apresentou-se de fácil manuseio durante a inserção e manipulação dentro da embarcação; observou-se excelentes resultados de flutuabilidade e resistência mecânica sem nenhuma modificação da estrutura durante e após os processos de amostragem.

A Rede de Baixo Custo para MPs e MePs possibilita a amostragem em lâminas de águas de aproximadamente 40 cm de profundidade. Considerando a abertura da rede e a velocidade da embarcação é possível calcular o volume de água percorrido na amostragem.

Na Figura 6 observa-se o volume amostrado no copo coletor da Rede de Baixo Custo para MPs, bem como um estudo comparativo de amostras segundo protocolo NOAA, as

amostras foram transferidas para um frasco de vidro com rosca. Ressalta-se que após a coleta deve-se proceder a lavagem do copo coletor para a total transferência das amostras; objetivando a retirada de todo material em suspensão nele contido.

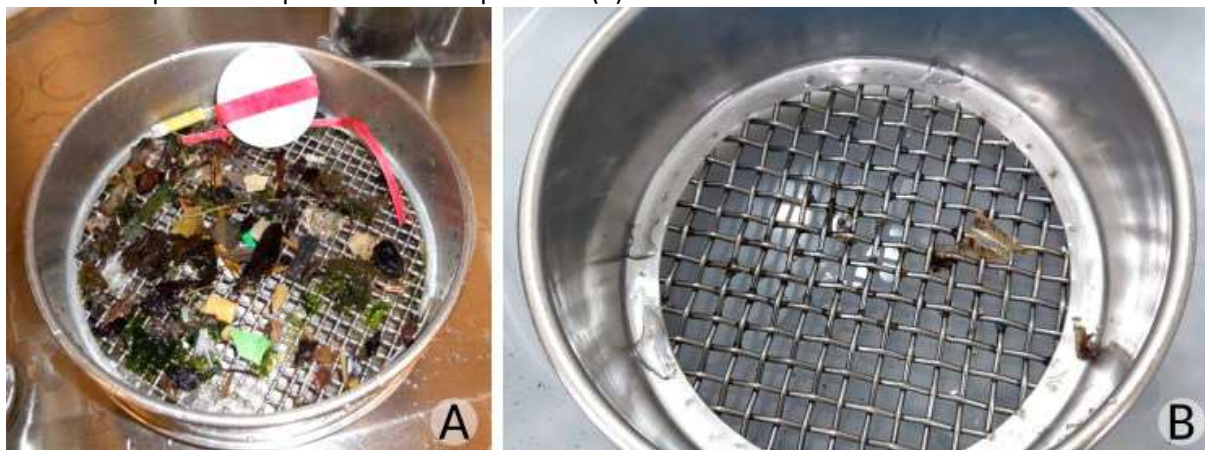
Figura 6: Amostras de águas superficiais marinhas obtidas a partir da utilização da Tecnologia de Rede de Baixo custo condicionadas em frascos de vidro identificados (A). Aspectos de amostras de águas superficiais descritas pelo protocolo NOAA (B).



Fonte: NOAA (2015); Autores (2022).

As amostras obtidas pela coleta foram levadas para o laboratório e procedeu-se o processo de separação segundo o protocolo NOAA. Uma das primeiras etapas do protocolo envolve a tamisação (Figura 7) utilizando peneiras com aberturas de malha de 5,6 mm, 1,0 mm e 0,3 mm para a separação dos materiais que estejam nas águas superficiais, com o objetivo de obter possíveis fragmentos com tamanho inferior a 5 mm, característicos de MPs.

Figura 7: Resíduos retidos em peneira de malha 5,6 mm, durante processo de separação descritos pelo protocolo NOAA (A) e resíduos separados a partir de amostras obtidas pela Tecnologia de Rede de Baixo Custo para Microplásticos e Mesoplásticos (B).



Fonte: NOAA (2015); Autores (2022).

3.4 Conclusão

A tecnologia de Rede de Baixo Custo para MPs e MePs tem como finalidade tornar viável e, portanto, acessível a amostragem de MPs em águas superficiais; ressaltando a facilidade para a aquisição dos materiais e a construção do sistema de amostragem, somado aos excelentes resultados adquiridos em águas marinhas e rios. Os materiais utilizados foram adquiridos em lojas comerciais na área da construção civil; portanto com custos relativamente baixos se comparados a aquisição de um sistema de amostragem importado conforme protocolo NOAA.

A Rede de Baixo Custo para MPs e MePs por ser construída com materiais leves, apresentou-se de fácil manuseio durante a manipulação na embarcação; observou-se excelentes resultados de flutuabilidade, estabilidade e resistência mecânica sem nenhuma modificação da estrutura durante e após os processos de amostragem e o copo coletor reteve os resíduos presentes na lâmina de águas superficiais.

Portanto, a Rede de Baixo Custo para MPs e MePs é indicada como alternativa para a amostragem de MPs e MePs em matrizes aquosas tanto marinhas quanto em águas superficiais em rios e contribui para a realização de monitoramento de partículas plásticas em águas superficiais por parte de institutos de pesquisa e órgãos de monitoramento e controle ambiental tendo em vista a necessidade urgente de um acompanhamento frente ao impacto antropogênico em ambientes aquáticos

4 MICROPLÁSTICOS NA SUPERFÍCIE DE ÁGUAS MARINHAS DA COSTA DE SANTA CATARINA (BRASIL): IDENTIFICAÇÃO POR ESTEREOMICROSCÓPIO E ESPECTROFOTÔMETRO FTIR-ATR²

MICROPLASTICS ON THE SURFACE OF MARINE WATERS OF THE COAST OF SANTA CATARINA (BRAZIL): IDENTIFICATION BY STEREOMICROSCOPE AND FTIR-ATR SPECTROPHOTOMETER

Resumo

Os oceanos são um dos destinos finais da grande maioria dos resíduos plásticos; nesse sentido as partículas menores que 5 mm, classificadas como microplásticos (MPs), representam um desafio ambiental com impacto global em diversos ecossistemas. O trabalho avaliou a presença de MPs em águas marinhas superficiais do litoral norte de Santa Catarina (Brasil), abordando os procedimentos de amostragem, abertura, caracterização e identificação dos polímeros. Foram realizadas três campanhas de amostragens entre junho e outubro nos mesmos pontos localizados a 300 m da faixa de areia da Praia Grande em São Francisco do Sul – SC. A concentração de MPs obtida no estudo foi de 0,01 partículas m⁻³. As partículas encontradas foram analisadas por estereomicroscópio e classificadas quanto aos aspectos morfológicos em relação ao formato em fragmentos 58,00%, filmes 25,00% e linhas 17,00% e quanto ao aspecto relacionado a cor o azul foi predominante. A caracterização e identificação polimérica envolvendo os grupos funcionais foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier acoplada ao módulo de reflectância atenuada total (FTIR-ATR), e os tipos de polímeros identificados foram: polietileno 33,33%, polipropileno 25,00%, copolímero butadieno-estireno 25,00% e celulose 16,66%. O trabalho realizado contribuiu para a avaliação de uma área ainda não estudada em relação à presença de MPs em águas marinhas, ao mesmo tempo em que descreveu detalhadamente as metodologias de análise de MPs propostas na literatura especializada.

Palavras-chave: Polímeros, água, resíduos, metodologia, monitoramento.

² Artigo aceito para publicação na Revista Brazilian Journal of Environmental Sciences (ISSN 2176-9478) no mês de março de 2024. www.rbciamb.com.br

Abstract

The oceans are one of the final destinations for the vast majority of plastic waste; in this sense, particles smaller than 5 mm, classified as microplastics (MPs), represent an environmental challenge with a global impact on several ecosystems. The work evaluated the presence of microplastics in marine waters on the north coast of Santa Catarina (Brazil), addressing the sampling procedures, the samples extraction and characterization, and the polymers identification. A low-cost equipment developed with easily accessible materials was tested in the sampling, showing excellent results in terms of buoyancy, stability and mechanical strength. The concentration of microplastics obtained in the study was $0.01 \text{ partículas m}^{-3}$. The particles found were analyzed by stereomicroscopy and classified according to morphological aspects in relation to shape in fragments 58,00%, films 25,00% and lines 17,00% and regarding the aspect related to color, blue was predominant..The characterization and polymeric identification was performed by Fourier transform infrared spectroscopy coupled to the total attenuated reflectance module (FTIR-ATR) .The types of polymers identified were: polyethylene 33,33%; polypropylene 25,00%; butadiene-styrene copolymer 25,00% and cellulose 16,66% . The work contributed to the evaluation of an area not yet studied in relation to the presence of microplastics in marine waters, while at the same time described in detail the methodologies for analyzing microplastics proposed in the specialized literature.

Keywords: Polymers, water, waste, methodology, monitoring

4.1 Introdução

Aproximadamente 10% dos plásticos produzidos no mundo acabam nos oceanos (AUTA *et al.*, 2017), um dos destinos finais da maior parte dos resíduos plásticos. Anualmente chegam aos oceanos cerca de 8 milhões de toneladas de resíduos plásticos que não passam pelos processos de descarte corretamente (JAMBECK *et al.*, 2015; NAPPER; THOMPSON, 2020); a quantidade anual de plásticos que chegam dos rios está entre 1,15 a 2,41 milhões de toneladas de resíduos (LEBRETON *et al.*, 2017). Estimativas sugerem que 92% dos 5,25 bilhões de partículas de plásticos na superfície do oceano são MPs (AUTA *et al.*, 2017).

Embora seja complexo determinar a origem dos MPs encontrados em ambientes costeiros, estudos sugerem que os rios sejam uma das principais entradas da poluição de plásticos nos oceanos, principalmente em países onde as águas residuais não possuem sistemas de tratamentos eficientes bem como monitoramento; acarretando em uma eliminação frequente de resíduos pelas indústrias e municípios em rios o que contribui para o aumento da contaminação por MPs (EDO *et al.*, 2020; ALAM *et al.*, 2019; TERZI; SEYHAN, 2017) . As áreas urbanas brasileiras densamente povoadas apresentam problemas crônicos envolvendo a inexistência ou incorreto gerenciamento de resíduos sólidos que somados aos impactos de enchentes e tratamentos inadequados de águas residuais (SODRÉ *et al.*, 2023) contribuindo negativamente com o aumento da contaminação dos mananciais de água doce e conseqüentemente os oceanos. O Brasil foi o sétimo no ranking de países que mais lançaram plásticos nos oceanos através dos rios, com um total de $3,8 \cdot 10^4$ milhões de toneladas por ano, segundo um estudo publicado por Meijer *et al.* (2021), países em desenvolvimento como Brasil sofrem com a deficiência de um sistema de tratamento de resíduos e a falta de monitoramento. O Brasil em 2019 atingiu uma produção de resíduos plásticos de aproximadamente 14 milhões de toneladas, das quais somente 4,5% das embalagens plásticas foram recicladas, o que contribui para a existência de uma fração ainda desconhecida é lançada no meio ambiente (PINCELLI *et al.*, 2021).

O estado de Santa Catarina (Brasil) possui dez rios com impacto antropogênico relacionado ao MPs, em um estudo levantado pela OCEAN CLEANUP em um total de mil rios investigados a nível mundial considerados com maior impacto no lançamento de plásticos nos oceanos. O rio Itajaí Açu, que se encontra ao sul dos sítios de amostragem estudados neste trabalho, se destaca como o mais poluidor com 641,8 kg lançados no oceano por ano (MEIJER *et al.*, 2021).

Considerando a problemática envolvendo a contribuição dos rios no aporte de resíduos plásticos nos oceanos e a corrente de deriva longitudinal predominante no sentido de direção para o norte segundo estudos realizados por Castilhos e Gré *et al.* (2004) a qual pode influenciar no transporte de contaminantes incluindo os plásticos, este trabalho realizou uma investigação qualitativa da contaminação envolvendo a presença de MPs em águas marinhas na região da Praia Grande, bem como realizou uma caracterização dos resíduos no intuito de contribuir para o fortalecimento da pesquisa na região do sul do Brasil e diminuir as lacunas de informações quanto a ocorrência da contaminação por MPs na região. Foram realizados para coleta e avaliação dos MPs procedimentos baseados nas metodologias de protocolos referências desenvolvidos pelo Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2019) bem como o protocolo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015), detalhados de forma minuciosa como contribuição a realização de outros trabalhos, uma vez que a falta de padronização com relação aos métodos de coleta, processamento de amostras e identificação tem dificultado uma comparação entre os estudos envolvendo os MPs.

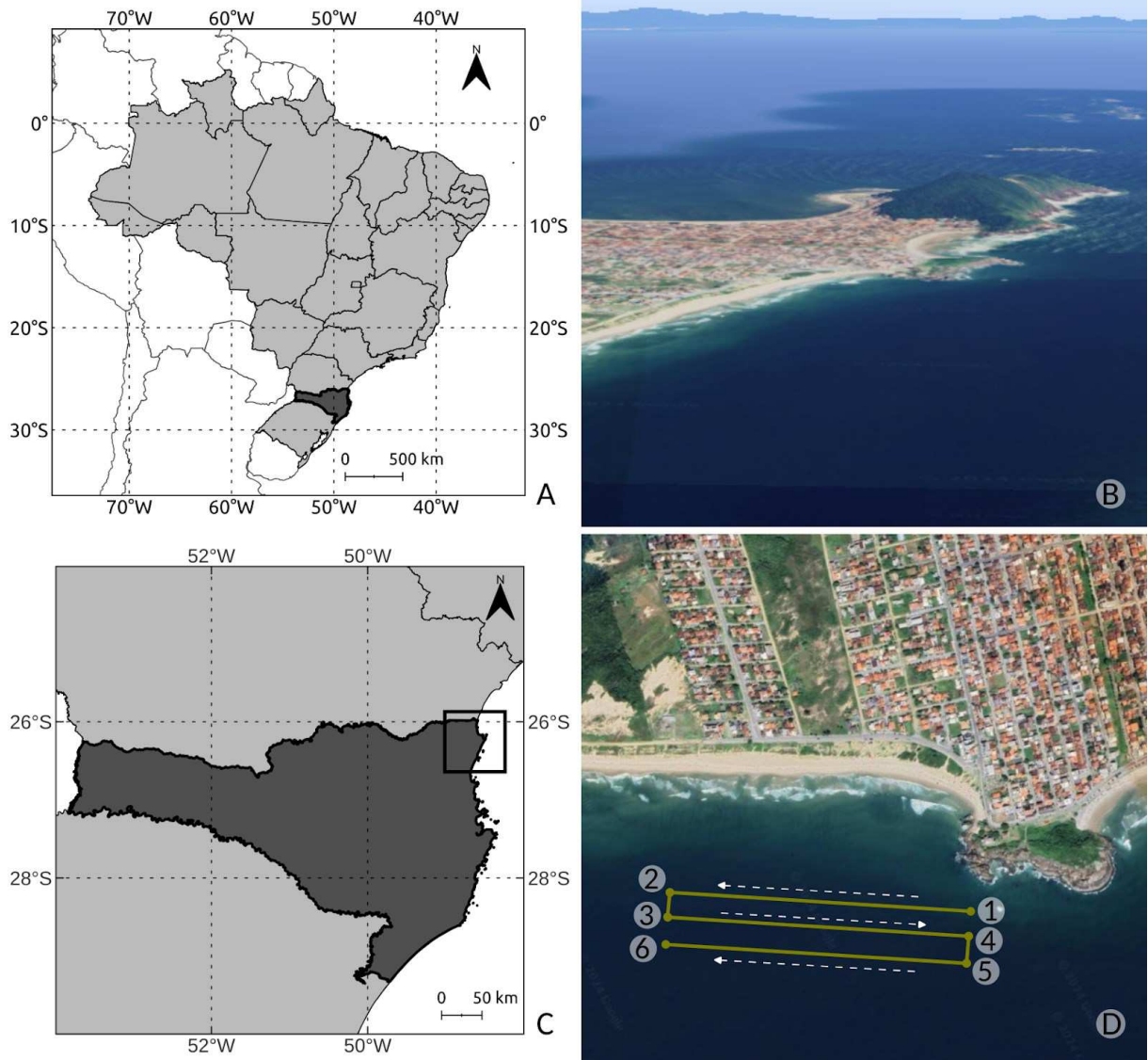
4.2 Materiais e Métodos

Os procedimentos de amostragem, os métodos de extração e caracterização seguiram os protocolos desenvolvidos pelo Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2019), bem como os protocolos da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015), incluindo também modificações em relação os procedimentos de purificação de amostras e separação por densidade de acordo com a nova literatura disponível.

4.2.1 Localização e amostragem em águas marinhas superficiais

A amostragem de MPs em águas marinhas foi realizada no litoral da região norte de Santa Catarina, no município de São Francisco do Sul, em frente à praia denominada Praia Grande, que está localizada entre a Praia da Saudade e Barra do Sul (Figura 8). A Praia Grande possui uma faixa de areia de aproximadamente 26 km, banhada pelo Oceano Atlântico e cercada por uma área de preservação ambiental permanente, vinculada ao Parque Estadual do Acaraí (PEDRO *et al.*, 2018). Os pontos georreferenciados para coleta de amostras de MPs em águas marinhas foram feitos com auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) Garmim eTrex Vista HCx. Os pontos de coordenadas georreferenciadas foram respectivamente: (1) S 26°14'10,6" W 48° 29' 55,8"; (2) S 26°14'30,4" W 48° 30' 04,4" ; (3) S 26° 14' 26,1" W 48° 30" 00,7"; (4) S 26° 14'41,7" W 48° 30" 04,4"; (5) S 26° 14' 11,1" W 48° 29' 52,9"; (6) S 26° 14' 11,8" W 48° 29' 49,4". A embarcação utilizada para rebocar era do tipo pesca esportiva, com propulsão por motor a combustão; durante o percurso foram feitas alternâncias na direção da amostragem (Figura 8) para maior representatividade em relação à distância da costa.

Figura 8: Localização geográfica da cidade de São Francisco do Sul - SC (Brasil) (A) e (C). Visão panorâmica da Praia Grande (B) e destaque para os pontos de amostragem de águas superficiais marinhas com coordenadas e trajeto de navegação (D).



Fonte: Google Earth® com modificação dos autores (2023).

Durante a amostragem o barco foi conduzido em direção às águas oceânicas, e a velocidade náutica foi mantida constante em dois nós; os pontos de coleta foram feitos a uma distância de aproximadamente 300 m da faixa arenosa da Praia Grande, totalizando três pontos de amostragem e 900 m³ de volume de água amostrada. O volume da água amostrada foi calculado pela multiplicação da área de abertura da rede pela distância percorrida. Foram realizadas três campanhas amostrais entre junho e outubro de 2022, com condições de maré variando de 0,1 a 0,4 m.

A amostragem de MPs e MePs em água foi realizada utilizando uma rede de amostragem de baixo custo (Figura 3) com diâmetro de malha de 300 μm , construída de acordo com o amostrador sugerido pelo protocolo padrão da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015); o procedimento de construção do amostrador, os materiais utilizados e suas instruções de operação são descritos detalhadamente por Ricardo *et al.*(2022). Este equipamento de baixo custo apresentou excelentes resultados em águas superficiais marinhas.

As amostras contendo matrizes aquosas provenientes dos 6 pontos de coleta georreferenciados foram transferidas em frascos de vidro lacrados com tampa metálica de rosca, acondicionados em caixa termo isolante sob gelo, encaminhadas ao laboratório e depois armazenadas em geladeira a aproximadamente 4 °C até análises das amostras.

4.2.2 Procedimentos de controle de qualidade durante análises laboratoriais

Para evitar a contaminação das amostras com partículas presentes no ambiente e durante a manipulação laboratorial, foram adotados diversos procedimentos de controle de qualidade. A vidraria foi limpa com detergente, seguida de enxágue em triplicata com água deionizada ultrapura (grau HPLC) e etanol e seca em estufa de secagem; as amostras foram manuseadas com luvas de nitrila e jaleco de algodão durante todos os experimentos. Os procedimentos foram realizados em cabine de fluxo laminar horizontal (marca Lutech®), evitando potencial contaminação por material particulado em suspensão a ar. As superfícies de trabalho foram completamente limpas com etanol 70% antes do início dos experimentos, envolvendo o processamento das amostras. As amostras sob controle foram expostas às mesmas condições de abertura e preparo; controles processuais foram realizados com amostras de água deionizada em paralelo com as amostras ambientais de águas marinhas.

4.2.3 Procedimento de separação de amostras via tamisação e por diferença de densidade

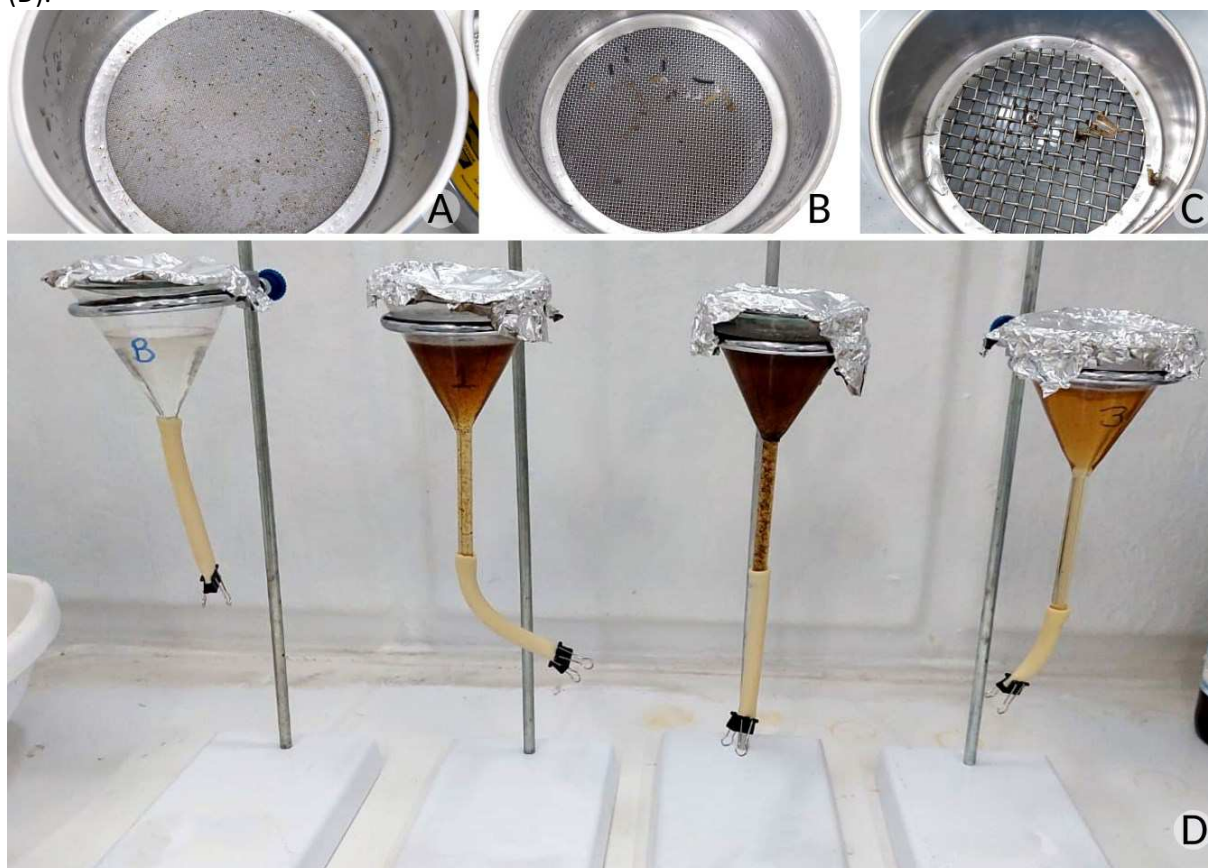
O processamento das amostras foi realizado de acordo com os protocolos desenvolvidos pelo Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2019) bem como pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015) e envolvendo também modificações sugeridas por relevantes trabalho científico (DEHAUT *et al.*, 2016; IMHOF *et al.*, 2012; ZOBKOV; ESIUKOVA, 2017) .

O primeiro processo de separação foi feito através de peneiramento em peneiras de aço inoxidável. A separação dos fragmentos menores que 5 mm e maiores que 0,3 mm foi realizada sobrepondo peneiras com malhas de 5,6 mm, 1 mm e 0,3 mm. É importante ressaltar que como os MPs possuem tamanhos de classificação abaixo de 5,0 mm, portanto, após o processo de peneiramento, as partículas retidas na peneira de 5,6 mm foram retiradas e analisadas, enquanto os resíduos retidos na peneira de 0,3 mm foram transferidos para um béquer para o procedimento de digestão, a fim de eliminar agentes interferentes, como matéria orgânica, e investigar a presença de MPs. Durante as etapas de peneiramento, o exame a olho nu foi seguido de manipulação com pinça histológica, etapa fundamental para a separação e coleta de partículas suspeitas de serem MPs (Figura 9).

Para realizar a separação dos MPs dos agentes interferentes naturais representados por sedimentos e tecidos biológicos, as amostras foram primeiramente digeridas em meio alcalino, utilizando solução de hidróxido de potássio (KOH) na concentração de 10% (m/v), na proporção de 40 ml de solução alcalina para cada 0,2 grama de amostra. As soluções contendo as amostras foram então mantidas por 24 horas à temperatura de 60°C em banho-maria. Após digestão em meio básico, as soluções foram então neutralizadas até um valor de pH próximo de 7,0 com solução de ácido clorídrico (HCl) a 30% (v/v) verificando a neutralização com pHmetro Alfakit® modelo AT-355.

O procedimento de separação por densidade foi utilizado para separar os polímeros do sedimento residual que resistiu à digestão alcalina. O processo de separação está diretamente relacionado à densidade do polímero, que pode variar dependendo do processo de fabricação do plástico, da composição química do MPs e da estrutura molecular polimérica, bem como das substâncias e organismos adsorvidos ao MPs da matriz ambiental. Para conseguir uma separação eficiente dos MPs da matriz ambiental, tem sido recomendada uma solução com densidades superiores a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ (QUINN *et al.*, 2017). Para tanto, foi utilizada uma solução de cloreto de zinco (ZnCl_2) após neutralização, com densidade variando de 1,6 a $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ (IMHOF *et al.*, 2012; ZOBKOV; ESIUKOVA, 2017). A amostra permaneceu decantando em funil de vidro com solução saturada de cloreto de zinco por 24 horas (Figura 9); após a filtração procedeu a caracterização quanto aos aspectos morfológicos via visualização em estereomicroscópio.

Figura 9: Partículas presentes nas amostras de águas marinhas superficiais retidas nas peneiras de aço inoxidável com malha de 0,3 mm (A); 1,0 mm (B) e 5,6 mm (C). Visualização do processo de separação das partículas de MPs por diferença de densidade com utilização da solução de cloreto de zinco ($ZnCl_2$) (D).

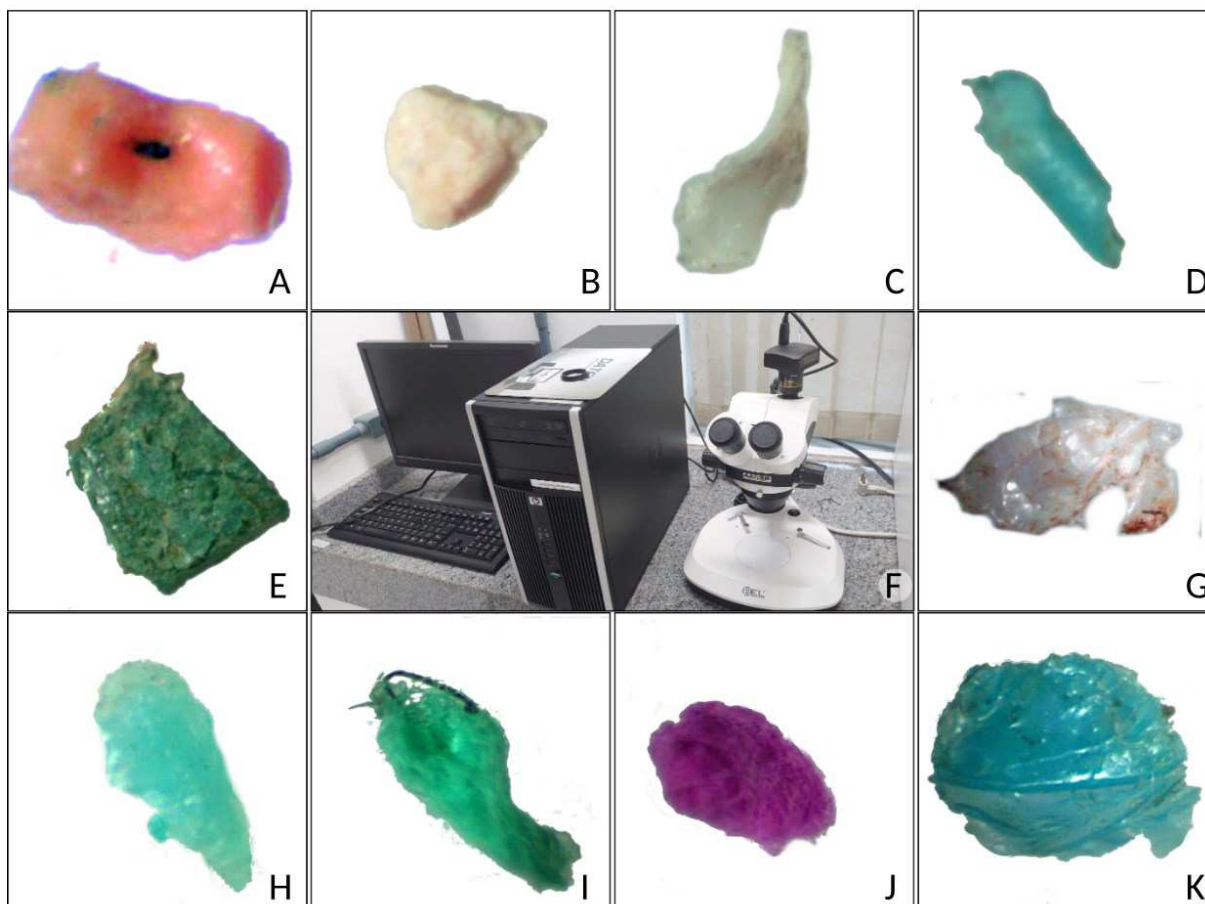


Fonte: Autores (2023).

4.2.4 Visualização microscópica e classificação morfológica das partículas de MPs e MePs

A identificação das partículas quanto à forma, tamanho e cor foi feita utilizando um estereomicroscópio Bell com ampliação de 40 vezes (Figura 10) acoplado a uma câmera digital (0,3 MP ¼" colorida USB 2.0 APTINA CMOS SENSOR). O tratamento das imagens foi realizado com o software do fabricante da câmera paralelamente à análise visual. Os fragmentos foram categorizados de acordo com sua morfologia em pellets, fibras/linhas, filmes e espumas (Figura 10), levando em consideração tamanhos e cores conforme recomendações do protocolo GESAMP (2019). Durante o processo de separação dos MPs das águas marinhas é importante separar visualmente os plásticos de outros materiais presentes nas matrizes ambientais, esta etapa é obrigatória no processo de coleta de dados antes de uma possível confirmação espectroscópica (GESAMP, 2019).

Figura 10: Estereomicroscópio acoplado à câmera e software para tratamento de imagens (F) e fragmentos microplásticos observados com aumento de 40 vezes. (A) polietileno 0,8 mm; (B) 0,2 mm de estireno; (C) polietileno 1,2 mm; (D) polietileno 1,4 mm; (E) polietileno de 1,9 mm; (G) polietileno 4,3 mm; (H) polietileno de 1,4 mm; (I) 1,8 mm de celulose; (J) 1,7 mm de celulose; (K) polietileno 3,0 mm.



Fonte: Autores (2023).

4.2.5 Caracterização das partículas de MPs e MePs segundo grupos funcionais por Espectroscopia FTIR-ATR

Um espectrofotômetro Agilent Cary 630 FTIR-ATR (Figura 11) foi utilizado para a caracterização das amostras. O espectrofotômetro Agilent FTIR com módulo de reflexão total atenuada (ATR) foi equipado com um prisma de seleneto de zinco de reflexão única (ZnSe) e com uma prensa de amostragem (CATOGGIO, 2022).

As partículas de MPs e MePs foram colocadas diretamente no módulo de análise ATR com auxílio de pinça histológica de ponta fina. Os fragmentos encontrados foram identificados de acordo com as diferentes estruturas moleculares poliméricas e com os tipos de polímero/copolímero na faixa de comprimento de onda de $650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Os grupos funcionais presentes no polímero de interesse absorvem parte da radiação eletromagnética em relação à estrutura molecular; a intensidade de transmitância é relativa à característica do

grupo funcional de cada MPs e MePs. As condições de operação do equipamento foram feitas de acordo com o número de varreduras de amostra e de fundo no total de 32 e resolução 8.

Figura 11: Visualização do espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) acoplado ao módulo de reflexão total atenuada (ATR) (A). Destaque para manipulação da amostra de microplástico sendo inserida no módulo ATR com auxílio de uma pinça histológica para análise (B).



Fonte: Autores (2023).

Após a varredura espectral, a identificação dos MPs foi realizada utilizando a biblioteca específica do fabricante e dados espectrais de polímeros disponíveis na literatura (SILVERSTEIN, 2006; PAIVA, 2010). De acordo com as bases de dados utilizadas, os MPs foram identificados com precisão e exatidão num intervalo entre 80 e 100% em comparação com espectros padrão.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Resultados

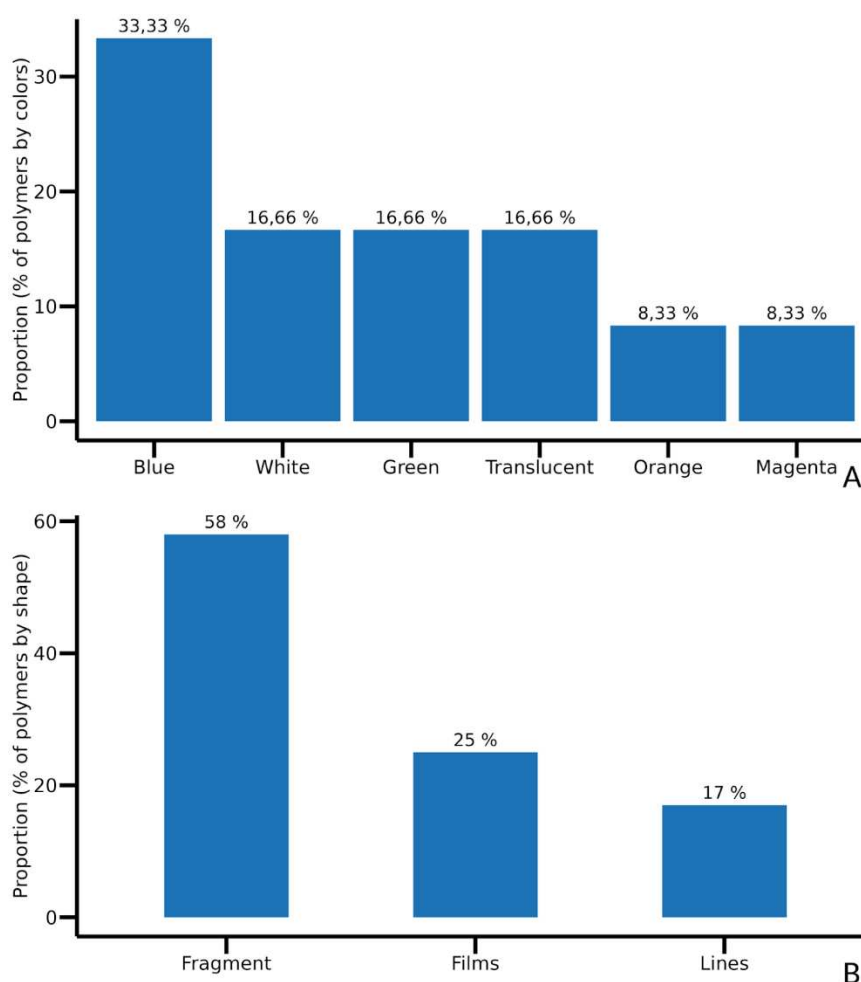
Foram avaliados 900 m³ de águas marinhas e obteve-se onze partícula de MPs e uma partícula de MePs, totalizando uma concentração de 0,012 MPs por metro cúbico. Nenhuma partícula de plástico foi observada nos controles utilizados durante o processamento da amostra no laboratório.

As doze partículas plásticas apresentaram características físicas heterogêneas, em relação a cores, tipos e tamanhos. Das doze partículas avaliadas, apenas uma foi classificada como MePs com tamanho de 23,8 mm e onze partículas classificadas como MPs com tamanho variando entre 0,2 mm e 4,3 mm.

O exame visual das amostras durante a coleta de dados, antes de uma possível confirmação por espectrofotometria, foi indispensável no processo de classificação das

partículas de acordo com sua morfologia (fragmentos, pellets, fibras/linhas, filmes e espumas) bem como a cor observada. Num total de 12 partículas classificadas quanto à morfologia foram classificados em sete fragmentos, três filmes e duas linhas; em termos de cor, foram quatro azuis, duas brancas, duas verdes, duas translúcidas, uma laranja e uma magenta (Figura 12).

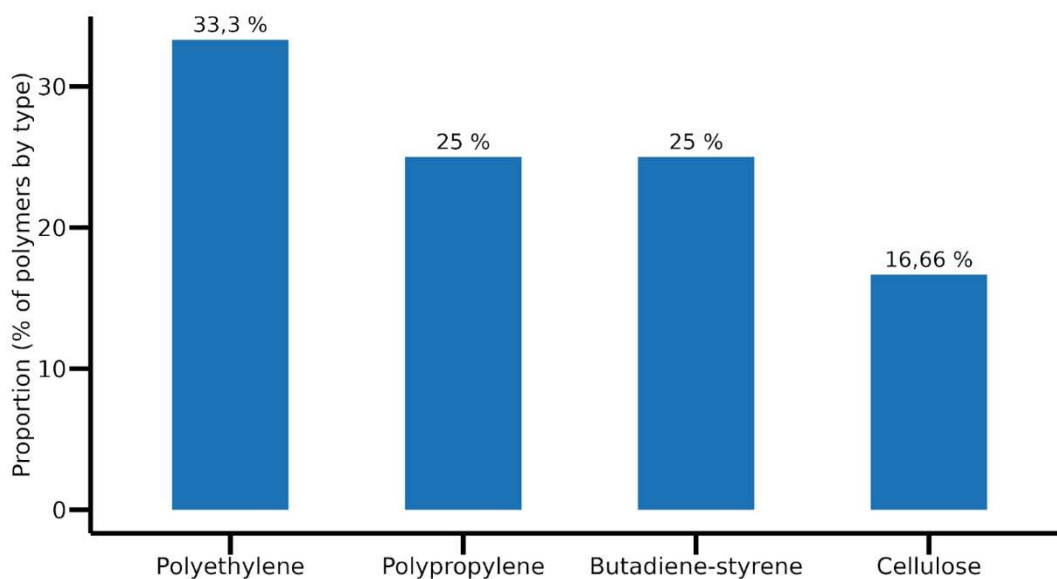
Figura 12: Gráfico representando as proporções de partículas de microplásticos avaliadas quanto aos aspectos morfológicos relacionados à cor (A) e a forma das partículas (B).



Fonte: Autores (2023).

As doze partículas plásticas encontradas foram analisadas por FTIR-ATR; e a definição das partículas foi obtida quanto ao tipo de polímeros de quatro polietilenos, três polipropilenos, três copolímeros de butadieno-estireno e dois de celulose (Figura 13).

Figura 13: Polímeros identificados em amostras de águas marinhas superficiais da região costeira da Praia Grande, São Francisco do sul - SC: polietileno, polipropileno, copolímero de estireno-butadieno e celulose.

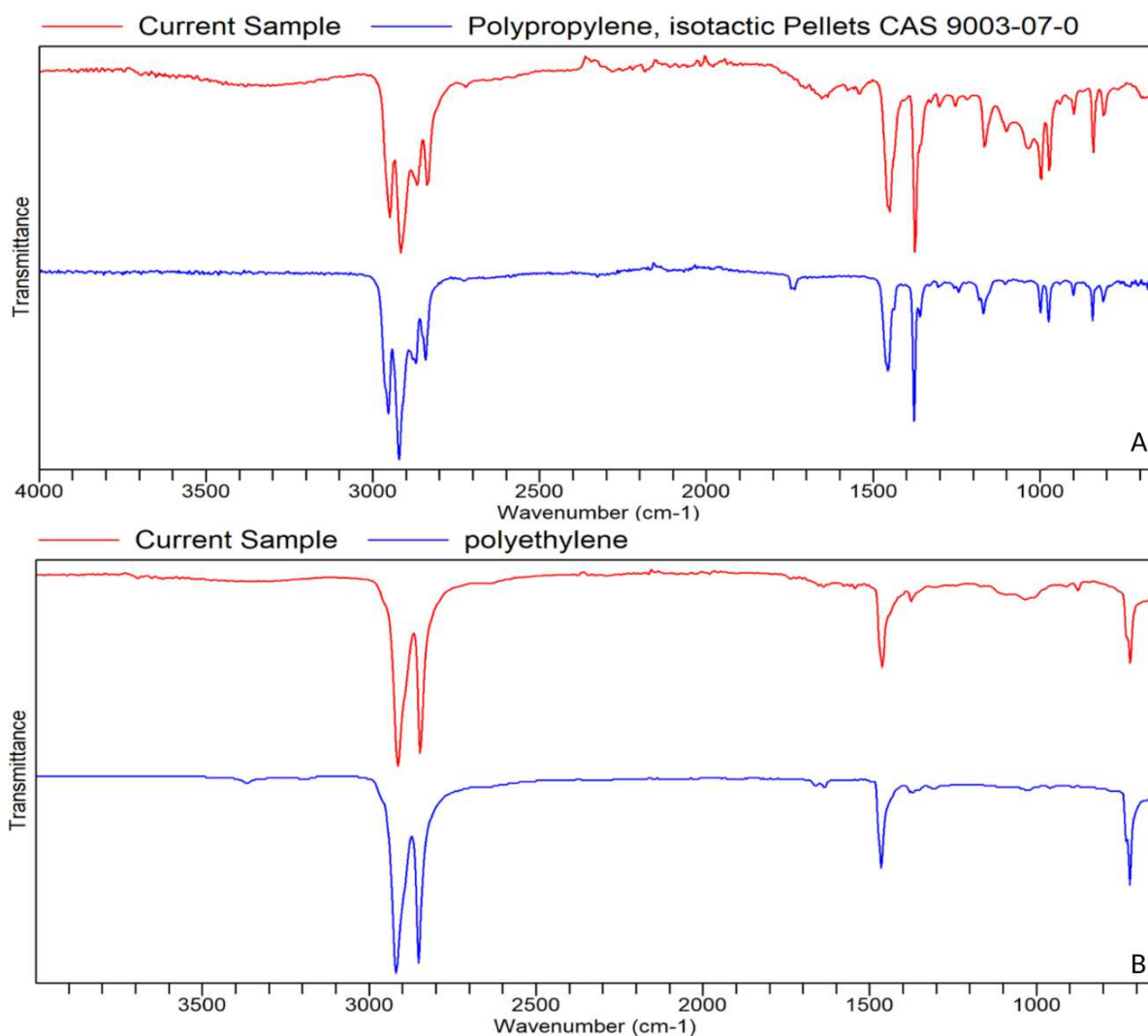


Fonte: Autores (2023).

Os espectros relativos de transmitância FTIR-ATR são mostrados nas Figuras 14 e 15. Amostras de polipropileno (Figura 14A) mostraram assinaturas características ocorrendo aproximadamente nos comprimentos de onda de 2.950 e 2.880 cm^{-1} que foram associadas aos trechos assimétricos das ligações CH em relação aos grupos funcionais metileno e etilênico; os trechos simétricos das ligações CH dos grupos funcionais metileno e etilênico foram evidentes em torno de 2.930 e 2.820 cm^{-1} , respectivamente. Deformações angulares relacionadas ao C-H dos grupos funcionais etílico e metílico ocorreram nos comprimentos de onda de 1370 e 1450 cm^{-1} respectivamente (SILVERSTEIN, 2006; PAIVA, 2010).

Comportamento semelhante foi observado nas amostras de polietileno (Figura 14B); nessas amostras foram observados sinais característicos em comprimentos de onda aproximados de 2.900 e 2.850 cm^{-1} em relação aos trechos simétricos e assimétricos das ligações C-H e em relação à deformação angular C-H em aproximadamente 1.450 cm^{-1} (SILVERSTEIN, 2006; PAIVA, 2010).

Figura 14: Espectros de transmitância FTIR - ATR de amostras selecionadas com varredura espectral de 650 a 4000 cm^{-1} segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent. polímero de polipropileno (A) com precisão de 0,75%; polímero de polietileno (B) com precisão de 0,93%.



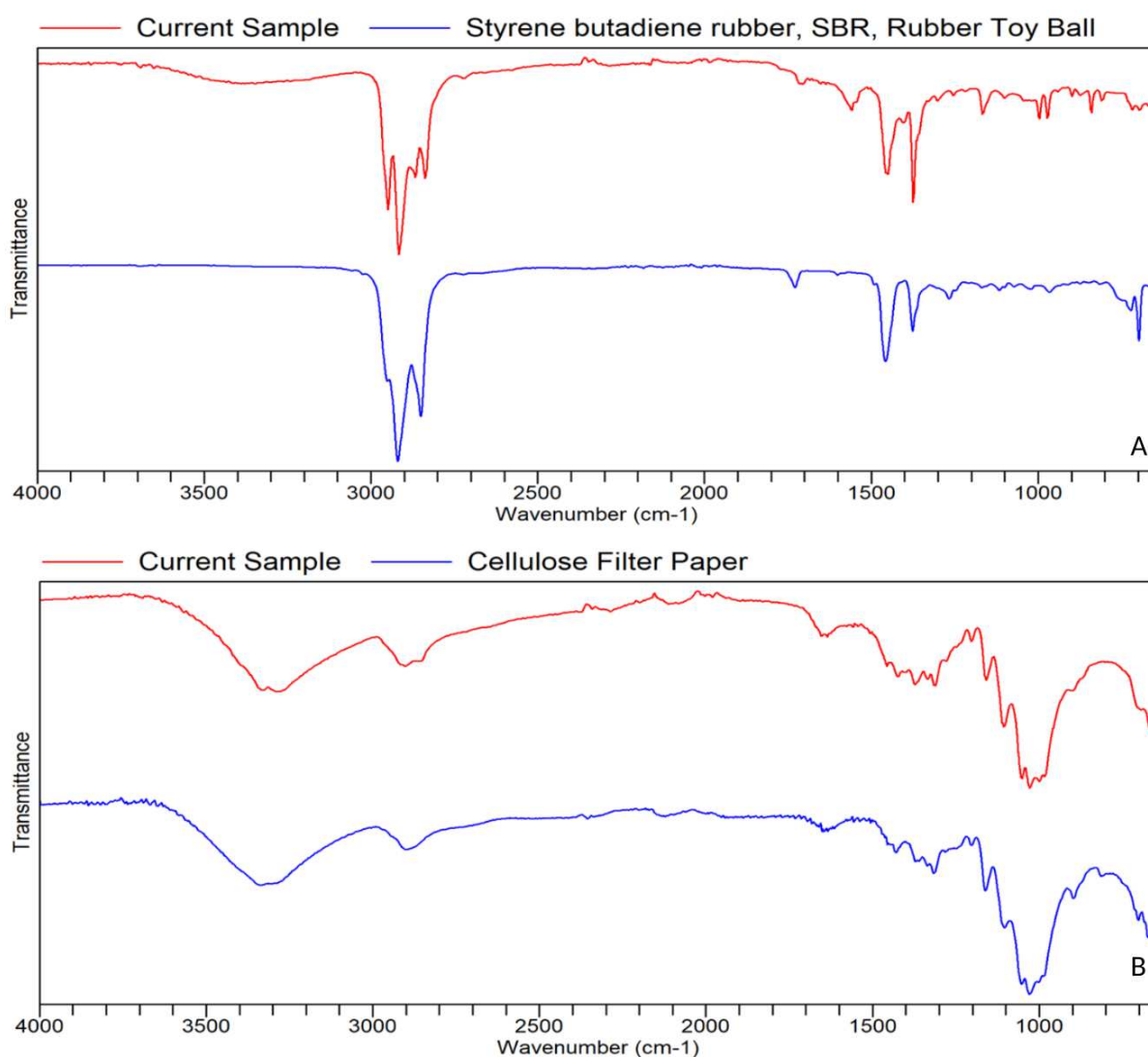
Fonte: Autores (2023).

Assinaturas características de um copolímero de estireno-butadieno foram observadas para a varredura espectral da amostra relatada na Figura 15A; características dos grupos funcionais dos polímeros estireno-butadieno foram observadas em regiões próximas a 2.950 e 2.850 cm^{-1} e foram associados aos trechos C-H dos carbonos saturados do anel estireno benzeno, e aos trechos C-H dos carbonos butadieno insaturados. Na região entre 1400 a 1500 cm^{-1} foram detectados os trechos característicos das ligações C=C tanto do estireno quanto do butadieno. Ressalta-se que as características físicas dos copolímeros semelhantes à

borracha envolvem aspectos relacionados à tenacidade e dureza que podem ser alteradas quando as amostras são prensadas com pinça histológica.

Os espectros da amostra da Figura 15B foram atribuídos a uma fibra de celulose possuindo assinatura característica dos grupos funcionais da celulose na região do infravermelho médio; manifestou tanto sinais intensos com máximo em 3.480 cm^{-1} em relação ao estiramento da ligação O-H, quanto sinais de alta intensidade em 2.918 e 2.850 cm^{-1} devido ao estiramento das ligações CH.

Figura 15: Espectros de transmitância FTIR - ATR de amostras selecionadas com varredura espectral de 650 a 4000 cm^{-1} segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent®. Estireno-butadieno (A) com precisão de $0,82\%$ e polímero de celulose (B) com precisão de $0,94\%$.



Fonte: Autores (2023).

3.2 Discussão

A concentração de MPs de 0,01 partículas.m⁻³ obtida pelo estudo realizado foi menor em comparação com outros estudos realizados no Brasil envolvendo a avaliação de MPs em águas marinhas (CASTRO *et al.*, 2020; OLIVATTO *et al.*, 2019), porém, conforme relatado no estudo de revisão realizado por Orona-Navar *et al.* (2022) os resultados dos estudos envolvendo a concentração de MPs na América Latina são altamente variáveis, tornando complexas as comparações entre os estudos; Essa variação pode estar relacionada a fatores como diferenças climáticas durante a amostragem, protocolos de amostragem, quantificação, localização, entre outros.

Os amostradores com malhas do tipo arrasto apresentam limitações em relação ao pequeno tamanho e pequena quantidade de água amostrada e falta de seletividade aos MPs secundários como fibras (LIU *et al.*, 2019); entretanto, o amostrador apresentou resultados satisfatórios considerando a pequena quantidade de água amostrada possibilitando a identificação dos polímeros de polipropileno, polietileno, celulose e copolímero de estireno-butadieno. São necessárias mais amostragens na região para melhor compreensão da poluição plástica na localidade avaliada.

As características físico-químicas das partículas de MPs e MePs foram verificadas visualmente tanto a olho nu quanto por estereomicroscópio. As partículas poliméricas obtidas pelo estudo apresentaram características físicas heterogêneas em relação a cores, tipos e tamanhos; com dimensões de partículas variando entre aproximadamente 0,20 e 23,8 mm, portanto foi confirmada a ocorrência de MPs e MePs na área avaliada pelo estudo. A diversidade de formas demonstradas pelos MPs ocorre principalmente devido aos processos de degradação físico-química; portanto a importância da adoção de critérios de classificação baseados em características físico-químicas em estudos envolvendo classificação de MPs, como o realizado por Frias *et al.* (2019).

As partículas com tamanhos entre 0,2 mm e 0,5 mm foram observadas com auxílio do estereomicroscópio para evitar a probabilidade de identificação incorreta, conforme sugerido no caso de partículas menores que 500 µm por Renner *et al.* (2018) e Lusher *et al.* (2020).

A caracterização visual envolvendo cor e formato da linha foi decisiva para a identificação de uma fibra artificial de celulose, embora permanecesse indeterminada a possibilidade de ser viscosa ou acetato de celulose. Na verdade, estudos anteriores

confirmaram a dificuldade de diferenciar fibras celulósicas artificiais (Rayon/Viscose) apenas por microscopia (COMNEA-STANCU *et al.*, 2017). Esses dados confirmam a importância da utilização tanto da etapa de visualização quanto da identificação espectroscópica, a fim de minimizar o aparecimento de falsos positivos.

Entretanto, deve-se ressaltar que, em relação ao formato dos MPs, a presença e utilização de diversos parâmetros de classificação na literatura mundial demonstraram a ausência de uma abordagem objetiva durante a classificação das partículas e revelaram inconsistências que poderiam reduzir a comparabilidade entre os estudos, limitando também a especulações sobre possíveis fontes.

A metodologia de purificação das amostras foi escolhida considerando os diversos aspectos da degradação dos polímeros descritos por Dehaut *et al.* (2016), Lusher *et al.* (2020b) e o Protocolo Gesamp (2019). Neste estudo, as amostras ambientais contendo matéria orgânica entre outros agentes interferentes, foram separadas dos MPs utilizando soluções alcalinas com o objetivo de reduzir erros naturais e falsos positivos na classificação de polímeros. Porém, sabe-se que a metodologia de digestão alcalina pode degradar tanto polímeros de policarbonato quanto poliésteres, conforme descrito por Lusher *et al.* (2020a).

A técnica de identificação FTIR-ATR permitiu a caracterização espectroscópica de fragmentos de MPs de matrizes ambientais aquosas marinhas sem qualquer preparação adicional de amostras, o que é comumente necessário quando a luz infravermelha precisa passar pelas partículas (CATOGGIO, 2022).

De acordo com estudos de Shim *et al.* (2017) devido à superfície dos MPs ser tipicamente irregular, os espectros de FTIR-ATR são geralmente de melhor qualidade em comparação com os espectros obtidos no modo de refletância, mas de qualidade inferior em comparação com os espectros obtidos no modo de transmissão, embora partículas de MPs menores sejam mais facilmente detectável por FTIR-ATR quando comparado ao modo de transmissão. Porém, a principal desvantagem do FTIR-ATR é a necessidade de contato superficial entre a amostra e o cristal ATR, exigindo um preparo técnico adequado do operador durante o manuseio das amostras.

As desvantagens citadas por Shim *et al.* (2017) foram observados no presente estudo, porém a identificação foi muito rápida porque não houve necessidade de preparo prévio de amostras, agilizando a análise de diversas partículas. O sucesso do uso da técnica FTIR para identificação de polímeros de fragmentos de MPs presentes em matrizes ambientais,

conforme mencionado por Mecozzi *et al.* (2016), K ppler *et al.* (2016), Yang *et al.* (2023), poderia contribuir para melhorar o monitoramento da origem e distribui o desses micropoluentes em diversas matrizes e com rela o a necessidade de utiliza o da avalia o espectral automática e manual conforme relatada por MORGADO *et al.* (2021) ocorre devido ao desafio da interpreta o dos espectros de partículas coletadas do meio ambiente ocasionada pela degrada o, envelhecimento ou revestimento de partículas com biofilmes.

4.4 Conclusão

Foi possível realizar a classifica o morfológica dos MPs em conjunto com a identifica o espectroscópica dos polímeros constituintes; polipropileno, polietileno, celulose e copolímero de butadieno-estireno foram os materiais identificados. A técnica de amostragem de MPs aqui utilizada para a matriz de água marinha apresentou estabilidade e facilidade de manuseio, portanto seu uso   recomendado. A técnica FTIR-ATR apresentou resultados eficientes na identifica o de partículas, apresentando precisão, agilidade e facilidade no preparo das amostras.

São necessárias mais pesquisas na região em diferentes épocas do ano envolvendo estudos quantitativos que contribuam para o monitoramento da presença e distribui o de MPs, bem como o desenvolvimento de metodologias apropriadas para diferentes matrizes ambientais com o objetivo de alcançar um bom nível de padroniza o e valida o das análises dos dados. A padroniza o   essencial para permitir a compara o entre estudos e durante o monitoramento de longo prazo das águas marinhas. A obten o de novos conhecimentos sobre diferentes fra oes em termos de tamanho, morfologia, distribui o e tipos de polímeros poderá assim contribuir para uma avalia o clara da dinâmica e dos impactos nos diferentes compartimentos ambientais; além da promo o de medidas de preven o mais eficazes, bem como melhores políticas de gestão ambiental. O trabalho contribuiu para a avalia o de águas superficiais marinhas de uma área ainda não avaliada em rela o   presença de MPs, e ao mesmo tempo descreveu detalhadamente as metodologias de análise de MPs para fins de reprodutibilidade, integrando os protocolos desenvolvidos pelo GESAMP e NOAA com outros importantes trabalhos relacionados as técnicas de purifica o para obten o de resultados mais eficientes envolvendo a digestão das amostras e separa o por densidade.

5 OCORRÊNCIA, CARACTERÍSTICAS E IDENTIFICAÇÃO VIA FTIR-ATR E ESTEREOMICROSCOPIA DE MICROPLÁSTICOS E MESOPLÁSTICOS EM SEDIMENTOS DE AREIA DE PRAIA EM SÃO FRANCISCO DO SUL (BRASIL)³

OCCURRENCE, CHARACTERISTICS AND IDENTIFICATION VIA FTIR-ATR AND STEREOMICROSCOPY OF MICROPLASTICS AND MESOPLASTICS IN BEACH SAND SEDIMENTS IN SÃO FRANCISCO DO SUL (BRAZIL)

RESUMO

O ambiente costeiro de orla marítima representa um local estratégico para monitoramento de resíduos plásticos onde trabalhos realizados apontam para um aumento desse tipo de contaminação nesses ambientes, o que torna cada vez mais urgente a realização do monitoramento constante desses contaminantes. Nesse sentido foram verificadas ocorrências de partículas envolvendo Microplásticos (MPs) e Mesoplásticos (MePs) no litoral de Santa Catarina junto ao município de São Francisco do Sul - SC na Praia Grande; envolvendo dois pontos com características heterogêneas quanto a urbanização e a exploração turística. As concentrações obtidas na área 1 foram de MPs (70,44 partículas m⁻² com relação a área e 7,04 partículas Kg⁻¹ com relação a massa) e MePs (25,11 partículas m⁻² ou 2,51 partículas Kg⁻¹). Na área 2, as concentrações obtidas foram MPs (19,11 partículas m⁻² ou 1,91 partículas Kg⁻¹) e MePs (6,67 partículas m⁻² ou 0,67 partículas Kg⁻¹). Com relação às características morfológicas envolvendo as formas das partículas de MPs e MePs houve predominância do tipo fragmento na Área 1 tanto para as partículas de MPs quanto MePs; e na Área 2 predominantemente a forma de linha para MPs e espuma para MePs. Quanto às cores, a cor branca foi predominante em todos os tipos de forma das áreas 1 e 2, com exceção para o MPs da área 1 em forma de linha que apresentou a cor azul em maior abundância. Foram realizadas as identificações poliméricas dos tipos de polímeros de acordo com os grupos funcionais de uma seleção de partículas envolvendo 102 MPs e 45 MePs via espectrofotometria (FTIR-ATR). A área 1 envolvendo os MPs e MePs apresentou em maior quantidade: polietileno, copolímero estireno-butadieno e polipropileno. Com relação a área 2, predominantemente o polipropileno, seguindo o polietileno e copolímero estireno-butadieno. Foi encontrada uma relação proporcional entre as quantidades de MePs e MPs nas diferentes áreas analisadas. Estudos envolvendo a padronização das metodologias de amostragem e análises bem como as unidades de concentração são um desafio a ser superado para que ocorram comparações entre os estudos possibilitando o monitoramento por longos períodos e uma melhor compreensão da distribuição dos MPs e MePs nos ambientes costeiros de sedimentos de praia.

³ Artigo submetido para Revista Ocean and Coastal Research (OCR) ISSN (on-line): 26752824: <https://www.ocr-journal.org/>

Palavras-chave: areia de praia, caracterização de microplásticos, impacto ambiental, sistema costeiro, gestão de resíduos.

Abstract

The coastal environment of the seashore represents a strategic location for monitoring plastic waste where work carried out points to an increase in this type of contamination in these environments, which makes constant monitoring of these contaminants increasingly urgent. In this sense, occurrences of particles involving Microplastics (MPs) and Mesoplastics (MePs) were verified on the coast of Santa Catarina near the municipality of São Francisco do Sul - SC in Praia Grande; involving two points with heterogeneous characteristics regarding urbanization and tourist exploitation. The concentration obtained in area 1 was MPs (70.44 particles m^{-2} or 7.04 particles Kg^{-1}) and MePs (12.88 particles m^{-2} or 4.07 particles Kg^{-1}). Area 2 presented concentrations of MPs (40.66 particles m^{-2} or 1.91 particles Kg^{-1}) and MePs (19.12 particles m^{-2} or 0.67 particles Kg^{-1}). Regarding the morphological characteristics involving the shapes of MPs and MePs particles, there was a predominance of the fragment type in Area 1 for both MPs and MePs particles; and in Area 2 predominantly the line shape for MPs and foam for MePs. As for colors, the white color was predominant in all types of shape in areas 1 and 2, with the exception of the line-shaped MPs in area 1, which presented the blue color in greater abundance. Polymeric identifications of polymer types were carried out according to the functional groups of a selection of particles involving 102 MPs and 45 MePs via spectrophotometry (FTIR-ATR). Area 1 involving MPs and MePs had the greatest quantity: polyethylene, styrene-butadiene copolymer and polypropylene. Regarding area 2, predominantly polypropylene, followed by polyethylene and styrene-butadiene copolymer. A proportional relationship was found between the amounts of MePs and MPs in the different areas analyzed, according to the heterogeneous characteristics along the beach. Studies involving the standardization of sampling and analysis methodologies as well as concentration units are a challenge to be overcome so that comparisons can occur between studies, enabling monitoring over long periods and a better understanding of the distribution of MPs and MePs in coastal sediment environments Beach.

Keywords: beach sand, microplastic characterization, environmental impact, coastal system, waste management.

5.1 Introdução

A interface entre o continente e o mar, definida como linha de costa marinha é um importante sítio no monitoramento de resíduos plásticos, devido a características como: acúmulo da quantidade de lixo marinho, eventualmente mais próximo das fontes terrestres com maior acessibilidade na amostragem; portanto é um dos primeiros sítios ambientais, levado em consideração na quantificação do lixo marinho (GESAMP, 2019). Estudos da presença de MPs em regiões remotas, mas com atividade antropogênica, apontam elevados impactos envolvendo a poluição por MPs em sedimentos de praia (LLOYD-JONES *et al.*, 2023). A quantidade expressiva de MPs encontrada em praias arenosas ressalta a necessidade de ações de proteção desses ecossistemas através da compreensão das fontes geradoras e condução de estratégias no gerenciamento desses resíduos.

A origem dos microplásticos presentes nos ambientes costeiros, incluindo praias arenosas, é complexa devido à heterogeneidade dos fatores relacionados à ocorrência no entanto os rios são apontados como um dos principais contribuintes para a inserção e contaminação dos plásticos nesses ambientes, especialmente em países onde as águas residuais de origem antropogênica, não dispõem de sistemas eficientes de monitoramento e tratamento; resultando no descarte frequente de resíduos por indústrias e municípios, contribuindo para o aumento da contaminação por MPs (ALAM *et al.*, 2019; SODRÉ *et al.*, 2023).

Em 2022, um total de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos foi produzido no Brasil, dos quais 39% foi destinado inadequadamente, segundo o Panorama Abrelpe (2022), onde os resíduos expostos no meio ambiente ficam susceptíveis à entrada no leito dos rios. Entre outras possíveis entradas de resíduos plásticos são apontadas a influência das marés, carregados pelas ondas nas praias; atividades de pesca (AYTAN *et al.*, 2016) influência do vento (WILLIS *et al.*, 2017), e atividades recreativas (DOWARAH; DEVIPRIYA, 2019). Os estudos realizados no Brasil envolvendo a ocorrência de MPs e MePs em zonas costeiras não ocorrem de forma homogênea, com concentração de trabalhos nas regiões Sudeste e Nordeste (MONTAGNER *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2023); dos 17 estados litorâneos do Brasil sete em um total de 41%, não possuem estudos sobre MPs em praias arenosas, portanto é necessária

uma ampliação de pesquisas envolvendo MPs realizada em todo litoral brasileiro uma vez que 70% da população brasileira ocupa regiões costeiras densamente povoadas (IBGE, 2018). Segundo GODOY *et al.* (2020), as características geomorfológicas das praias podem influenciar nas quantidades de MPs, apontando as praias abrigadas, formato de baía são mais propensas a deposição de partículas com relação a praias expostas, bem como a granulometria dos sedimentos que quanto mais fino proporciona uma maior retenção de partículas de MPs.

A Praia Grande local de pesquisa do presente estudo, é constituída segundo sua geomorfologia por um sistema deposicional costeiro de idade holocênica apresentando ao centro-sul a ocorrência de cordões litorâneos enquanto ao norte da praia ocorre depósitos eólicos com dunas de até 20 m de altura influenciadas por ventos provindos em sua maioria do sul (66,0%), seguido do leste (26,0%), nordeste (7,0%) com ventos menos expressivos provindos do sudeste, segundo (ALQUINI *et al.*, 2018; POSSAMAI *et al.*, 2010). A praia grande está localizada na cidade de São Francisco do Sul, classificada como a terceira cidade mais antiga do Brasil, com uma população fixa de aproximadamente 52.674 habitantes e um território de 498,65 Km² (IBGE, 2022).

A concentração de resíduos depositados na orla é influenciada pelas atividades turísticas e pelas correntes marítimas de deriva longitudinal que possuem direção ao norte nas proximidades de São Francisco do Sul, município de Santa Catarina (Brasil), segundo estudo realizado por Castilhos e Gré (2004). O sentido de norte para o sul da direção das correntes de deriva longitudinal foi verificado também por (Hesp *et al.*, 2002) através das feições geomorfológicas, padrões de distribuição de sedimentos e de variação mineralógica ao longo da costa do estado de Santa Catarina. A ilha de São Francisco do Sul possui uma linha de costa com ocorrência de ambientes de hidrodinâmica distinta, com praias expostas e semi-abrigadas, segundo Truccolo *et al.* (2006); encontra-se sob o regime de micro marés com amplitude inferior a 2 m, com atuação de marés meteorológicas que exercem grande influência na dinâmica costeira regional, podendo elevar em até 1 m as amplitudes das marés astronômicas. Com relação a pluviosidade os meses entre junho e agosto são os mais secos com médias entre 92,2 mm e 96,4 mm, e os mais úmidos são fevereiro e janeiro, com médias entre 281 mm e 248,1 mm, contabilizando uma pluviosidade regional por ano de 2500 mm (PANDOLFO *et al.*, 2002). Um estudo realizado nessa região envolvendo a caracterização dos resíduos encontrados na orla marítima da Praia Grande, os resíduos plásticos foram os mais encontrados (STELMACK *et al.*, 2018).

O presente estudo teve como objetivo analisar sedimentos de dois transectos ao longo da praia localizados na região da Praia Grande- SC os quais apresentam característica heterogêneas envolvendo a granulometria dos sedimentos e exposição da orla marítima, sendo um ponto de orla exposta e outro semi-abrigada, bem como diferentes intensidades de atividades turísticas. Nesse estudo foi verificado também a distribuição das partículas nas diferentes áreas de marés; caracterização das partículas envolvendo os aspectos morfológicos envolvendo formas e cores, bem como a identificação polimérica segundo os grupos funcionais via espectroscopia FTIR-ATR, contribuindo com informações relacionados a distribuição e características dos contaminantes envolvendo os MPs e MePs em uma região do sul do Brasil ainda não investigada com relação a essa temática; objetivando amplificar a compreensão dos problemas ambientais e incentivar trabalhos no monitoramento e viabilizar medidas na regulamentação envolvendo a proteção ambiental.

5.2 Materiais e Métodos

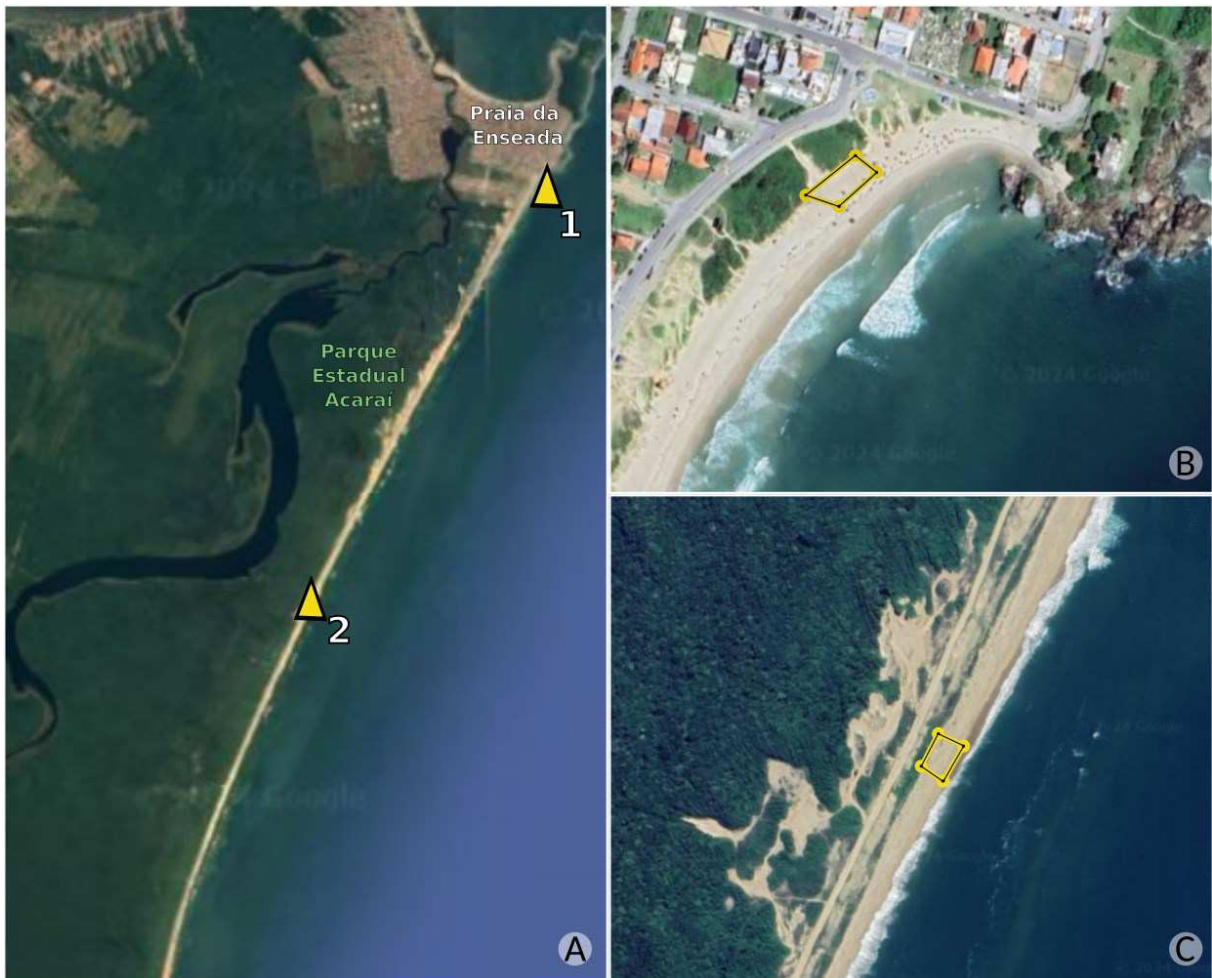
5.2.1 Localização e amostragem de sedimentos de areia de praia

A Praia Grande está localizada na cidade de São Francisco do Sul, litoral norte do estado de Santa Catarina, Brasil e possui uma extensão de orla marítima de aproximadamente 26 km, onde se localiza uma área de preservação ambiental permanente, vinculada ao Parque Estadual do Acaará além de áreas urbanizadas que apresentam uma intensa atividade turística principalmente em altas temporadas.

A coleta das amostras de sedimentos de areia foi realizada no mês de agosto, considerado o mês com menor pluviosidade (www.climate-data.org) para a região de São Francisco do Sul - SC, destacando que não houve precipitação pluviométrica durante o período de amostragem.

As áreas de amostragem foram realizadas em dois transectos da orla marítima (Figura 16) contemplando uma área urbanizada e uma área pertencente ao Parque Estadual do Acaará com dimensões respectivas de 105x30 m (Área 1) e 105x12 m (Área 2), paralelas à orla marítima de acordo com a faixa de areia. Os pontos georreferenciados na Área 1 (-26,2351263950 -48,5026640120) e Área 2 (-26,2915200780 -48,5367879800) para coleta das amostras de MPs na areia da Praia Grande foram obtidas utilizando o datum WGS-84.

Figura 16: Localização dos sítios de amostragem de sedimentos de areia de praia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC e nomeados como Área 1 e Área 2 (A). Vista superior aproximada da área 1 (B) e área 2 (C).



Fonte: Google Earth® com modificações dos autores (2023).

Em paralelo à orla marítima, cada transecto foi dividido em três partes com objetivo de contemplar as áreas de maré baixa, maré intermediária e maré alta (GESAMP, 2019) (Figura 17). As três faixas de marés foram subdivididas verticalmente à orla marítima em três partes nos quais foram realizadas duas coletas em pontos previamente definidos; totalizando 18 pontos de coleta em cada área de amostragem.

Figura 17: Visualização dos sítios de amostragens de sedimentos de areia de praia da área 1 (A) e área 2 (B) com suas respectivas subdivisões contemplando as faixas de marés alta, maré intermediária, e maré baixa.



Fonte: Google Earth® com modificações dos autores (2023).

Para realização das coletas utilizou-se molduras de madeira com dimensões de 50 cm x 50 cm (com área de 2500 cm²) e dentro do limite interno da moldura foram coletadas com utilização de uma pá de metal alíquotas de sedimentos de areia superficial em uma profundidade de até 5 cm (BESLEY *et al.*, 2017). O limite de profundidade foi definido com auxílio de um palito de madeira contendo a marcação de 5 cm (Figura 18). As amostras foram transferidas para um frasco de vidro previamente higienizado em laboratório cobertos com papel alumínio e lacrados com tampa de metal, após as amostragens foram encaminhadas ao laboratório para análise. Foram coletadas amostras de 250 g de areia de cada área avaliada, posteriormente encaminhadas ao Freitag Laboratório para análise do solo envolvendo a granulometria da areia.

Figura 18: Equipamentos para coleta de amostras com destaque para o quadro amostral de madeira com frasco de vidro e pá para coleta em inox (A) Realização da coleta de amostra na areia superficial (B). Característica paisagística do sítio de amostragem (C). Fonte: Autores (2023).



5.2.2 Procedimentos de controle de qualidade durante análises laboratoriais

Para minimizar possíveis fontes de contaminação das amostras com partículas presentes no ambiente e durante a manipulação no laboratório; foram adotados procedimentos no controle de qualidade como: limpeza das vidrarias com detergente, seguido do enxágue em triplicata com água deionizada grau HPLC com secagem em estufa à 100° C; a manipulação das amostras foi feita utilizando luvas de nitrila e jaleco de algodão durante todos os experimentos.

Os procedimentos foram realizados em uma cabine de fluxo laminar horizontal da Marca Lutech, para minimizar eventuais contaminações com materiais particulados em suspensão no ar. Antes da realização dos procedimentos de análise envolvendo a preparação e separação das amostras as superfícies de trabalho foram completamente limpas com etanol 70% e as amostras controles contendo apenas a solução salina de cloreto de sódio saturada previamente filtrada, foram utilizadas para monitorar o nível de contaminação dos ambientes de análise.

Uma amostra controle foi processada a cada dia em que as extrações foram realizadas no laboratório, as quais foram expostas às mesmas condições de manipulação das amostras com o diferencial de permanecerem sem a proteção de papel alumínio para realização do monitoramento de contaminação aérea.

Não foram realizadas provas de controle durante o procedimento de coleta de amostragem em campo, considerando que o procedimento amostral fora o mesmo para todas as alíquotas, portanto expostas à contaminação potencial pelo mesmo período de tempo. No entanto, os controles das análises laboratoriais realizados foram analisados em um estereomicroscópio e o valor médio de partículas observadas nas amostras controle foram subtraídas da quantidade de partículas observadas nas amostras em estudo.

5.2.3 Procedimento de separação de amostras via tamisação e por diferença de densidade

Os processos de separação das amostras foram realizados seguindo recomendações descritas pelo protocolo de referência da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. Após a secagem em estufa a 60 °C por 48 horas foi realizada a tamisação da areia coletada em cada ponto utilizando peneiras de aço inoxidável de malhas 5,6 mm e 1 mm onde foram visualizados a olho nú e separados com uma pinça histológica os fragmentos de

polímeros de MePs com valores entre 5 mm e 25 mm) e MPs com dimensões entre 1 mm a 5 mm (Figura 19A).

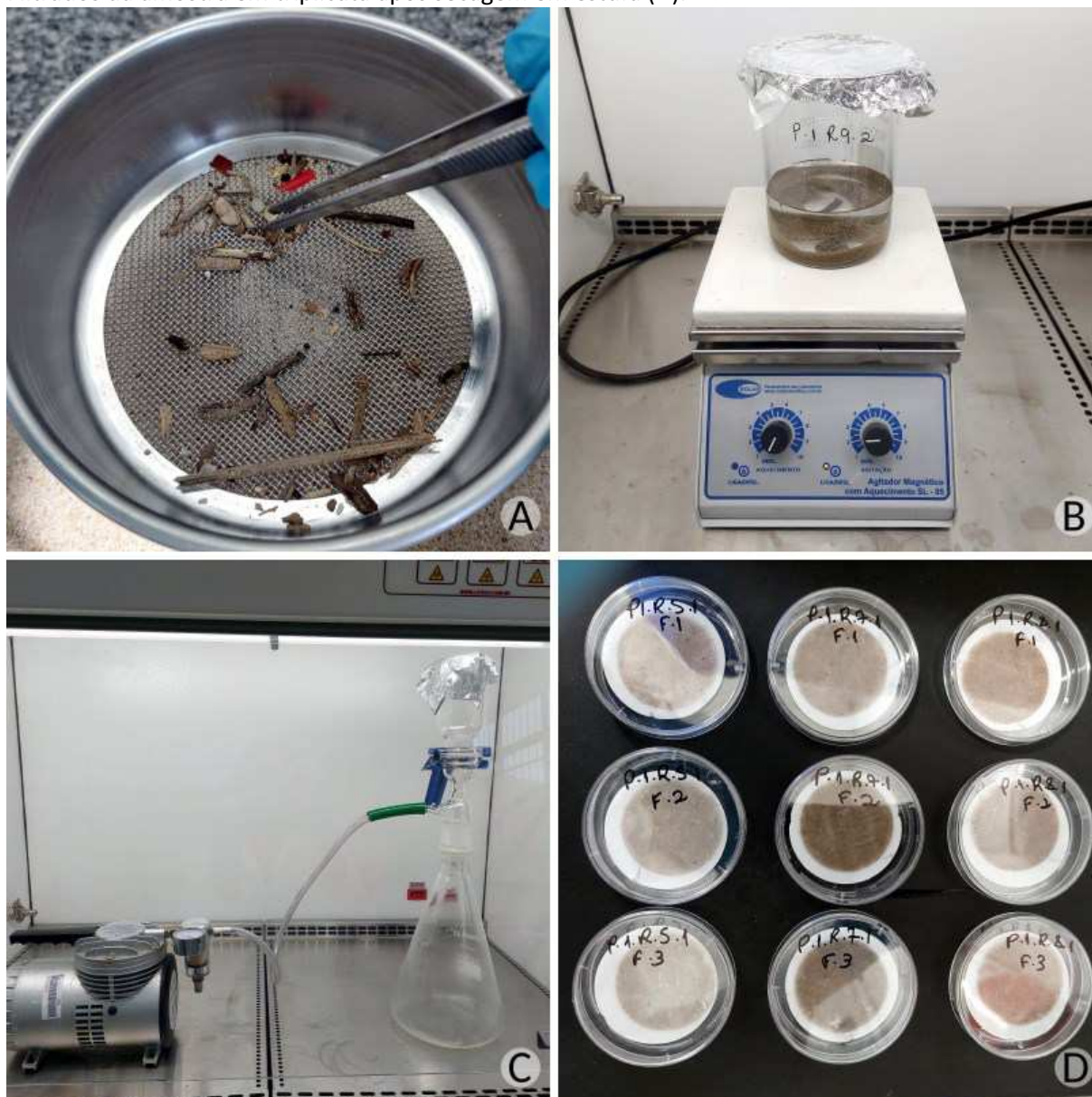
As amostras de areia peneiradas referente a cada ponto de amostragem foram homogeneizadas, quarteadas e separadas por alíquotas de 50 cm³ seguida da separação por densidade.

A extração dos MPs por densidade foi realizada utilizando uma solução salina saturada de NaCl preparada a partir da dissolução de 360 g de NaCl de pureza analítica (PA) em 1 Litro de água ultrapura e posteriormente filtrada em Filtro Millipore de vidro com abertura de poro de 0,7 µm. O cloreto de sódio (NaCl) é um dos sais mais comuns para separação por densidade (PRATA *et al.*, 2019) recomendado pelo NOAA (2015) por ser abundante, barato e ecológico. A filtração da solução salina é recomendada para eliminação de possíveis contaminantes por MPs como já verificado em estudo anterior realizado com sal de cozinha (YANG *et al.*, 2015).

Em um béquer de 600 ml foram adicionados 50 cm³ de areia seca seguida da adição de 200 ml de solução salina conforme Urban-Malinga *et al.* (2020). A mistura foi agitada com um agitador magnético por 2 min a 600 rpm utilizando uma barra magnética revestida de vidro (Figura 19B) em seguida colocada em repouso para sedimentação por 1 hora, cabe ressaltar que devem ser utilizados materiais que possam diminuir o falso positivo. O sobrenadante foi transferido cuidadosamente para um sistema de filtração à vácuo com filtros de fibra de vidro com porosidade de 0,7 µm (Figura 19C).

Os procedimentos de decantação e filtração foram repetidos em triplicata, os filtrados obtidos de cada amostra foram transferidos para placas de Petri cobertas (Figura 19D), em seguida colocadas em estufa para secagem à temperatura de 40 °C por um período de 24 horas. Os béqueres e os funis de filtração foram cobertos com papel alumínio durante a agitação, sedimentação e filtração, a fim de minimizar possível contaminação.

Figura 19: Destaque da separação via tamisação das partículas de tamanho superior a 1 mm (A). Agitação da amostra de areia com solução saturada de NaCl para procedimento de separação por densidade (B). Sistema de filtração a vácuo utilizando filtro de vidro com porosidade de 0,7 μm (C). Filtrados da amostra em triplicata após secagem em estufa (D).



Fonte: Autores (2023).

5.2.4 Visualização microscópica e classificação morfológica das partículas de MPs e MePs

As partículas de MPs com dimensões entre 1 a 5mm, MePs com valores entre 5 a 25mm, foram retidos nos tamises e inicialmente visualizados a olho nu, foram quantificados e medidos com auxílio de um paquímetro digital. A análise microscópica dos filtrados foram examinados utilizando um Estereomicroscópio marca Olen acoplado a uma câmera digital (marca Digilab modelo DI-5.0HD) em conjunto com um software disponibilizado pelo fabricante para tratamento de imagens permitindo a quantificação de MPs na faixa de 0,3 a

5 mm (NOAA, 2015); às análises dimensionais das partículas e suas medidas foram realizadas com aumento de 40 vezes, os critérios descritos com relação à morfologia (cores, forma e tamanho) foram baseados nos protocolos GESAMP 2019 e NOAA (2015), os quais foram enumerados e categorizados com relação ao tipo de forma: fibras, fragmentos, grânulos/pellets e filmes; tamanho: comprimento das fibras e seção transversal das demais partículas; e cores com relação a pigmentação dos polímeros.

5.2.5 Caracterização das partículas de MPs e MePs segundo grupos funcionais por Espectroscopia FTIR-ATR

Partículas de MPs (1mm a 5mm), MePs foram selecionadas de acordo com suas semelhanças morfológicas e separadas em um total de 102 e 45 partículas respectivamente para análise via FTIR-ATR, e identificação segundo os grupos funcionais, portanto com relação aos tipos de polímeros e copolímeros.

As amostras de MPs foram colocadas diretamente no módulo de análise ATR com o auxílio de uma pinça histológica de ponta fina; em seguida foram feitas varreduras espectrais em um intervalo de número de onda de 650–4000 cm^{-1} com averiguação simultânea das análises junto a biblioteca de dados. Os fragmentos encontrados foram identificados e caracterizados com relação às diferentes estruturas moleculares poliméricas onde parte da radiação eletromagnética é absorvida por determinados grupos funcionais, diretamente relacionado a estrutura molecular do polímero de interesse; a intensidade de transmitância é relativa ao grupo funcional característico de cada MP. A caracterização dos MPs foi realizada através de uma biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent modelo Cary 630 do modelo FTIR-ATR, somada a caracterização espectroscópica dos grupos funcionais dos polímeros na literatura (SILVERSTEIN,2005; PAIVA, 2010).

5.2.6 Análise estatística do quantitativo de MPs e MePs obtidos nas duas áreas de estudo

As análises estatísticas foram realizadas no software JAMOVI® versão 2.2.5. para verificar as diferenças entre as densidades nos dois pontos analisados envolvendo a quantidade de partículas de MPs e MePs. Após a verificação que os dados não possuíam distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilks, as diferenças significativas foram verificadas utilizando os testes não paramétricos de Wilcoxon-Mann-Whitney (U), envolvendo os dois

pontos de amostragem e Kruskal-Wallis (KWT) envolvendo a diferença de densidade entre as faixas de marés. Para todos os testes a faixa de confiança foi de 95% com nível de significância de 5% (relacionado ao valor de $p < 0,05$).

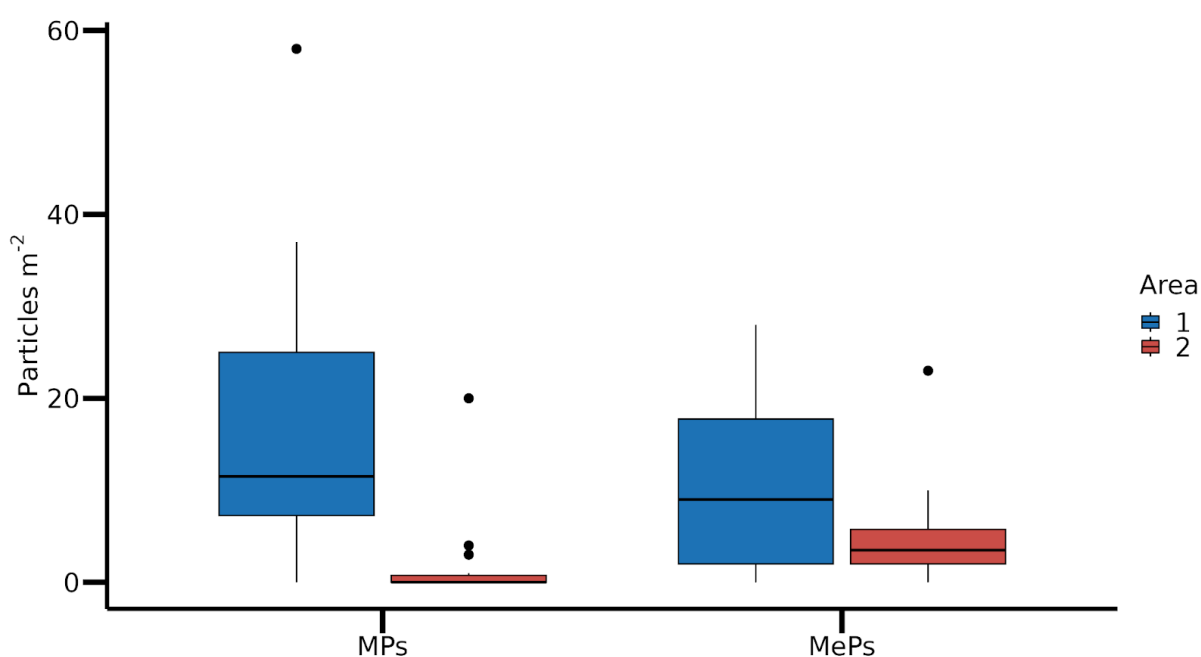
5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Resultados

5.3.1.1 Abundância de MPs, MePs obtidos nas áreas de estudo 1 e 2

Os transectos de orla marítima das áreas 1 e 2 avaliadas pelo estudo apresentaram diferença com relação à concentração de partículas plásticas envolvendo os MPs e MePs (Figura 20) com p valor $< 0,001$ segundo teste Mann-Whitney (U). A área 1 apresentou uma concentração superior de partículas comparado a área 2 em todas categorias de tamanhos para MPs e MePs. A concentração obtida na área 1 foi de MPs (70,44 partículas.m⁻² com relação a área e 7,04 partículas. Kg⁻¹ com relação a massa) e MePs (25,11 partículas.m⁻² ou 2,51 partículas. Kg⁻¹). Na área 2, as concentrações obtidas foram MPs (19,11 partículas.m⁻² ou 1,91 partículas. Kg⁻¹) e MePs (6,67 partículas m⁻² ou 0,67 partículas. Kg⁻¹).

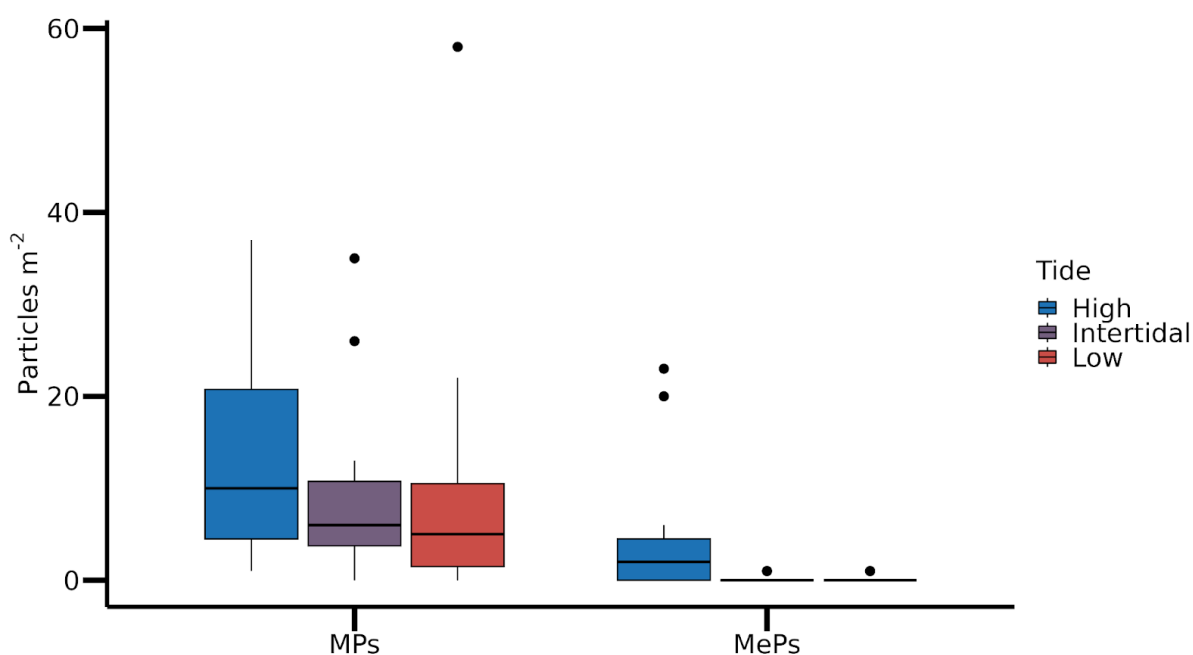
Figura 20: Quantidade de partículas de microplásticos e mesoplásticos coletadas nos sedimentos de areia dos sítios de amostragem das áreas 1 e 2, na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC.



Fonte: Autores (2023).

A avaliação da abundância de partículas de MPs e MePs nas faixas de maré baixa, intermaré e maré alta apontou uma diferença significativa envolvendo somente as partículas de MePs segundo teste Kruskal-Wallis (valor de $p < 0.012$) com uma maior abundância de partículas identificadas na faixa de maré alta, enquanto a quantidade amostrada de MPs nas diferentes faixas de marés não apresentaram diferença significativa segundo teste de Kruskal-Wallis (valor de $p < 0.395$). A representação da quantidade de partículas por faixa de maré pode ser verificada na figura 21.

Figura 21: Quantidade total de partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nas diferentes faixas de marés (Alta, Intermediária e Baixa) contemplando as duas áreas de amostragem.



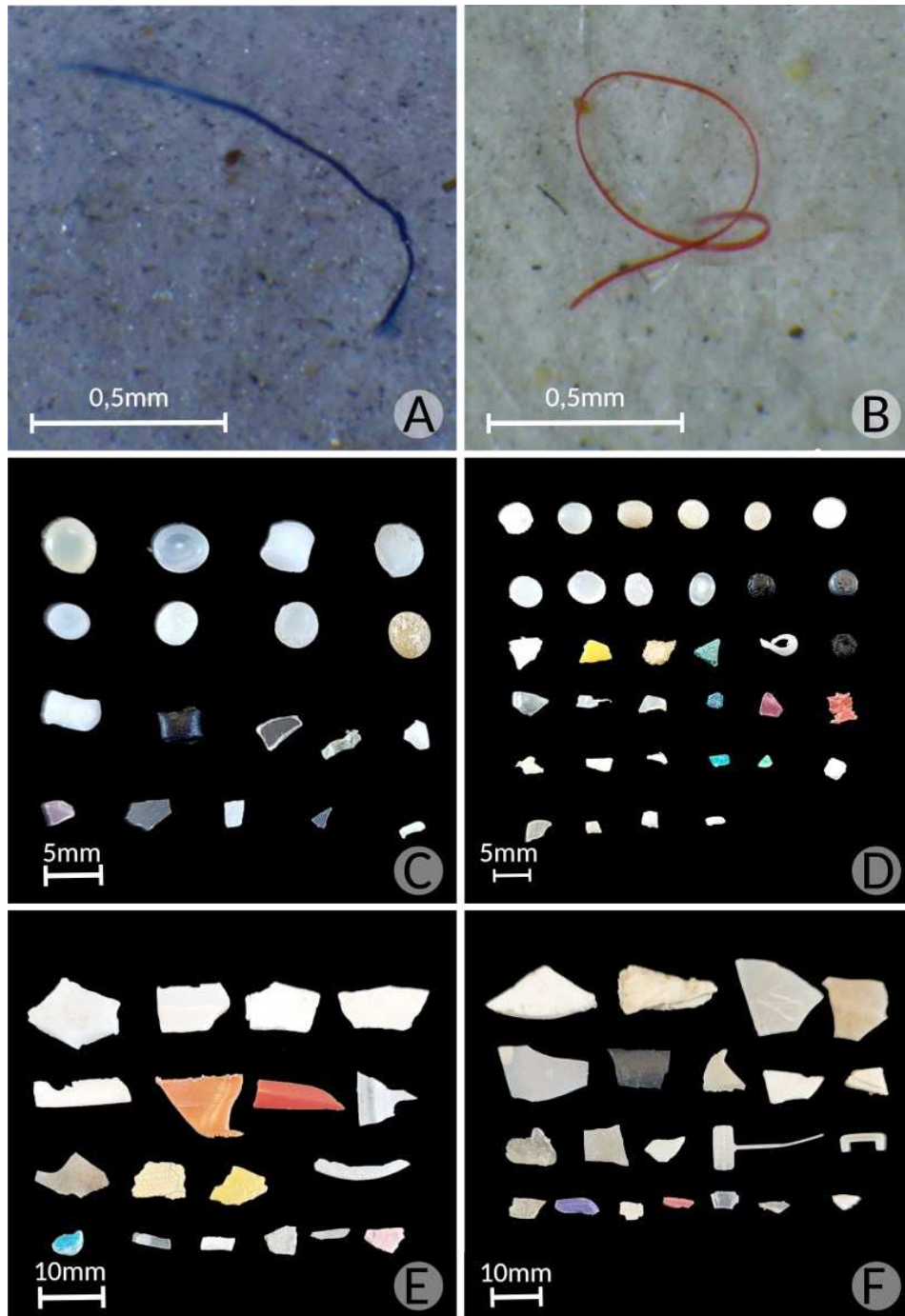
Fonte: Autores (2023).

O teste de correlação aplicado nas duas categorias de partículas envolvendo MPs e MePs das duas áreas de amostragem apresentou uma correlação positiva (correlação de 0,623 com valor de $p < 0,001$) envolvendo a quantidade de MPs e MePs.

5.3.1.2 Aspectos morfológicos com relação a forma e cor das partículas de MPs e MePs

Os aspectos morfológicos envolvendo as formas, cores e dos MPs e MePs foram heterogêneos apresentando uma ampla variedade de formas e cores como pode ser observado nas amostras representadas na Figura 22.

Figura 22: Visualização de partículas de microplásticos com utilização de estereomicroscópio em aumento de 40 vezes (A) e (B), Aspectos de partículas de MPs (C) e (D) e partículas de mesoplásticos (E) e (F) retidas na peneira de 1mm obtidas na amostras de sedimentos de areia coletadas nas áreas 1 e 2, destacando uma ampla diversidade de formas, cores e tamanhos.



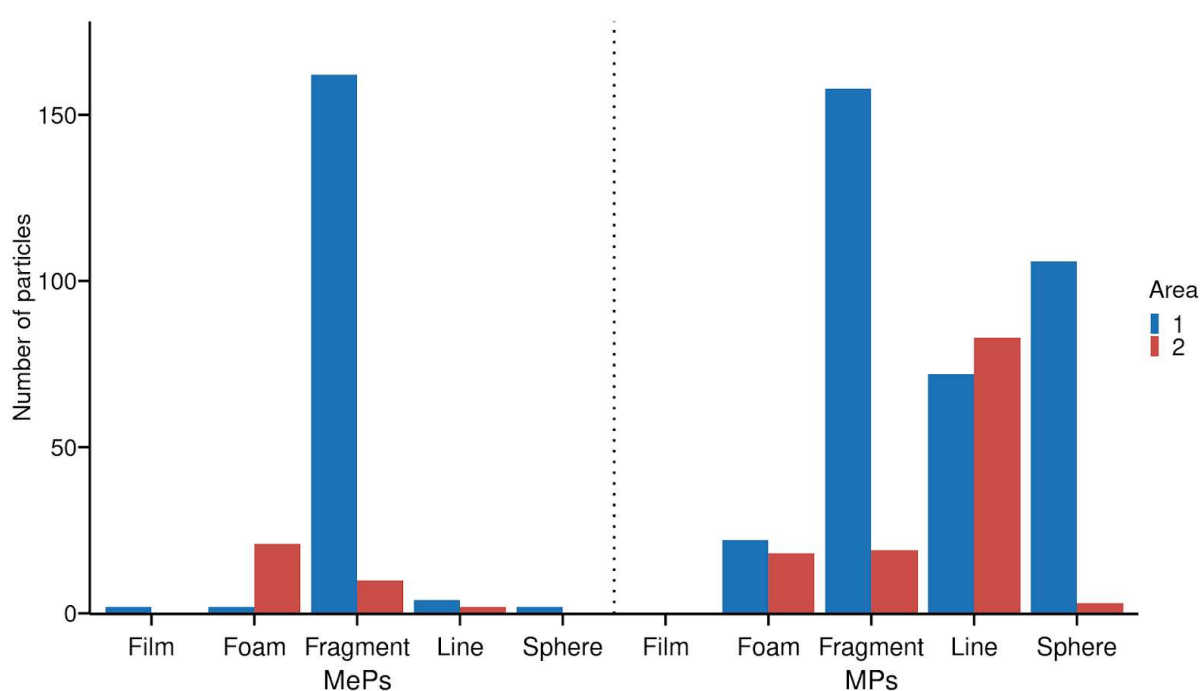
Fonte: Autores (2023).

5.3.1.2.1 Aspectos morfológicos da forma das partículas de MPs e MePs

Sobre a característica morfológica envolvendo a forma dos MPs e MePs avaliados na área 1 (Figura 23), ocorreu uma predominância com relação as partículas de MPs da forma de fragmentos (49.7%) seguidas de Pellets (44,13%), Linha (29.61), Espuma (6.15%) e envolvendo os MePs as formas predominantes foram os fragmentos (88,52%) seguido de Linha (2,19%), Espuma (1,09%), Pellets (1,09%) Filme, somente observada em partículas de MePs (1,09%).

Na área 2 (Figura 23) a forma de MPs predominantes foi a Linha (67%) seguida de Fragmento (15,45%), Espuma (14,63%), Pellets (2,44%), já com relação ao MePs a formas predominante foi a Espuma (63,64%) seguida do Fragmento (30,30%) e Linha (6,06%). De acordo com a forma dos MPs a soma das duas áreas avaliadas, obtém-se a seguinte ordem com relação a quantidade de formas: Fragmentos > Linha > Pellets > Espumas e com relação aos MePs obtém-se a seguinte ordem com relação a quantidade de formas: Fragmentos > Espuma > Linha > Pellets e este igual aos Filmes.

Figura 23: Tipos de formas observadas nas partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.

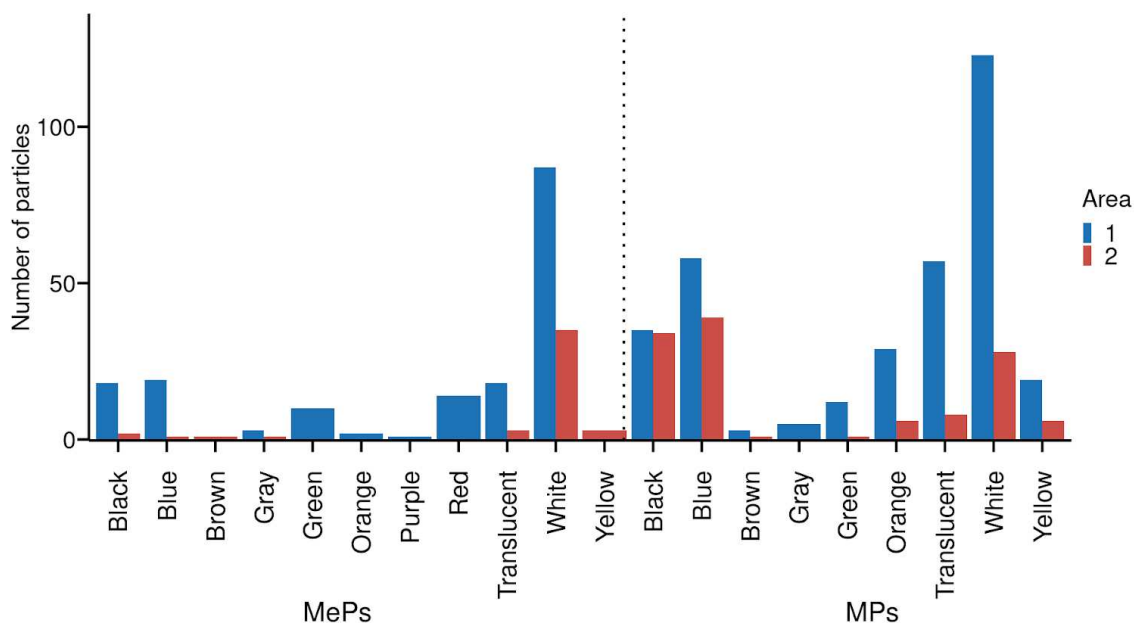


Fonte: Autores (2023).

5.3.1.2.2 Aspectos morfológicos das cores das partículas de MPs e MePs

Foram identificados um total de onze cores envolvendo branco, azul, preto, translúcido, vermelho, verde, amarelo, cinza, laranja, marrom e roxo (Figura 24).

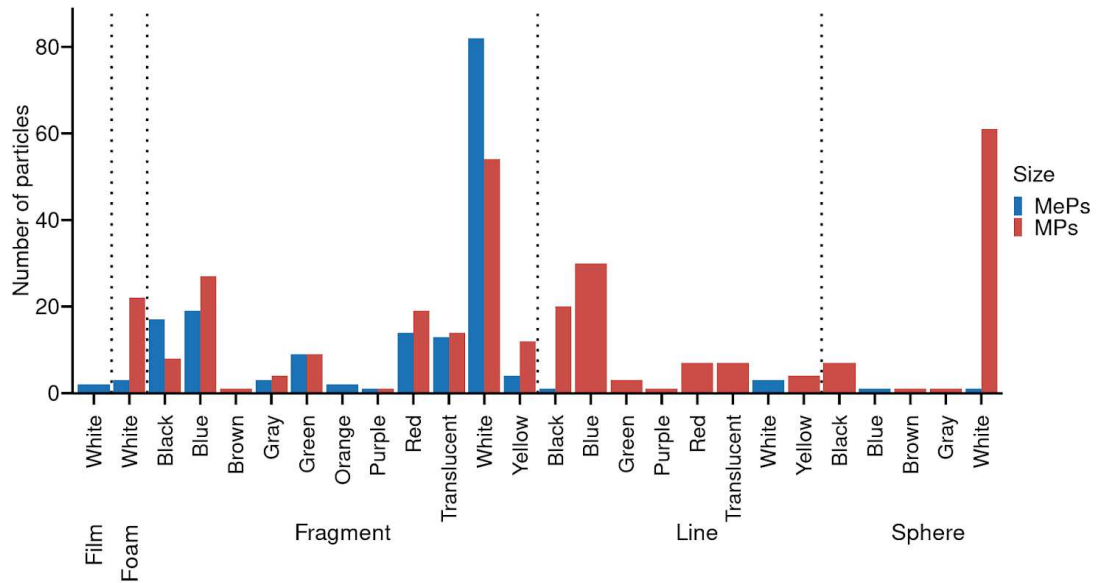
Figura 24: Cores observadas nas partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletadas nos sítios de amostragens das áreas 1 e 2.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com a figura 25 na área 1 a cor de MPs mais abundante envolvendo os fragmentos, esferas e espumas foi a cor branca, com relação a forma de linha a cor predominante foi a azul. As cores de MePs mais abundantes envolvendo os fragmentos, linha, filme e espuma foi a cor branca e com relação a forma de esfera as cores azul e branca apresentaram a mesma proporção. A forma de espuma dos MPs e MePs apresentaram 100% a cor branca na área 1.

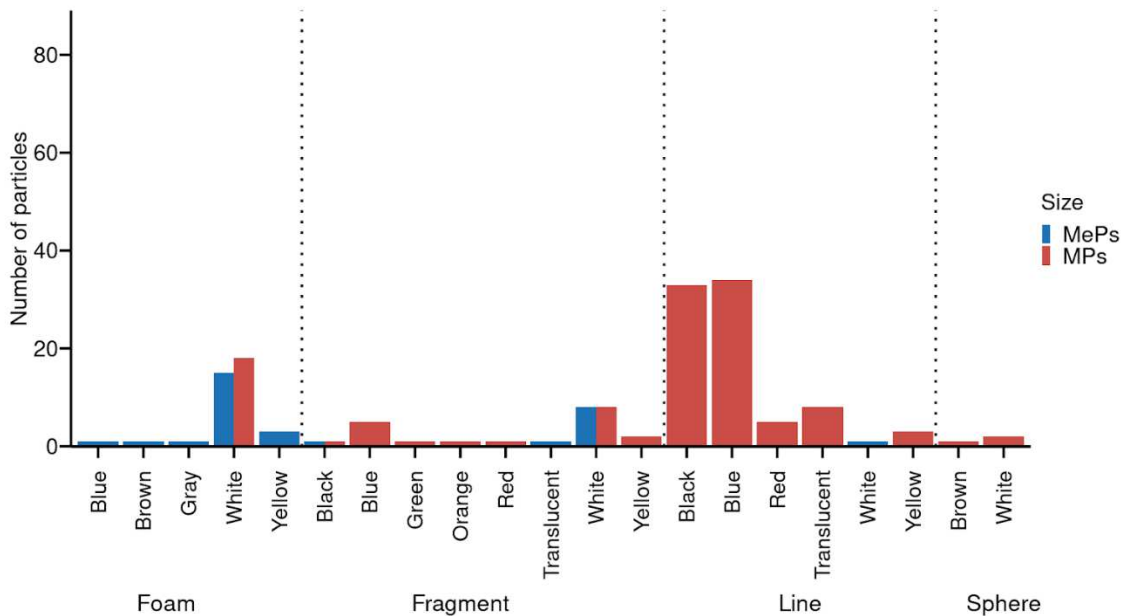
Figura 25: Relação das cores por tipo de forma das partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletados no sítio de amostragem da área 1.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com a Figura 26 na área 2 a cor de MPs mais abundante foi branca para as formas de fragmento e esfera, já com relação a forma de linha a cor azul foi a mais abundante e assim como na área 1 os MPs na forma de espuma apresentaram 100% a cor branca. A cor de MePs mais abundante para as formas de fragmento e espuma foi a cor branca, já com relação a forma de linha a cor translúcida e branca apresentaram a mesma proporção.

Figura 26: Relação das cores por tipo de forma das partículas de microplásticos e mesoplásticos obtidas nos sedimentos de areia coletados no sítio de amostragem da área 2.

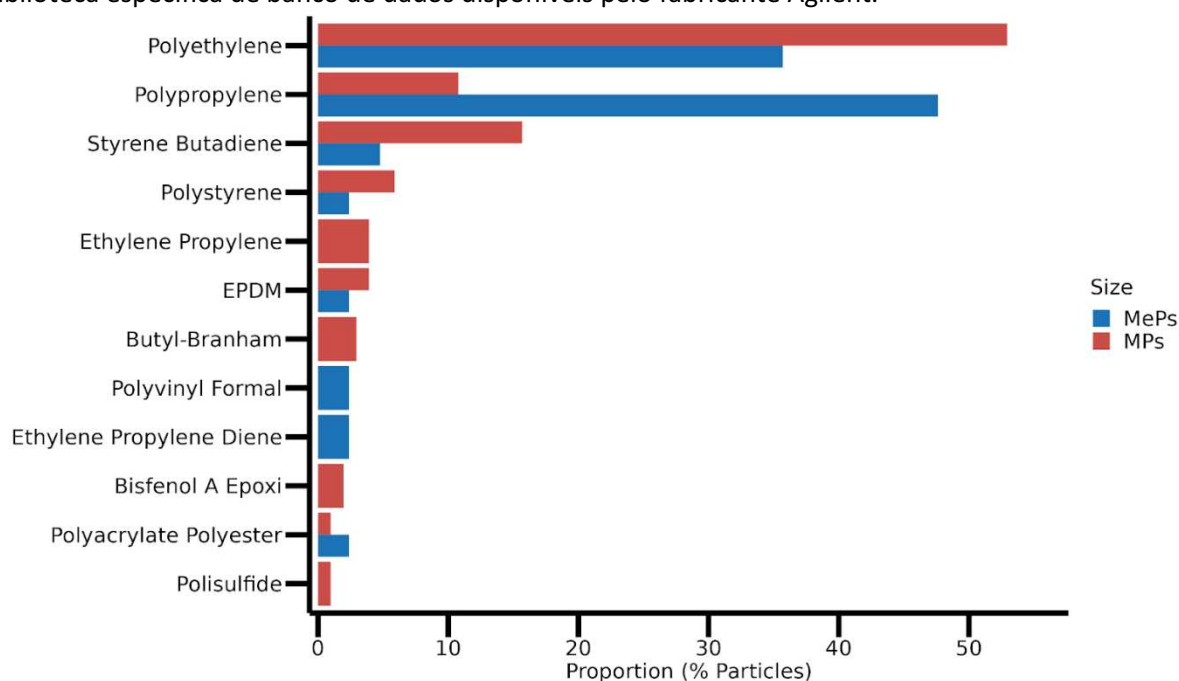


Fonte: Autores (2023).

5.3.1.3 Composição polimérica das partículas de MPs e MePs identificadas via espectroscopia FTIR-ATR

A análise das partículas selecionadas para análise de identificação polimérica envolvendo seus espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR possibilitou a identificação de 12 tipos de polímeros conforme observado na figura 27. Os tipos de polímeros mais abundantes envolvendo as partículas de MPs foram o Polietileno-PE (51,43%), o copolímero Estireno Butadieno- SBR (16,2%) e o Polipropileno-PP (15,24%) (Figura 28). Os tipos de polímeros mais abundantes envolvendo os MePs foram o Polipropileno (46,50%), Polietileno (34,87%) e Estireno Butadieno- SBR (4,65%), seguidos de outros tipos de polímero em menor quantidade (Figura 27).

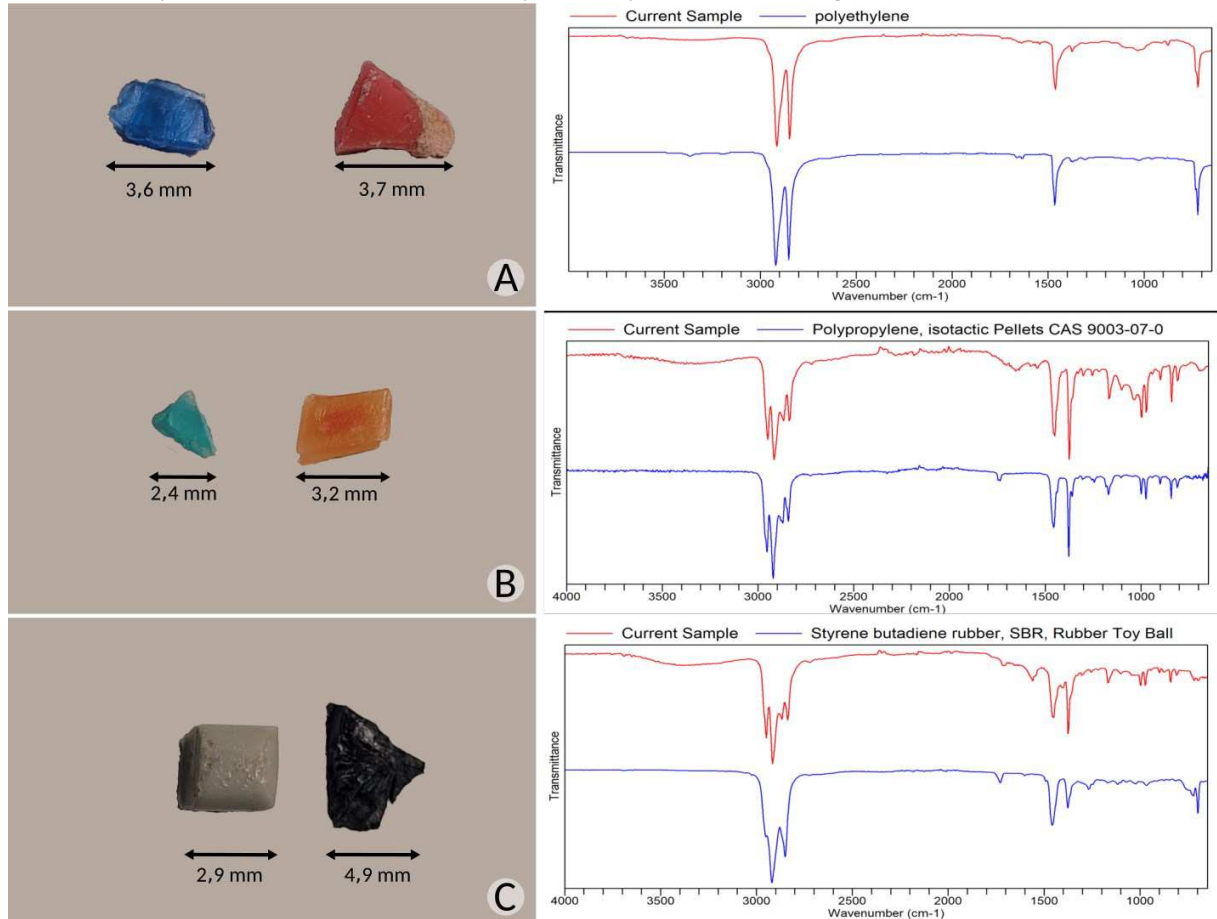
Figura 27: Polímeros identificados nos sedimentos de areia de praia das áreas 1 e 2 a partir da análise de partículas de microplásticos e mesoplásticos por espectrometria FTIR- ATR de acordo com a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent.



Fonte: Autores (2023).

Os polímeros polietileno, polipropileno e o copolímero estireno butadieno representaram juntos 80,27% de todos os tipos de polímeros identificados no estudo. Os espectros relativos de transmitância FTIR-ATR dos principais polímeros obtidos são expostos na figura 28.

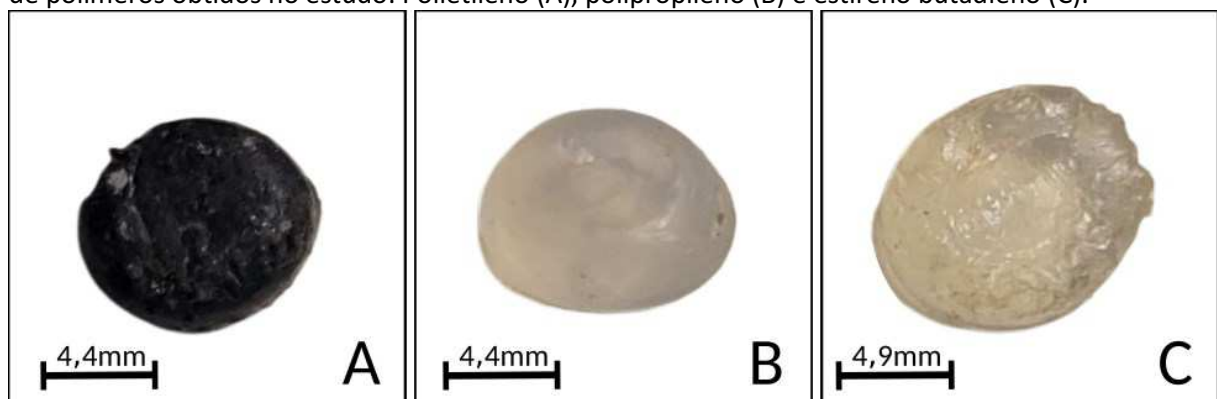
Figura 28: Amostras selecionadas de microplásticos dos três principais tipos de polímeros obtidos no estudo com seu respectivo Espectros de transmitância FTIR-ATR com varredura espectral de 650 a 4000 cm^{-1} : polímero de polietileno (A); polímero de polipropileno (B); estireno-butadieno (C), segundo biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent.



Fonte: Autores (2023).

As partículas de MPs primários tipo pellets foram identificadas envolvendo os tipos de polímeros em Polietileno (PE), Polipropileno (PP) e Estireno Butadieno (SB). Na figura 29 é possível verificar partículas de pellets avaliadas pelo estudo.

Figura 29: Aspectos de partículas de microplásticos primários na forma de pellets dos principais tipos de polímeros obtidos no estudo: Polietileno (A), polipropileno (B) e estireno butadieno (C).

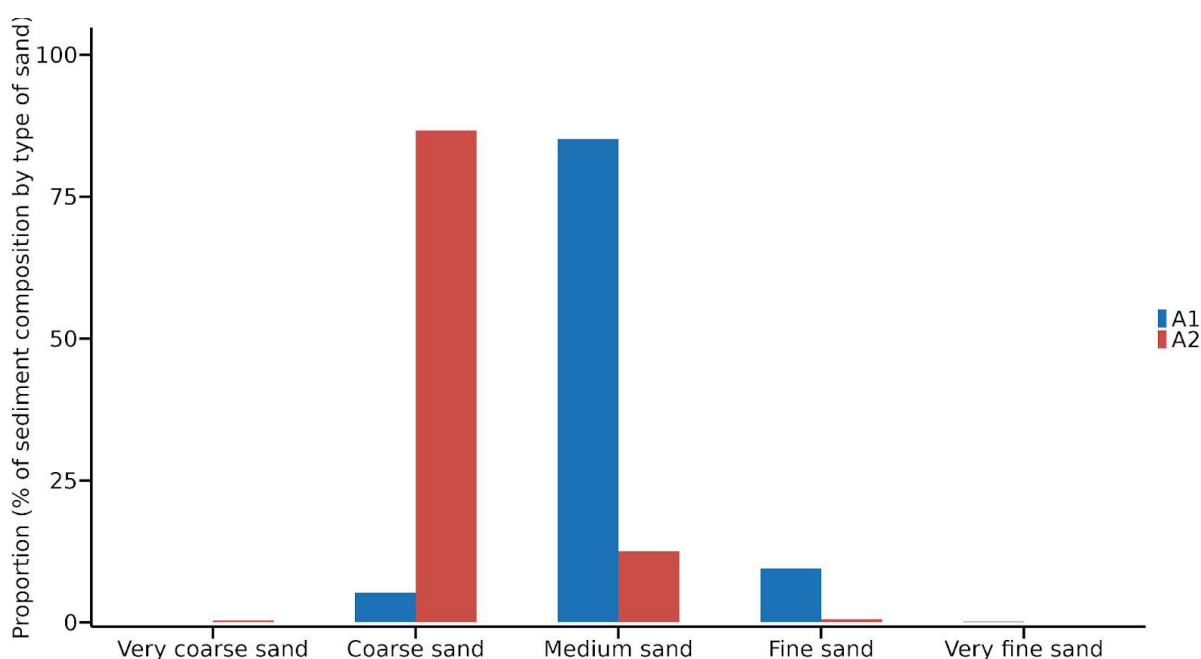


Fonte: Autores (2023).

5.3.1.4 Classificação dos sedimentos de areia dos sítios amostrais com relação ao aspecto de granulometria

Os sítios de amostragem apresentaram diferenças envolvendo a granulometria dos sedimentos de areia de praia conforme relatório de análise de solo com proporções distintas dos tipos de areias presentes nos sedimentos conforme pode ser observado no gráfico da Figura 30. O sítio da área 1 apresentou maior abundância de Areia Média – 0,5 a 0,25 mm (85,16%), seguida de Areia Fina - 0,25 a 0,125 mm (9,47%), Areia Grossa - 1 a 0,5 mm (5,21%) e Areia Muito Fina - 0,125 a 0,062 mm (0,16%). A área 2 apresentou maior abundância de Areia Grossa - 1 a 0,5 mm (86,63%), seguida de Areia Média – 0,5 a 0,25 mm (12,50%), Areia Fina - 0,25 a 0,125 mm (0,57%), e Areia Muito Grossa – 2 a 1 mm (0,30%).

Figura 30: Composição dos sedimentos de areia de praia coletados nos sítios de amostragem da área 1 e 2 de acordo com a análise da granulometria da areia.



Fonte: Autores (2023).

5.3.2 Discussão

Neste estudo, foram coletadas um total de 616 partículas envolvendo MPs e MePs em duas áreas distintas, com características heterogêneas envolvendo a urbanização, atividade turística e granulometria de sedimentos. A grande maioria das partículas obtidas com

aproximadamente 81,17% apresentaram tamanho inferior a 5mm, portanto classificadas como MPs, e 18,83% entre os tamanhos 0,5 mm a 25 mm sendo classificadas como MePs.

As concentrações nas duas áreas apresentaram diferenças estatísticas significativas, com maior abundância de MPs e MePs na área 1. As concentrações obtidas por esse estudo de MPs na área 1 de 7,04 partículas. Kg⁻¹ ou 70,44 partículas. m⁻² e na área 2 de 1,91 partículas. Kg⁻¹ ou 19,11 partículas. m⁻² ficaram entre o intervalo de distribuição de MPs em sedimentos de praias verificados por outros estudos realizados na América Latina, conforme levantamento realizado por Fernandes et al. (2022) que apontou uma ampla variação de concentração entre 0.000029 a 88,224 partículas. m⁻² e 0,004 a 660 partículas. Kg⁻¹ de sedimento seco amostrado. Devido à falta de padronização envolvendo metodologias de amostragem e o uso de diferentes unidades de medida (CARVALHO *et al.*, 2021) é complexo realizar uma comparação sistemática com estudos anteriores realizados no Brasil e em estudos indexados internacionalmente, optando-se por expressar os resultados de quantificação envolvendo as concentrações em unidades de partículas Kg⁻¹ e partículas m⁻².

Portanto é fundamental que trabalhos futuros complementares, possam sugerir uma uniformização dessas informações para melhor compreensão da contaminação envolvendo os MPs no cenário nacional e mundial. Considerando estudos brasileiros semelhantes com relação às unidades de medida os resultados obtidos envolvendo a presença de MPs na região da Praia Grande -SC foi menor que em outras regiões como o realizado em Niterói (RJ) 166 partículas Kg⁻¹ (CASTRO *et al.*, 2020); e superior ao encontrado na Praia Mansa de Fortaleza (CE) 0,21-1,15 partículas m⁻² (CAVALCANTE *et al.*, 2020).

A distribuição das partículas de MPs e MePs obtidas nas diferentes distâncias até o mar envolvendo os transectos referentes a maré baixa, intermaré e maré alta apresentou uma concentração maior na faixa de maré alta. Um trabalho realizado por Godoy *et al.* (2020) em diferentes praia no litoral de Granada (Espanha) demonstrou diferentes distribuições com relação a distância do mar nas praias avaliadas, atribuindo portanto esta característica a associação de vários fatores, como a morfologia da praia, o tipo de correntes marítimas e ventos predominantes bem como a proximidade ou distância da atividade humana recorrente.

Os MePs podem ser considerados como precursores dos MPs secundários ao ficarem expostos a fatores de degradação ambiental, como ação da radiação eletromagnética (ultravioleta) e várias outras formas de ação mecânica, como as ondas do mar entre outros

fatores (SONG *et al.*, 2017). A nível global outras regiões de praia levantadas, como no nordeste da Tunísia que apresentou uma concentração de MePs de $36,26 \pm 49,67$ partículas. m^{-2} (ABDELKADER *et al.*, 2023) e no Parque Natural Massaciucoli (Itália) que apresentou concentração de 100 ± 44 partículas. Kg^{-1} (SCOPETANI *et al.*, 2021) os valores ficaram acima dos encontrados neste estudo; cujas concentrações de MePs encontrados foi de 25,11 partículas. m^{-2} ou 2,51 partículas. Kg^{-1} na área 1 e 6,67. m^{-2} partículas ou 0,67 partículas. Kg^{-1} . Foi verificado por esse estudo uma correlação positiva entre a quantidade de MePs e MPs avaliados nos dois pontos amostrados, significando que com o aumento de MePs houve o aumento proporcional de MPs em ambas as áreas. A correlação entre MePs e MPs também foi observada por outros estudos como o estudo realizado em praias ao redor da Península Coreana (LEE *et al.*, 2015) e ao longo da costa do Peru (DE-LA-TORRE *et al.*, 2023), portanto os MePs podem ser usados como um indicador de focos de poluição (LIM *et al.*, 2023) no entanto mais estudos são necessários para fornecer dados sobre a relação entre MPs e MePs bem como os macroplásticos, possibilitando uma melhor imagem dos possíveis impactos causados pela presença desses resíduos nos ambientes naturais.

O estudo realizado demonstrou uma maior concentração de MPs na área 1 que se caracteriza por ser mais urbanizado e de maior exploração turística, no entanto autores como Andrady (2011) relatam que os MPs encontrados no sedimento das praias independem do nível de urbanização e turismo, e resultados obtidos por Andrades *et al.* (2020), indicam que a proximidade aos estuários pode ter maior influência na acumulação de lixo nas praias do que a urbanização. Um exemplo dessa observação foi realizado em Fernando de Noronha (PE), uma ilha conhecida pela conservação das praias e controle do turismo, onde Ivar do Sul *et al.* (2009) identificaram a ocorrência de MPs em 13 das 15 praias analisadas, nesse caso a presença dos MPs encontrados foram atribuída pelos autores a ação de ventos e das correntes de superfície uma vez que as praias de Fernando de Noronha mais expostas às correntes e ao vento apresentaram partículas de MPs e também de macroplástico ($> 2,5cm$) maior do que as menos expostas, (CARVALHO *et al.*, 2021); GRILLO *et al.*, 2021). No entanto, estudos mencionam uma relação direta e positiva da urbanização, atividade turística e de pesca com uma maior densidade de resíduos plásticos nas regiões costeiras. (ABDELKADER *et al.*, 2023).

A granulometria dos grãos de areia dos sedimentos é um fator importante a ser considerado como influência na densidade dos MPs em sedimentos. Neste estudo foi

verificado uma maior concentração de MPs e MePs na área 1, onde havia uma maior proporção de areia média comparado com a granulometria dos grãos da área 2 que apresentou uma maior proporção de areia grossa. Essa observação foi verificada em outros estudos como Kazmiruk *et al.* (2018) que demonstraram, por meio de amostragem em diferentes áreas costeiras da Colúmbia Britânica, que maiores concentrações de MPs foram encontradas em sedimentos finos, bem como o estudo de Maes *et al.* (2017) que encontraram uma relação negativa entre o tamanho dos grãos dos sedimentos e a quantidade de MPs nos sedimentos do fundo do mar. Portanto, um conjunto de fatores envolvendo urbanização, exploração turística, granulometria dos grãos bem como a influência de ventos e marés podem ter contribuído para a obtenção de uma maior concentração de MPs e MePs na área 1 com relação a área 2.

Com relação aos aspectos morfológicos, as partículas de MPs e MePs apresentaram uma grande variabilidade envolvendo as formas e cores das partículas de polímeros. O tipo fragmento foi a mais observada na área 1 envolvendo os MPs e MePs enquanto na área 2 as partículas de MPs tipo linha foram mais abundantes e as partícula de MePs tipo espuma foram as mais abundantes o que pode ser inferido ao tipo de atividades antropogênicas que impactam de forma distinta as duas áreas verificadas, sendo a área 1 e 2 impactadas semelhantemente pelas atividades de pesca e a presença dos Porto de São Francisco e Itapoá, com a diferença que a área 1 se encontra mais próximo a urbanização e é mais explorado pela atividade turística.

Segundo Turra *et al.* (2014) a predominância de determinados morfotipos de MPs em diferentes praias está relacionada principalmente aos tipos de atividades antropogênicas locais. O predomínio dos fragmentos é esperado em praias com maiores atividades turísticas e recreativas devido ao descarte incorreto do lixo pelos turistas. As praias próximas às indústrias e portos são mais suscetíveis à deposição de pellets, visto que esses tipos de matéria prima são frequentemente transportados por navios e amplamente utilizados em indústrias, a expressiva predominância dos MPs tipo Pellets na Área 1 do presente estudo pode portanto ter relação com a presença dos Portos de São Francisco do Sul e Porto de Itapoá. As praias próximas aos rios e com intensa atividade pesqueira tendem a predominar fibras sintéticas, oriundas principalmente de efluentes domésticos, bem como utensílios utilizados na pesca (SILLANPÄÄ *et al.*, 2017).

As cores de partículas de polímeros verificadas neste estudo mostraram uma ampla variedade o que demonstra semelhança com os resultados relatados por outros autores (ABIDLI *et al.*, 2018; BESSA *et al.*, 2018). MPs coloridos são considerados um risco à saúde da biota, uma vez que devido a cor dos MPs e MePs, podem ser confundidos como alimento. As diferentes espécies de animais são mais vulneráveis dependendo da cor dos polímeros, como por exemplo foi demonstrado que os MPs brancos, claros e azuis são ingeridos principalmente por peixes herbívoros (BOERGER *et al.*, 2010; BROWNE *et al.*, 2008). As aves marinhas tendem a comer MPs de cor clara devido às semelhanças com seus alimentos, como ovos de peixes e mariscos, MPs brancos com aspecto translúcido são ingeridos por ostras (DIGKA *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2018).

O resultado da identificação polimérica de acordo com os grupos funcionais possibilitou verificar nas áreas avaliadas por esse estudo a predominância do polietileno e polipropileno semelhante ao observado em outras regiões como o trabalho realizado por Tsang *et al.* (2017) envolvendo matrizes de sedimentos.; uma das causas da predominância desses tipos de polímeros segundo Molazadeh *et al.* (2024) ocorre devido a turbulência na água que afeta o movimento vertical dos MPs flutuantes, colocando-o em contato com o leito marítimo. Outro dado importante a ser considerado com relação a prevalência de polietileno e polipropileno nos ambientes costeiros é a grande produção desses polímeros que segundo PLASTIC EUROPE, 2022 foram os tipos mais produzidos nas proporções de 26% para polietileno de alta (PEAD) e baixa (PEBD) e 18,9% para o polipropileno, o que somado representa 45,2% do total de plástico produzido no mundo em 2022. Essa grande produção se deve a ampla aplicação principalmente em setores de embalagens envolvendo a fabricação de filmes, sacolas, tampas de garrafa, caixas de água, bombonas para uso alimentício bem como a fabricação de frascos rígidos para produtos de limpeza doméstica, cremes, xampu, remédios e suplementos além da fabricação de tubos para transporte de água e esgoto, telhas, galões, entre outros.

5.4 Conclusão

Este estudo contribuiu com informações importantes sobre a ocorrência de MPs e MePs em uma região ainda não avaliada com relação a esse tipo de impacto antropogênico, além de contribuir com detalhamento das diferentes características dos pontos avaliados

atribuindo possíveis fatores de entrada e permanência das partículas plásticas no ambiente costeiro de praia.

Os resultados obtidos mostram níveis consideráveis de MPs na área de estudo mais urbanizada e com maior exploração turística ao mesmo tempo que levantou a discussão sobre outros fatores envolvidos na inserção das partículas de polímeros na região como a ação de ventos e marés, bem como os aspectos relacionados à granulometria dos sedimentos. Os fragmentos constituíram a forma mais comum das partículas de MPs no ponto mais urbanizado, enquanto as linhas predominaram no ponto menos urbanizado e com menor exploração turística. A predominância da composição dos polímeros do tipo polietileno, o polipropileno e poliestireno ratificaram resultados já obtidos em outros estudos e representou a ampla produção e utilização desse tipo de polímeros pela população mundial.

O estudo realizado contribuiu portanto para uma avaliação pontual da contaminação plástica na região da Praia Grande - SC como forma de somar a outros trabalhos e fornecer dados para melhor compreensão da extensão da poluição envolvendo MPs e suas características; no entanto compreender as tendências temporais, as variações sazonais e os impactos a longo prazo dos MPs, requer monitoramento contínuo e coleta de dados durante longos períodos sazonais. Considerando que os estudos envolvendo a identificação de MPs em sedimentos de praia de longo prazo, a avaliação envolvendo variação temporal, bem como a influência de fatores como ondas e marés nos processos de deposição e retirada em curto-prazo são limitados, sugerimos a realização de estudos longitudinais na região estudada que contribuam com informações sobre a persistência, degradação e dinâmica de transporte de MPs na areia das praia . Ressaltamos a partir das limitações envolvendo a comparação entre os trabalhos envolvendo a temática, a importância da menção dos fatores relevantes que podem ter influência direta ou indireta na poluição envolvendo os resíduos plásticos bem como a padronização de metodologias de amostragem, análises e unidades de quantificação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O detalhamento das características das áreas de estudo envolvendo a poluição plástica contribui com informações importantes para melhor compreensão dos diferentes fatores que podem influenciar na ocorrência e/ou permanência de MPs e MePs em uma determinada região costeira possibilitando a comparação e soma de conhecimento de estudos envolvendo a ocorrência de partículas plásticas em diversas matrizes ambientais; portanto esse estudo contribui com o detalhamento das características do ambiente avaliado e enfatiza a importância da realização desse detalhamento.

Ressaltamos a partir das limitações envolvendo a comparação entre os trabalhos envolvendo a temática, a importância da menção dos fatores relevantes que podem ter influência direta ou indireta na poluição envolvendo os resíduos plásticos bem como a padronização de metodologias de amostragem, análises e unidades de quantificação

Considerando que os estudos envolvendo a avaliação da variação temporal, bem como a influência de fatores como ondas e marés nos processos de deposição e retirada em curto-prazo são limitados, sugerimos a realização de estudos longitudinais na região estudada que contribuam com informações sobre a persistência, degradação e dinâmica de transporte de MPs na areia das praia bem como a realização de mais campanhas de amostragens envolvendo as águas marinhas superficiais para melhor compreensão da concentração de partículas plásticas na região avaliada.

REFERÊNCIAS

ABDELKADER, N.; BEN ISMAIL, S.; ZAKHAMA-SRAIEB, R. Macro- meso- and microplastic debris in three sandy beaches of north-eastern Tunisian coasts. **Regional Studies in Marine Science**, v. 67, 20 dez. 2023.

ABIDLI, S. ANTUNES J.C.; FERREIRA J. L.; LAHBIB Y.; SOBRAL P.; EL MENIF N. T. Microplastics in sediments from the littoral zone of the north Tunisian coast (Mediterranean Sea). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 205, p. 1–9, 31 maio 2018.

ABRELPE- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais **PANORAMA 2022**. Acesso em 20 de novembro de 2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>

ALAM, F. C.; SEMBIRING, E. MUNTALIF, B. S.; SUENDO, V. Microplastic distribution in surface water and sediment rivers around slums and industrial areas (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). **Chemosphere**, v. 224, p. 637–645, 1 jun. 2019.

ALQUINI, F. BERTONI D. SARTI G.; VIEIRA, C. V. MELO JUNIOR C. F. Morpho-sedimentological and vegetational characterization of Grande beach at São Francisco do Sul island (Santa Catarina, Brazil). **Journal of Maps**, v. 14, n. 2, p. 105–113, 2018.

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.; ALVES, A. J.; ALBUQUERQUE T.BENTES B.GIARRIZZO T. Anthropogenic litter on Brazilian beaches: Baseline, trends and recommendations for future approaches. **Marine Pollution Bulletin**, v. 151, 1 fev. 2020.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, ago. 2011.

ARTHUR. C; BAKER J. BAMFORD H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. **NOAA**, 2009. Disponível em: <www.MarineDebris.noaa.gov>.

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**, v. 102, p. 165–176, 2017.

AYTAN, U.; VALENTE, A. SENTURK, Y.; USTA, R.; SAHIN, F. B. E.; MAZLUM, R. E.; AGIRBAS, E. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters. **Marine Environmental Research**, v. 119, p. 22–30, 2016.

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**, v. 114, n. 1, p. 77–83, 15 Jan. 2017.

BESSA, F.; BARRÍA, P.; NETO, J.M.; FRIAS, JOÃO, P.G.L.; OTERO, V.; SOBRAL, P.; MARQUES J.C. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 575–584, 1 mar. 2018.

BOERGER, C. M.; LATTIN, G.L.; MOORE, S.L.; MOORE, C.J. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 12, p. 2275–2278, dez. 2010.

BROWNE, M. A.; DISSANAYAKE, A.; GALLOWAY, T.; LOWE, D.; THOMPSON, R. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). **Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 13, p. 5026–5031, 1 Jul. 2008.

CARPENTER, E. J.; SMITH, K. L. Plastics on the Sargasso Sea surface. **Science**, v. 175, n. 4027, p. 1240–1241, 1972.

CARVALHO, J. P. S.; SILVA, T. S.; COSTA, M. F. Distribution, characteristics and short-term variability of microplastics in beach sediment of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, 1 maio, 2021.

CASTILHOS, J. A.; GRÉ, J.C.R. Beach Morphodynamics and Sediment transport along the northern Coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research**. v.39, edição especial, p. 1756 – 1761, 2004.

CASTRO, R. O. DA SILVA M. L., MARQUES R.C., DE ARAUJO 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**, v. 160, 1 Nov. 2020.

CATOGGIO, K.; TECHNOLOGIES, A. **ATR Sampling Accessories for the Agilent Cary 630 FTIR Spectrometer**. 2022.

CAVALCANTE, R. M.; PINHEIRO, L.S.; TEIXEIRA, C.E.P.; PAIVA, B.P.; FERNANDES, G.M.; BRANDÃO, D.B. FROTA, F.F.; FILHO, F.J.N.S.; SCHETTINI, C.A.F. Marine debris on a tropical coastline: Abundance, predominant sources and fate in a region with multiple activities (Fortaleza, Ceará, northeastern Brazil). **Waste Management**, v. 108, p. 13–20, 1 maio 2020.

CETESB. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CHINFAK, N.; SOMPONGCHAIYAKUL, P.; CHAROENPONG, C.; SHI, H.; YEEMIN, T.; ZHANG J. Abundance, composition, and fate of microplastics in water, sediment, and shellfish in the Tapi-Phumduang River system and Bandon Bay, Thailand. **Science of the Total Environment**, v. 781, 10 ago. 2021.

CHOLEWINSKI, A. DADZIE, E.; SHERLOCK, C.; ANDERSON, W.A.; CHARLES, T.C.; HABIB, K.; YOUNG, S.B.; ZHAO, B. A critical review of microplastic degradation and material flow analysis towards a circular economy. **Environmental Pollution**. Elsevier Ltd, 15 Dez. 2022.

COMNEA-STANCU, I. R.; WIELAND K.; RAMER, SCHWAIGHOFER G.; LEND, B. On the Identification of Rayon/Viscose as a Major Fraction of Microplastics in the Marine Environment: Discrimination between Natural and Man Made Cellulosic Fibers Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 71, n. 5, p. 939–950, 1 maio 2017.

DA COSTA, J. P.; SANTOS, P.S.M.; DUARTE, A.C.; SANTOS, T.R. (Nano)plastics in the environment - Sources, fates and effects. **Science of the Total Environment**. Elsevier B.V., 1 out. 2016.

DANTAS, N. C. F. M., DUARTE O.S., FERREIRA W.C., AVALA F., REZENDE C.F., FEITOSA C. F. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, 1 abr. 2020.

DEHAUT, A. CASSONE, A. L.; HERMABESSIERE, L.; HIMBER, C.; RINNER, E.; RIVIERE, G.; LAMBERT, C.; SOUNDANT, P.; HUVET, A.; DUFLOS, G.; PAUL-PONT I. Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. **Environmental Pollution**, v. 215, p. 223–233, 1 ago. 2016.

DE-LA-TORRE, G. E.; PIZARRO-ORTEGA, I.C.; DIOSES-SALINAS, D.C.; RIBEIRO, V.V.; REYES, D.F.U.G.; BEN-HADDAD, M.; RAKIB, Md.R.J.; DOBARADARAN, S. Micro- and mesoplastic pollution along the coast of Peru. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 27, p. 71396–71408, 1 jun. 2023.

DIGKA, N.; TSANGARIS, C.; TORRE, M.; ANASTASOPOULOU, A.; ZERI, C. Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 30–40, 1 out. 2018.

DOWARAH, K.; DEVIPRIYA, S. P. Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 148, p. 123–133, 1 nov. 2019.

EDO, C.; GONZ M.; GONZALEZ-PLEITER, M.; LEGANEZ R.; FERNANDEZ-PIÑAS F.; ROSAL, R. Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. **Environmental Pollution**, v. 259, 1 abr. 2020.

FERNANDES, A. N. BERTOLDI, C.; LARA, L.Z.; STIVAL, J.; ALVES, N.M.; CABRERA, P.M.; GRASSE, M.T. Microplastics in Latin America Ecosystems: A Critical Review of the Current Stage and Research Needs. **Journal of the Brazilian Chemical Society** Sociedade Brasileira de Química (Vol. 33, Issue 4, pp. 303–326). Sociedade Brasileira de Química. 2022. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20220018>

FRANCO, A. A.; ARELLANO, J.M.; ALBENDIN, G.; RODRIGUEZ-BARROSO, R.; QUIROGA, J.M.; COELHO, M.D. Microplastic pollution in wastewater treatment plants in the city of Cádiz: Abundance, removal efficiency and presence in receiving water body. **Science of the Total Environment**, v. 776, 1 jul. 2021.

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. **Marine Pollution Bulletin**, v. 138, p. 145–147, 1 jan. 2019.

GALVÃO, A.; ALEIXO, M.; DE PABLO, H; LOPES, C.; RAIMUNDO, J. Microplastics in wastewater: microfiber emissions from common household laundry. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 21, p. 26643–26649, 1 Jul. 2020.

GEROLIN, C. R.; PUPIM, F.N.; SAWAKUCHI, A.O.; GROHMANN, C.H.; LABUTO, G.; SEMENSATTO, D. Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 749, 20 dez. 2020.

GESAMP. Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). **Rep. Stud. GESAMP** No. 99, 130 p.2019.

GODOY, V.; PRATA J.C.; BLAZQUEZ, G.; ALMENDROS, A. I.; DUARTE, A.C.; ROCHA-SANTOS, T.; CALERO, M.; MARTIN-LARA, M.A. Effects of distance to the sea and geomorphological characteristics on the quantity and distribution of microplastics in beach sediments of Granada (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 746, 1 dez. 2020.

GRILLO, A. C.; MELLO, T. J. Marine debris in the Fernando de Noronha Archipelago, a remote oceanic marine protected area in tropical SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 164, 1 mar. 2021.

GRILLO, J. F. REBOLLEDO, G.; SABINO, M.A.; RAMOS, R. Microplastics in Latin America and the Caribbean: On the adoption of reporting standards and quality assurance and quality control protocols. **Environmental Advances**, v. 8, p. 100236, jul. 2022.

HAMILTON, A.; SCHEER, R. STAKES SIMON ALLAN, T. Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização. Relatório elaborado pela **Dalberg Advisors**, com equipe formada por Wijnand de Wit. 49p. 2019.

HANVEY, J. S. LEWIS, P.J.; LAVERS, J.L.; CROSBIE, N.D.; POZO, K.; CLARKE, B.O. A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. *Analytical Methods*. **Royal Society of Chemistry**, 7 mar. 2017.

HAQUE, M. R.; ALI, M.; AHMED, W. SIDDIQUE, A.B.; AKBOR, A.; ISLAM, S.; RAHMAN M.L. Assessment of microplastics pollution in aquatic species (fish, crab, and snail), water, and sediment from the Buriganga River, Bangladesh: An ecological risk appraisal. **Science of the Total Environment**, v. 857, 20 jan. 2023.

HESP, P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**. 48 245–268. Jan. 2002 Disponível em: <www.elsevier.com/locate/geomorph>.

HIDALGO-RUZ, V.; GUTOW, L. THOMPSON RICHARD, C.; THIEL, M. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 3060–3075, 20 mar. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **2018**. Atlas Geográfico das zonas costeiras e Oceânicas. Disponível em:<<http://saladeimprensa.ibge.gov.br>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **Censo 2022**. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>

IMHOF, H. K. SCHMID, J.; NIESSNER, R. IVLEVA, N.P.; LAFORSCH, C. A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 10, n. JULY, p. 524–537, 2012.

IVAR DO SUL, J. A.; SPENGLER, Â.; Costa, M. F. 2009. Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1236–1238.

JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX C.; SIEGLER, T.R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 13 fev. 2015.

JUNG, Y. S.; SAMPATH, V.; PRUNICKI, M.; AGUILERA, J.; ALLEN, H.; LABEAUD, D.; VEIDIS, E.; BARRY, M.; ERNY, B.; PATEL, L.; AKDIS, C.; NADEAU, K. Characterization and regulation of microplastic pollution for protecting planetary and human health. **Environmental Pollution**. Elsevier.15 dez. 2022.

KÄPPLER, A. FISCHER, D., OBERBECKMANN, S.; SCHERNEWSKI, G.; LABRENZ, M.; EICHHORN K.J.; VOIT, B. Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 408, n. 29, p. 8377–8391, 1 nov. 2016.

KAZMIRUK, T. N.; KAZMIRUK, V. D.; BENDELL, L. I. Abundance and distribution of microplastics within surface sediments of a key shellfish growing region of Canada. **PLoS ONE**, v. 13, n. 5, 1 maio 2018.

KUTRALAM-MUNIASAMY, G.; PÉREZ-GUEVARA, F.; ELIZALDE-MARTÍNEZ, I.; SHRUTI, V.C. Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. **Environmental Pollution** Elsevier Ltd, 1 dez. 2020.

LEBRETON, L. C. M. VAN DER ZWET, J.; DAMSTEEG, J.W.; SLAT, B.; ANDRADY, A.; REISSER, J. River plastic emissions to the world's oceans. **Nature Communications**, v. 8, 7 jun. 2017.

LEE, J.; LEE, JS; JANG, YC; SHIM, W.J.; CANÇÃO, Y.K.; HONG, S. Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 69, n. 3, p. 288–298, 19 ago. 2015.

LEI, K.; QIAO, F.; LIU, Q.; WEI, Z.; QI, H.; CUI, S.; YUE, X.; DENG, Y.; AN, L. Microplastics released from personal care and cosmetic products in China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, n. 1–2, p. 122–126, 15 out. 2017.

LI, H. X.; MA, LI-SHA; LIN, L.; NI, ZHI-XIN; XU, XIANG-RONG; SHI, HUA-HONG; YAN, Y; ZHENG, GUANG-MING; RITTSCHOF, D. Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China. **Environmental Pollution**, v. 236, p. 619–625, 1 maio. 2018.

LIM, E. V.; NILAMANI, N.; RAZALLI, N.M.; ZHANG, S.; LI, H.; HARON, M. L.; ABDULLAN, A. L.; YASIN, Z.; ZANURI, N. M.; HWAI, A. T. S. Abundance and Distribution of Macro- and Mesoplastic Debris on Selected Beaches in the Northern Strait of Malacca. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 11, n. 5, 1 maio. 2023.

LIU, K. ZHANG, F.; SONG, Z.; ZONG, C.; WEI, N.; LI, D. A novel method enabling the accurate quantification of microplastics in the water column of the deep ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 462–465, 1 set. 2019.

LIU, L. XU, M.; YE, Y.; ZHANG, B. On the degradation of (micro)plastics: Degradation methods, influencing factors, environmental impacts. **Science of the Total Environment**. Elsevier B.V., 1 fev. 2022.

LLOYD-JONES, T. DICK, J.J.; LANE, T.P.; CUNNINGHAM, E. M.; KIRIAKOULAKIS, K. Occurrence and sources of microplastics on Arctic beaches: Svalbard. **Marine Pollution Bulletin**, v. 196, 1 nov. 2023.

LOGANATHAN, Y.; KIZHAKEDATHIL, M. P. J. **A Review on Microplastics - An Indelible Ubiquitous Pollutant**. **Biointerface Research in Applied Chemistry** AMG Transcend Association, 15 abr. 2023.

LUSHER, A. L. BRATE, I.L.; MUNNO, K., HURLEY, R.R., WELDEN, N.A. Is It or Isn't It: The Importance of Visual Classification in Microplastic Characterization. **Applied Spectroscopy**, v. 74, n. 9, p. 1139–1153, 1 set. 2020a.

LUSHER, A. L. MUNNO K., HERMABESSIERE L.; CARR S. Isolation and Extraction of Microplastics from Environmental Samples: An Evaluation of Practical Approaches and Recommendations for Further Harmonization. **Applied Spectroscopy**, v. 74, n. 9, p. 1049–1065, 1 set. 2020b.

MACHADO, A. A.; KLOAS, W.; ZARFL, C. HEMPEL, S.; RILLIG, M.C. **Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems**. **Global Change Biology** Blackwell Publishing Ltd, 1 abr. 2018.

MAES, T.; MEULEN, M.D.VAN DER.; DEVRIESE, L.I.; LESLIE, H.A.; HUVET, A.; FRERE, L.; ROBBENS, J.; WETHAAK, A.D. Microplastics baseline surveys at the water surface and in sediments of the North-East Atlantic. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, n. MAY, 26 maio. 2017.

MECOZZI, M.; PIETROLETTI, M.; MONAKHOVA, Y. B. FTIR spectroscopy supported by statistical techniques for the structural characterization of plastic debris in the marine environment: Application to monitoring studies. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1–2, p. 155–161, 2016.

MEIJER, L. J. J. VAN, EMMERIK, T., VAN DER ENT, R. SCHMIDT, C.; LEBRETON, L. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. **In Sci. Adv** (Vol. 7). 2020.

MOLAZADEH, M.; CALABRO, G.; LIU, F.; TASSIN, B.; ROVELLI, L.; LORKE, A.; DRIS, R.; VOLLERTSEN, J. The role of turbulence in the deposition of intrinsically buoyant MPs. **Science of the Total Environment**, v. 911, 10 fev. 2024.

MONTAGNER, C. C.; DIAS, M.A.; PAIVA, E.M.; VIDAL, C. Microplastics: environmental occurrence and analytical challenges. **Quim. Nova**, Vol. 44, No. 10, 1328-1352, 2021.

MORGADO, V. GOMES, L.; DA SILVA, R.J.N.B.; PALMA C. Validated spreadsheet for the identification of PE, PET, PP and PS microplastics by micro-ATR-FTIR spectra with known uncertainty. **Talanta**, v. 234, 1 Nov. 2021.

MSFD 2008/56/EC. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (**Marine Strategy Framework Directive**) (Text with EEA relevance) *OJ L 164*, 25.6.2008, p. 19–40. (Accessed on 07 Aug 2023). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0056:en:NOT>

NAPPER, I. E. BAKIR, A.; ROWLAND, S.J.; THOMPSON, R.C. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. **Marine Pollution Bulletin**, v. 99, n. 1–2, p. 178–185, 15 out. 2015.

NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges. **Global Challenges**, v. 4, n. 6, p. 1900081, jun. 2020.

OLIVATTO, G. P. CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1968–1989, 1 nov. 2018.

OLIVATTO, G. P. MARTINS M. C. T., MONTAGNER C. C., HENRY T. B., CARREIRA R. S. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 139, p. 157–162, 1 fev. 2019.

OLIVEIRA, A. DA S.; COSTA, L.L.; LIMA, J.S.; DA COSTA, I.D.; MACHADO, P.M.; ZALMON, I.R. Contamination by Microplastics on Sandy Beaches of Brazil: A Qualitative Review. **Oecologia Australis**, v. 27, n. 1, p. 1–21, 2023.

ORONA-NÁVAR, C.; GARCIA-MORALES; R., LOGE, F. J., MAHLKNECHT, J., AGUILAR-HERNÁNDES, I. ORNELAS-SOTO, N. (2022). Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives. In **Journal of Environmental Management** (Vol. 309). Academic Press.

PAIVA, D.L.; LAMPMAN D. M. KRIZ G.S.; VYVYAN, J.R. Introdução à Espectroscopia. 4 ed. São Paulo: **Cengage Learning**, 2010.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P.; MASSIGNAM, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2002. CDROM

PEDRO, J.; VIEIRA C.V. Evolução do uso e cobertura do solo no município de São Francisco do Sul-Estado de Santa Catarina Evolution of land use in the municipality of São Francisco do Sul-Santa Catarina. **Boletim paranaense de geociências**. Volume 74, 2018.

PEGADO, T. DE S. E. S. SCHMIDA K., WINEMILLER K. O., CHELAZZI D., CINCINELLI A., DEI L., GIARRIZZO T. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 814–821, 1 ago. 2018.

PINCELLI, I. JÚNIOR, B. C. A.; MATIAS, S. M.; RUTKOWSKI, E.W. Post-consumer plastic packaging waste flow analysis for Brazil: The challenges moving towards a circular economy. **Waste Management**, v. 126, p. 781–790, 1 maio 2021.

PLASCTICS EUROPE. **Plastics-the Facts 2021** An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2021.

POSSAMAI, T. ; VIEIRA, C. V. ; OLIVEIRA, F. A. ; HORN FILHO, N. O. Geologia Costeira da Ilha de São Francisco do Sul, Santa Catarina. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 2, p. 45-57,2010.

PRATA, J. C. DA COSTA, J.P; DUARTE, A.C.; ROCHA-SANTOS, T. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**. Elsevier B.V., 1 jan. 2019.

NOAA - Masura J.; Baker J.; Foster G.; Arthur C.; Herring C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. **NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-48. jul.**, 2015. Disponível em: <www.MarineDebris.noaa.gov>.

QUINN, B.; MURPHY, F.; EWINS, C. Validation of density separation for the rapid recovery of microplastics from sediment. **Analytical Methods**, v. 9, n. 9, p. 1491–1498, 7 mar. 2017.

RENNER, G.; SCHMIDT, T. C.; SCHRAM, J. **Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose? Current Opinion in Environmental Science and Health**Elsevier B.V., 1 fev. 2018.

REVEL, M.; CHÂTEL, A.; MOUNEYRAC, C. **Micro(nano)plastics: A threat to human health? Current Opinion in Environmental Science and Health**Elsevier B.V., 1 fev. 2018.

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U. Development of a low-cost system for sampling microplastics in water. **Naturae**, v. 4, n. 2, p. 24–31, 15 nov. 2022.

SANGKHAM, S.; FAIKHAW, O.; MUNKONG, N.; SAKUNKOO, P.; ARUNLERTAREE, C.; CHAVLI, M.; MOUSAZADEH, M.; TIWARI, A. A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. **Marine Pollution Bulletin**. Elsevier, 1 ago. 2022.

SANTANA, M. F. M. ASCER, L.G.; CUSTÓDIO, M.R.; MOREIRA, F.T.; TURRA, A. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1–2, p. 183–189, 2016.

SCOPETANI, C.; CHELAZZI, D.; MARTELLINI, T.; PELLINEN, J.; UGOLINI, A.; SARTI, C.; CINCINELLI, A. Occurrence and characterization of microplastic and mesoplastic pollution in the Migliarino San Rossore, Massaciuccoli Nature Park (Italy). **Marine Pollution Bulletin**, v. 171, 1 out. 2021.

SHIM, W. J.; HONG, S. H.; EO, S. E. Identification methods in microplastic analysis: A review. **Analytical Methods Royal Society of Chemistry**, 7 mar. 2017.

SILLANPÄÄ, M.; SAINIO, P. Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 23, p. 19313–19321, 1 ago. 2017.

SILVESTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos. 7 ed. Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos**, 2006.

SODRÉ, F. F.; AROWOJOLU, I. M.; CANELA, M.C.; FERREIRA, R.S.; FERNANDES, A. N.; MONTAGNER, C.C.; VIDAL, C.; DIAS, M. A., ABATE, G., DA SILVA, L. C.; GRASSI, M. T.; BERTOLDI, C.; FADINI, P. S.; URBAN, R. C.; FERRAZ, G.M.; SCHIO, N. S.; WALDMAN, W.R. . How natural and anthropogenic factors should drive microplastic behavior and fate: The scenario of Brazilian urban freshwater. **Chemosphere**, v. 340, 1 nov. 2023.

SONG, Y. K.; HONG, S. H.; JANG, M.; HAN, G.M.; JUNG, S. W.; SHIM, W. J. Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type. **Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 8, p. 4368–4376, 18 abr. 2017.

STELMACK, Ê. O; OSCAR, E.; VIEIRA, C.V.; CREMER, M.J.; KROLL, C. Lixo Marinho Em Ambientes Costeiros: O Caso Da Praia Grande Na Ilha De São Francisco Do Sul - SC, Brasil. **Geosul, Florianópolis**, v. 33, n. 66, p. 11-28.2018.

TERZI, Y.; SEYHAN, K. Seasonal and spatial variations of marine litter on the south-eastern Black Sea coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1–2, p. 154–158, 2017.

THOMPSON, R. C.; OLSEN, Y.; MITCHELL, R.P.; DAVIS, A. D.; ROWLAND, S. J.; JOHN, A.W.G.; GONIGLE, D. MC.; RUSSELL, A.E. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? **Science**. vol 304, 7 may. 2004. <www.sciencemag.org/cgi/content/full/304/5672/838>.

TIAN, W.; SONG, P.; ZHANG, H.; DUAN, X.; WEI, Y; WANG, H.; WANG, S. Microplastic materials in the environment: Problem and strategical solutions. **Progress in Materials Science**. Elsevier Ltd, 1 fev. 2023.

TRUCCOLO, E. C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F. The Low Frequency Sea Level Oscillations in the Northern Coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v.39, edição especial, p. 547-552, 2006.

TSANG, Y. Y.; SONG, P.; ZHANG, H.; DUAN, X.; WEI, Y.; WANG, H.; WANG, S.; Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, v. 115, n. 1–2, p. 20–28, 15 fev. 2017.

TURRA, A.; MANZANO, A. B.; DIAS, R.J.S.; MAHIQUES, M.M.; BARBOSA, L.; BALTHAZAR-SILVA, D.; MOREIRA, F. T. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: Shifting paradigms. **Scientific Reports**, v. 4, 27 mar. 2014.

UJJAMAN NUR, A. A.; MANZANO, A.B.; DIAS, R. J.; MAHIQUES, M.M.; BALTHAZAR-SILVA, D.; MOREIRA, F.T. Microplastic contamination in processed and unprocessed sea salts from a developing country and potential risk assessment. **Chemosphere**, v. 308, 1 dez. 2022.

URBAN-MALINGA, B.; ZALEWSKI, M. JAKUBOWSKA, A.; WODZINOWSKI, T.; MALINGA, M.; PALYS, B.; DABROWSKA, A. Microplastics on sandy beaches of the southern Baltic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 155, 1 jun. 2020.

VIEIRA, K. S.; NETO, J.A.B.; CRAPEZ, M.A.C.; GAYLARDE, C. PIERRE, B. S.; SALDANA-SERRANO, A.C.D.B.; NOGUEIRA, D.J.FONSECA.E.M. Occurrence of microplastics and heavy metals accumulation in native oysters *Crassostrea Gasar* in the Paranaguá estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, 1 maio. 2021.

WILLIS, K. A. ERIKSEN, R.; WILCOX, C.; HARDESTY, B.D. Microplastic distribution at different sediment depths in an urban estuary. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, n. DEC, 19 dez. 2017.

XIANG, Y. JIANG, L.; ZHOU, Y.; LUO, Z.; ZHI, D.; YANG, J.; LAM, S.S. Microplastics and environmental pollutants: Key interaction and toxicology in aquatic and soil environments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 422, 15 jan. 2022.

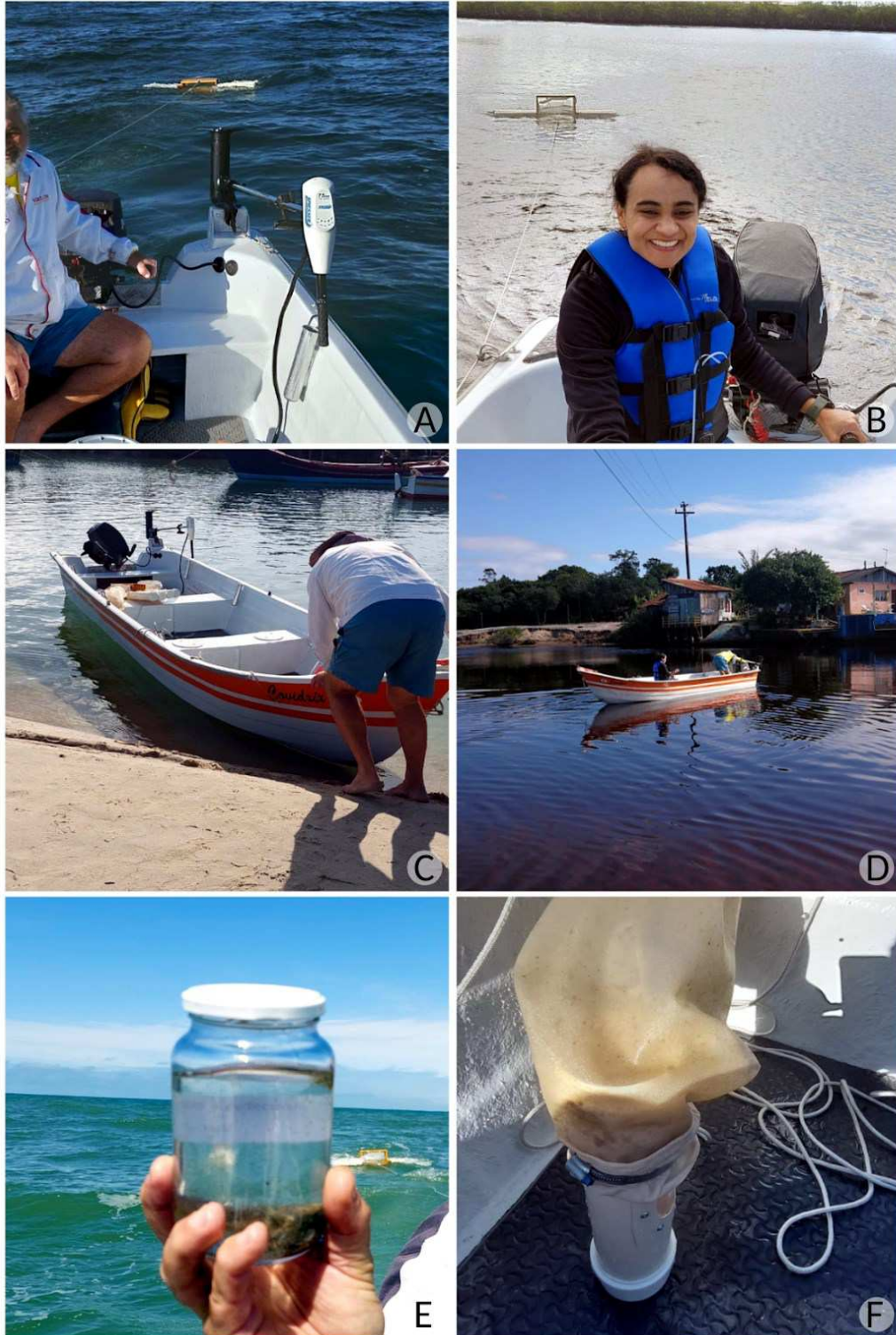
YANG, D.; SHI, H.; LI, L.; LI, J.; JABEEN, K.; KOLANDHASAMY, P. Microplastic pollution in table salts from China. **Environ. Sci. Technol.** 49, 13622–13627. 2015.

YANG, J. MONNOT, M.; ASIA, L.; WONG-WAH-CHUNG; DOUMENQ, P.; MOULIN, P. Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Methodology approach for characterization using micro-FTIR spectroscopy. **Water Research**, v. 232, p. 119711, abr. 2023.

ZOBKOV, M. B.; ESIUKOVA, E. E. Evaluation of the Munich Plastic Sediment Separator efficiency in extraction of microplastics from natural marine bottom sediments. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 15, n. 11, p. 967–978, 1 nov. 2017.

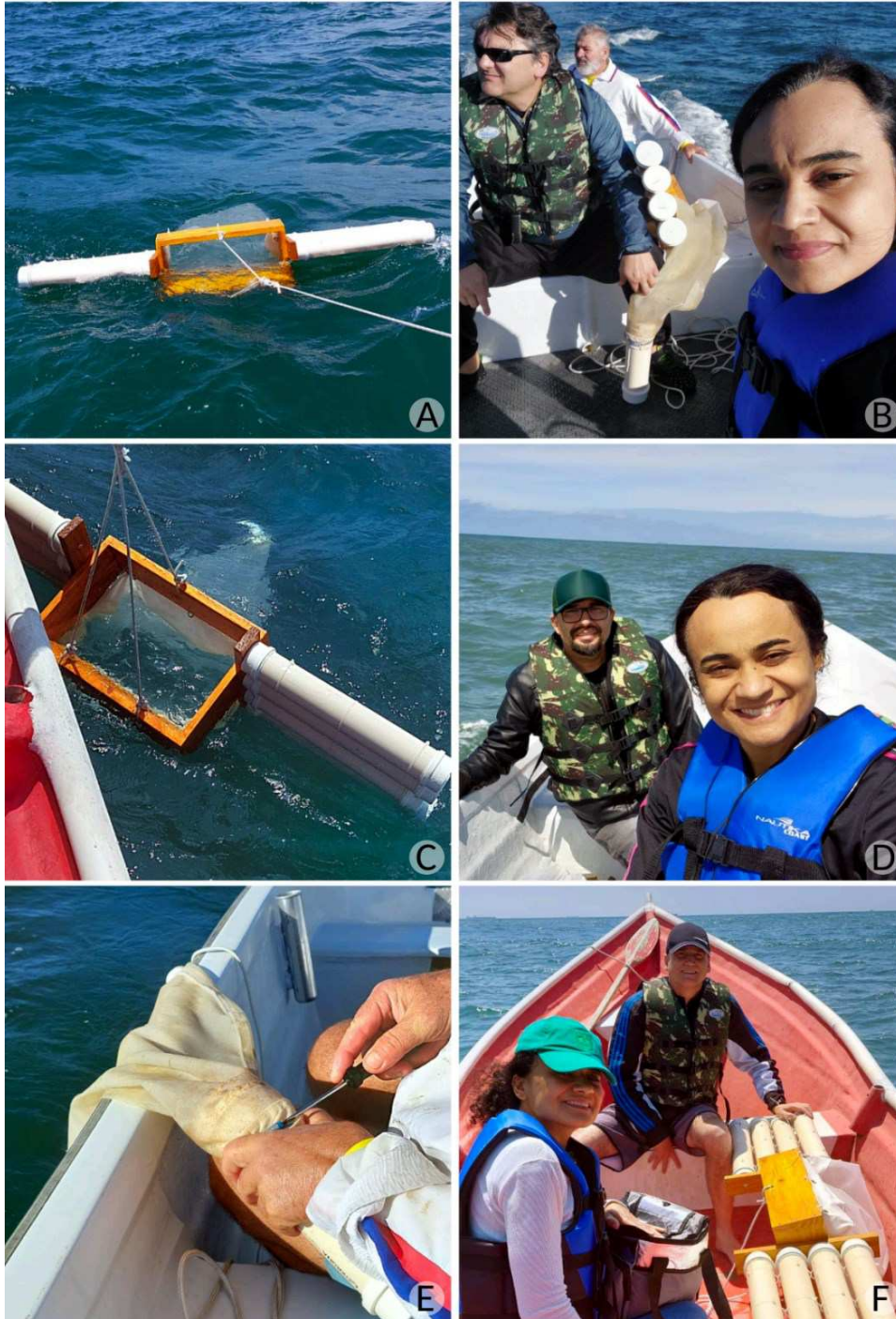
APÊNDICE

APÊNDICE A - Tecnologia de Rede de Baixo Custo para MPs e MePs em águas superficiais marinhas (A) e águas superficiais do Rio Acaraí (B). Embarcação utilizada na rebocagem da Rede (C). Imagem da embarcação no Rio Acaraí (D). Frasco de vidro com amostra de águas marinhas superficiais (E). Copo coletor acoplado a rede com amostra dentro da embarcação (F).



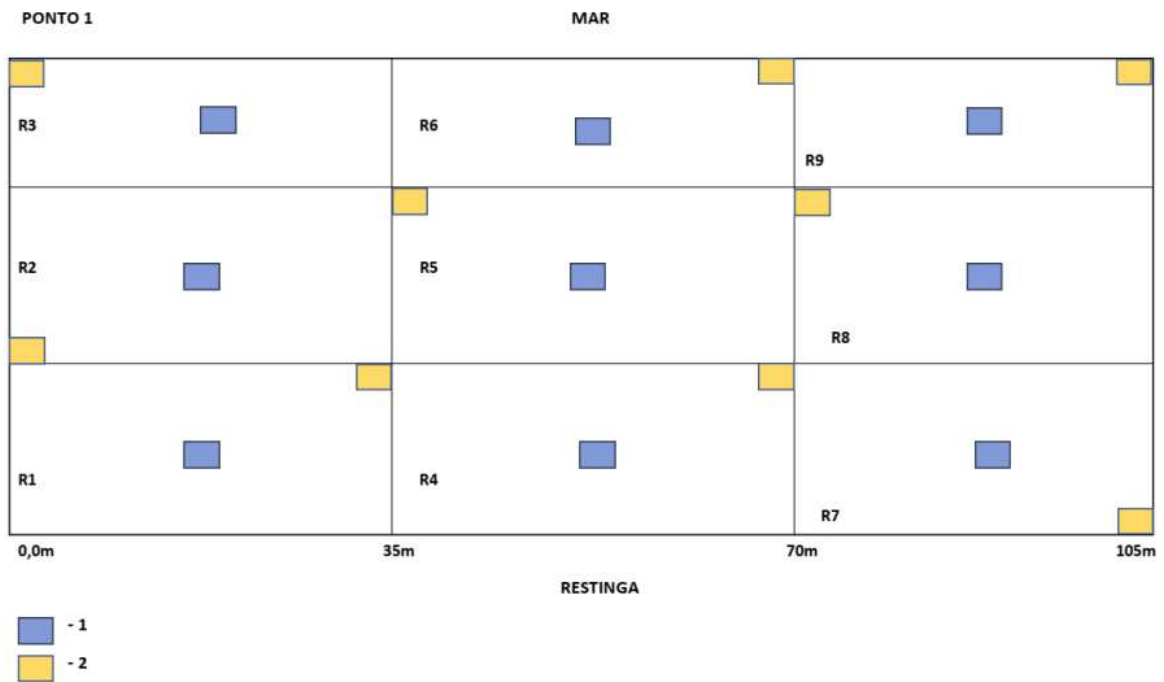
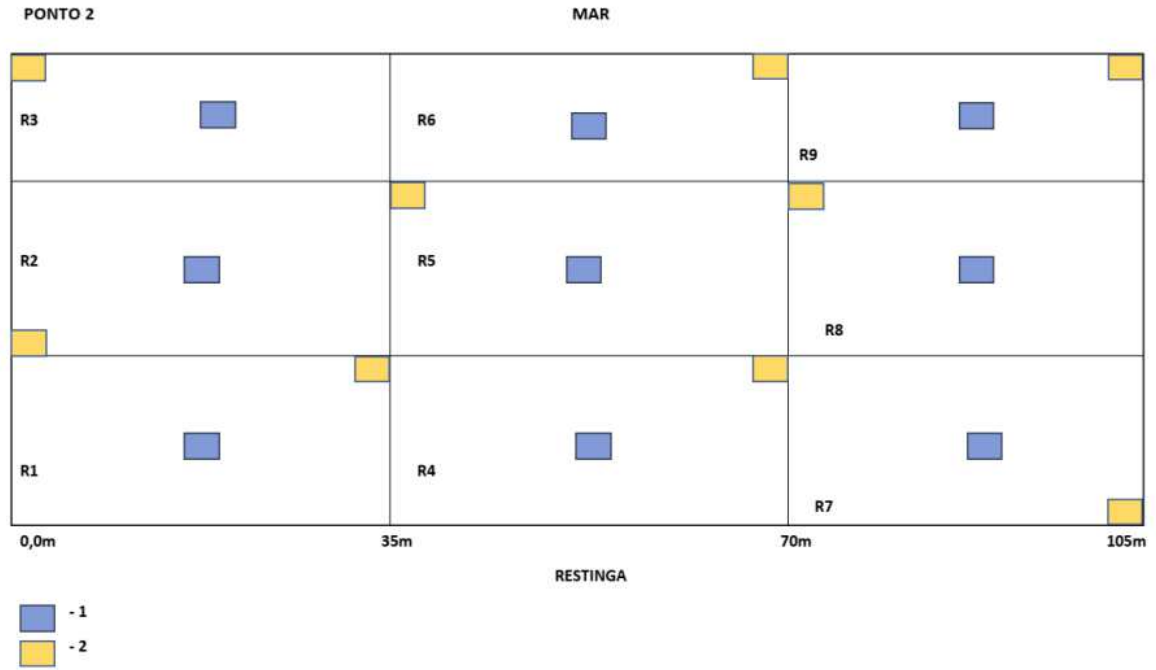
Fonte: Autores (2022).

APÊNDICE B - Amostragem de águas superficiais marinhas com utilização da Rede de baixo custo (A). Tripulação: Mestranda Elisângela à direita, Orientador Prof Dr. Uberson a esquerda e o condutor da embarcação ao fundo da imagem (B). Rede sendo retirada da água com a amostra coletada (C). Tripulação: Mestranda Elisângela à direita e Coorientador Prof. Dr. Amarildo à esquerda (D). Imagem da retirada do copo coletor da rede (E). Imagem do transporte da Rede de baixo custo na embarcação com a tripulação: Mestranda Elisângela à esquerda e esposo Márcio a direita (F).



Fonte: Autores (2023).

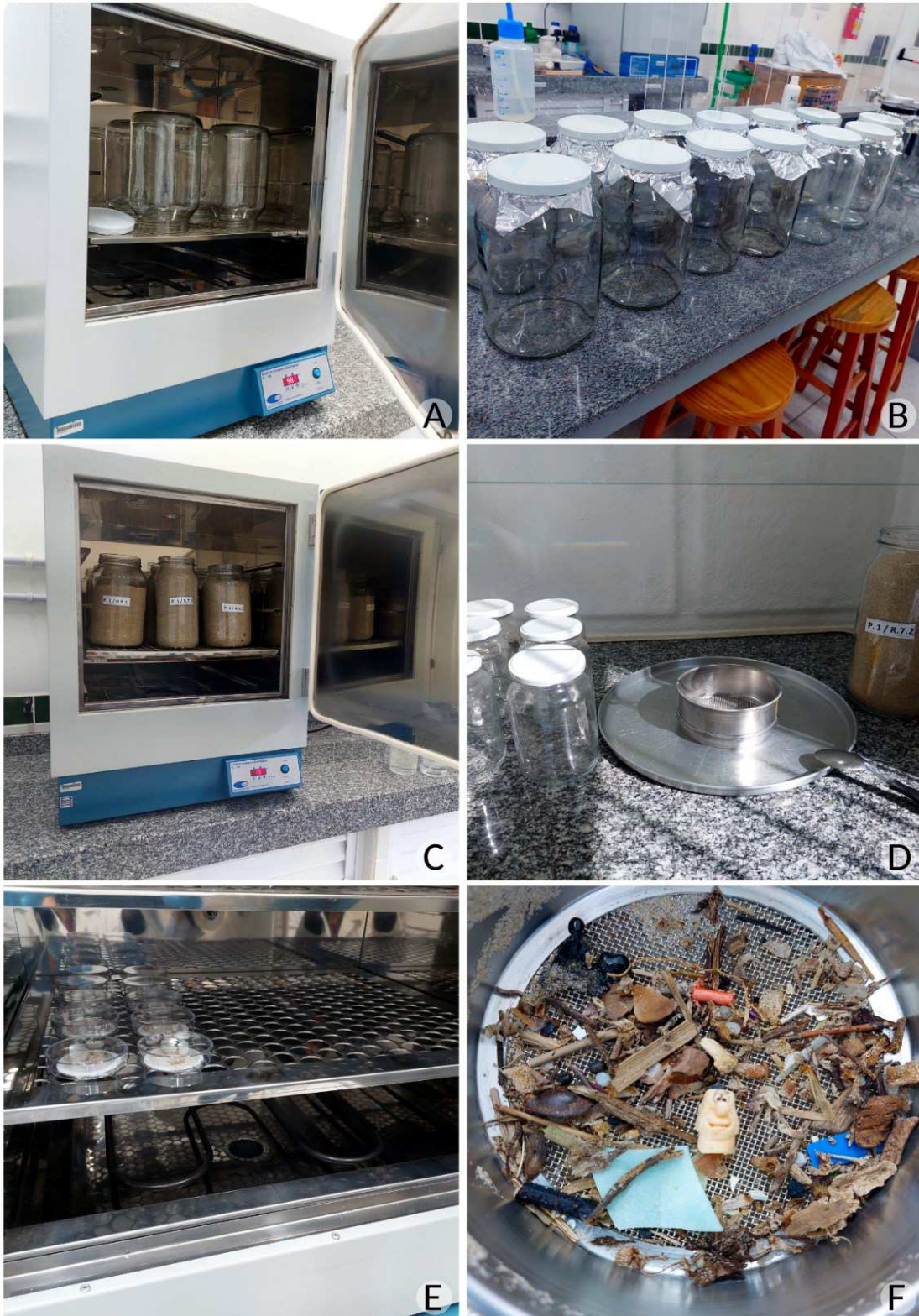
APÊNDICE C - Distribuição dos pontos de amostragem no transecto da área 1 e 2 dentro das três subdivisões realizadas ao longo dos 105 m, contemplando as faixas de marés alta, intermaré e maré baixa.



APÊNDICE D - Aspectos paisagísticos do local de amostragem dos sedimentos de areia de praia (A) e (B). Processo de coleta de sedimento de areia (C)(D). Destaque para o quadro de madeira e palitos de madeira responsáveis pela delimitação da profundidade da coleta(D). Amostra sendo acondicionada em frasco de vidro com tampa rosca de metal (F).



APÊNDICE E - Frascos em estufa de secagem após higienização (A). Frascos higienizados, secos e lacrados para realização da amostragem (B). Sedimentos de areia coletados em estufa de secagem (C). Utensílios utilizados na separação por tamização dos MPs e MePs em capela (D). Amostra filtrada em placas de petri na estufa de secagem (E). Partículas de MPs e MePs retidos em peneira inox.



Fonte: Autores (2022).

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent.



Sample ID:P.1.R.2.1 micro Particula 14

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLa
b\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Background Scans:32

Resolution: 8

System Status: Good

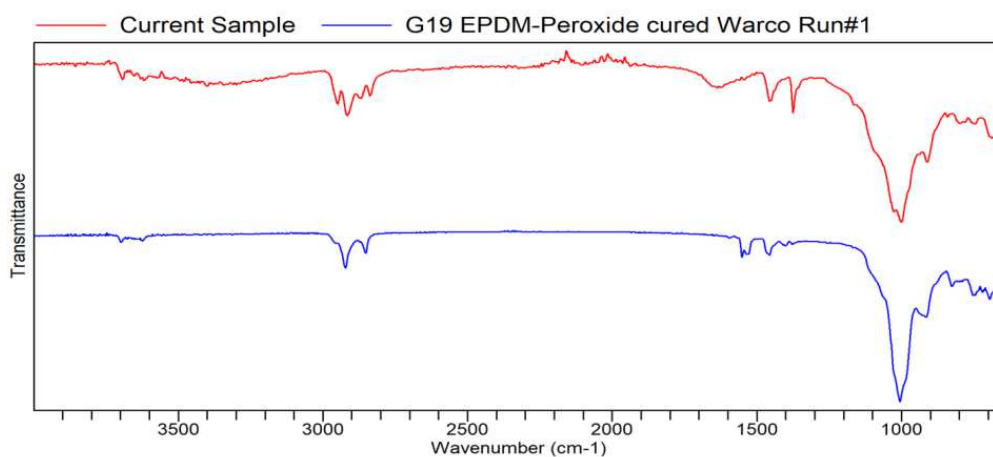
Date/Time:12/21/2023 11:29:31 AM

Range:4000 - 650

Apodization:Triangular

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.1.R.2.1 micro Particula 14_2023-

12-21T11-29-31.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.90299	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (126)		G19 EPDM-Peroxide cured Warco Run#1
0.89947	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (97)		Ethylene Propylene EPR 618337 Run#3
0.89941	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR		G20 EPDM-Peroxide

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent (Continuação).



Sample ID:P.1.R.2.2 micro Particula 12

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Background Scans:32

Date/Time:12/21/2023 10:59:25 AM

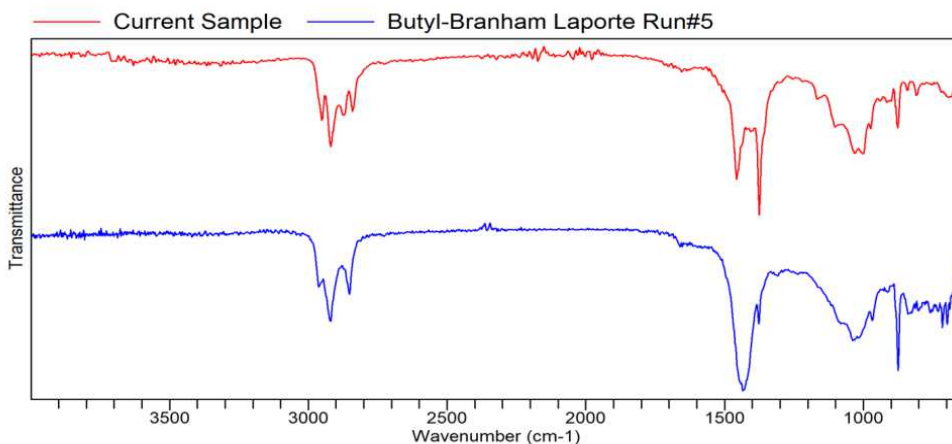
Resolution: 8

Range:4000 - 650

System Status: Good

Apodization:Triangular

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.1.R.2.2 micro Particula 12_2023-12-21T10-59-25.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.81034	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (33)		Butyl-Branham Laporte Run#5
0.79271	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (32)		Butyl-Branham Laporte Run#4
0.76228	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR		Butyl-Branham

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent (Continuação).



Sample ID:P.1.R.3.2 micro Particula 3

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Background Scans:32

Resolution: 8

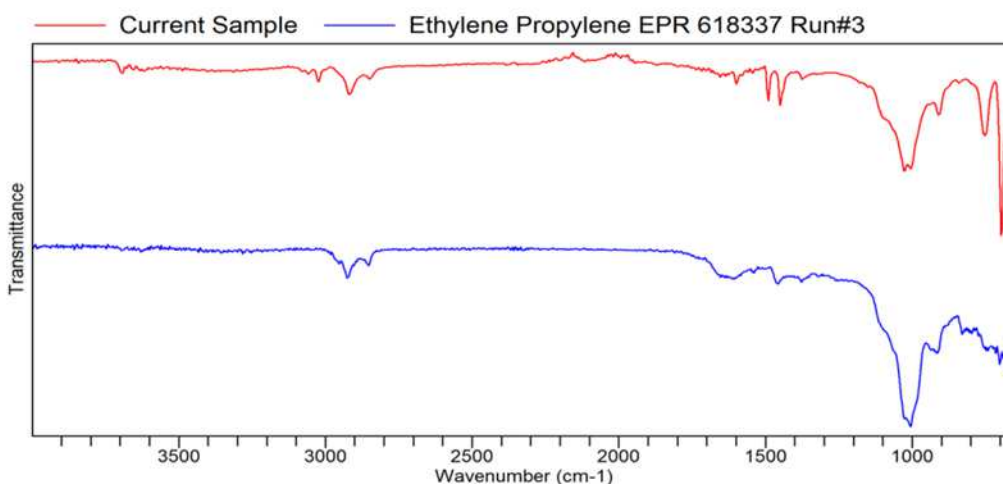
System Status: Good

Date/Time:12/21/2023 11:56:18 AM

Range:4000 - 650

Apodization:Triangular

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.1.R.3.2 micro Particula 3_2023-12-21T11-56-18.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.77643	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (97)		Ethylene Propylene EPR 618337 Run#3
0.77350	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (136)		Gasket-SBR 10053333 Run#1
0.76155	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR		Ethylene Propylene

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent (Continuação).



Sample ID:P.1.R.6.2 Meso Particula 1

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLa
b\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Background Scans:32

Resolution: 8

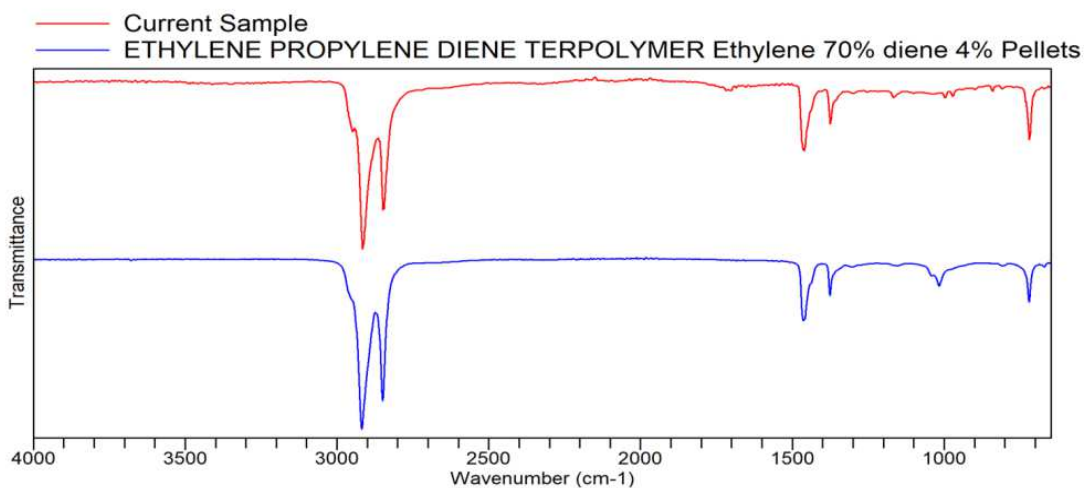
System Status: Good

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.1.R.6.2 Meso Particula 1_ 2023-
12-27T09-59-36.a2r

Date/Time:12/27/2023 9:59:36 AM

Range:4000 - 650

Apodization:Triangular



Quality	Library	CAS#	Name
0.93234	Agilent Polymer Handheld ATR Library (23)		ETHYLENE PROPYLENE DIENE TERPOLYMER Ethylene 70% diene 4% Pellets CAS 25038-36-2
0.89844	ATR Demo Library (41)		polyethylene

APÊNCIDE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent (Continuação).



Sample ID:P.2.R.4.2 Meso Particula 3

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Background Scans:32

Date/Time:12/27/2023 9:50:53 AM

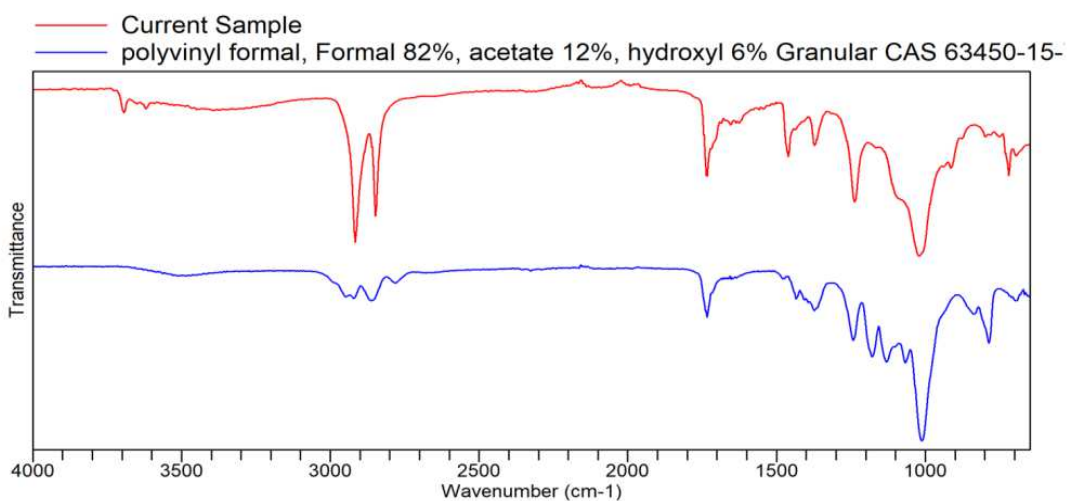
Resolution: 8

Range:4000 - 650

System Status: Good

Apodization:Triangular

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.2.R.4.2 Meso Particula 3_2023-12-27T09-50-53.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.75197	Agilent Polymer Handheld ATR Library (142)		polyvinyl formal, Formal 82%, acetate 12%, hydroxyl 6% Granular CAS 63450-15-7
0.74403	Agilent Elastomer Oring and Seal Handheld ATR Library (136)		Gasket-SBR 10053333 Run#1

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent (Continuação).



Sample ID:P.1.R.6.2 micro Particula 2

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Methods\Library Search Version4.a2m

User:admin

Sample Scans:32

Date/Time:12/21/2023 9:51:57 AM

Background Scans:32

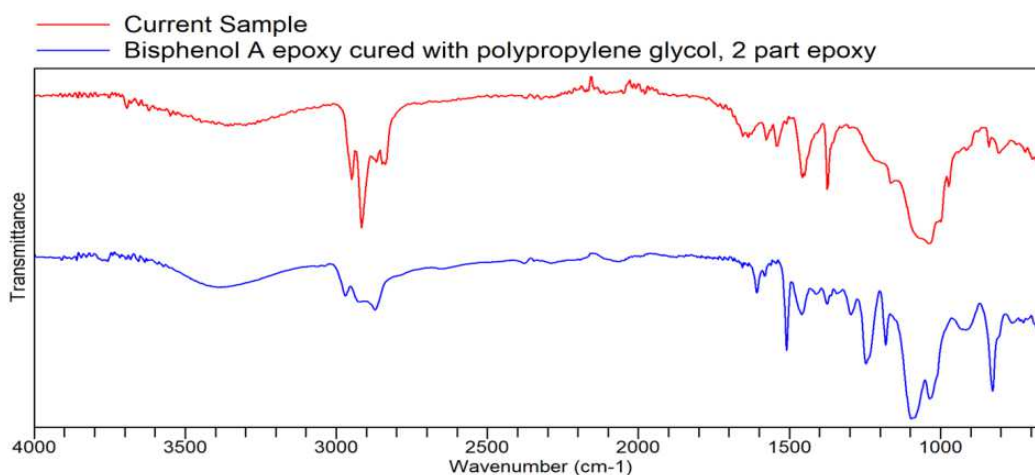
Range:4000 - 650

Resolution: 8

Apodization:Triangular

System Status: Good

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.1.R.6.2 micro Particula 2_2023-12-21T09-51-57.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.77975	Agilent Polymer Handheld ATR Library (6)		Bisphenol A epoxy cured with polypropylene glycol, 2 part epoxy
0.76981	Agilent Polymer Handheld ATR Library (46)		Hydroxyethyl cellulose Powder CAS 9004-62- 0

APÊNDICE F - Relatórios dos espectros relativos de transmitância via FTIR-ATR dos polímeros analisados na pesquisa, segundo a biblioteca específica de banco de dados disponíveis pelo fabricante Agilent(Continuação)



Sample ID:P.2.R.4.2 micro Particula 2

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLa
b\Methods\Library Search Version4.a2m

Sample Scans:32

User:admin

Background Scans:32

Date/Time:12/21/2023 11:08:09 AM

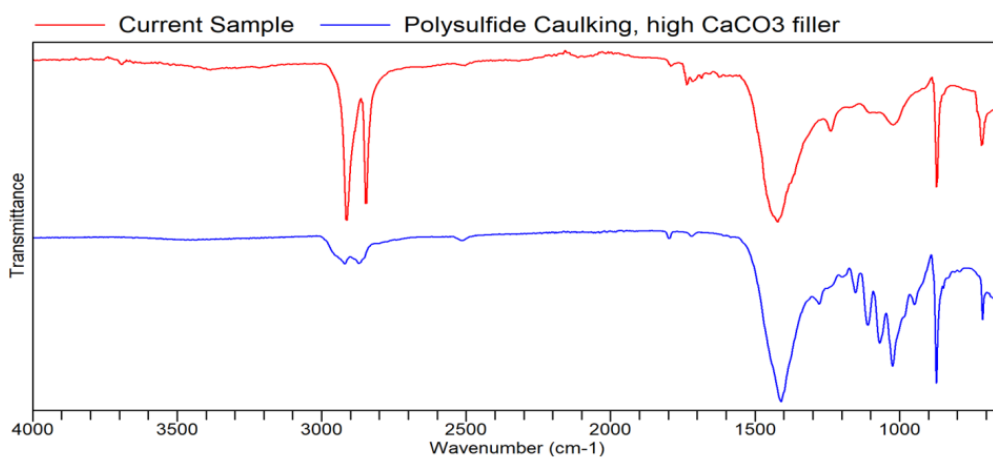
Resolution: 8

Range:4000 - 650

System Status: Good

Apodization:Triangular

File Location: C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\ P.2.R.4.2 micro Particula 2_2023-12-21T11-08-09.a2r



Quality	Library	CAS#	Name
0.72931	Agilent Polymer Handheld ATR Library (129)		Polysulfide Caulking, high CaCO3 filler
0.69940	Agilent Polymer Handheld ATR Library (102)		Polyester Rubber Window Caulking, PET based, Calcium Carbonate filler, Window Weld

APÊNDICE G - Relatório de ensaio da Análise de solo com classificação dos sedimentos de areia de acordo com sua granulometria da Área 1.



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4653 | CRF/SC: 10876

RELATÓRIO DE ENSAIO

A_113022.2023_Sol_1_1

Interessado: ANDRE RIBEIRO DO PRADO
Endereço: Rua Rio Belo, 326
CPF: 067.127.159-89

Cidade: Rodeio, Santa Catarina
CEP: 89.136-000
Fone: (47) 9169-3748

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Protocolo: 113022.2023_Sol_1_1
Matriz: Solo
Código de amostra de cliente/ponto de amostragem: AMOSTRA AREIA PONTO 1
Ponto Amostragem: - -
Temperatura Amostra no receb: 23,5°C
Plano de Amostragem: A_113022/2023
(FC) - dados fornecidos pelo cliente

Técnico de Amostragem: Cliente: -
Data Amostragem: 28/09/2023 - 08:00^{FC}
Data Recebimento: 18/12/2023
Data de Emissão do Relatório: 05/01/2024

PARÂMETRO	RESULTADO	U95%
Areia ^(PE1)	91 %	-
Areia Fina - (0,25 a 0,125 mm) ^(PE1)	9,47 %	-
Areia Grossa - (1 a 0,5 mm) ^(PE1)	5,21 %	-
Areia Média - (0,5 a 0,25 mm) ^(PE1)	85,16 %	-
Areia Muito Fina - (0,125 a 0,062 mm) ^(PE1)	0,16 %	-
Areia Muito Grossa - (2 a 1 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-
Argila ^(PE1)	10 %	-
Argila - (0,00394 a 0,002 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-
Cascalho ^(PE1)	<0,01 %	-
Silte ^(PE1)	< 0,5 %	-
Silte - (0,062 a 0,00394 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Areia	0,5	-	91	-	EMBRAPA - 2ª edição, 2009	05/01/2024	05/01/2024
Areia Fina - (0,25 a 0,125 mm)	0,01	-	9,47	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024
Areia Grossa - (1 a 0,5 mm)	0,01	-	5,21	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024
Areia Média - (0,5 a 0,25 mm)	0,01	-	85,16	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.


Dr. Guilherme Freitag
Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital


Eng. Química Délis Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.1/2

APÊNDICE G - Relatório de ensaio da Análise de solo com classificação dos sedimentos de areia de acordo com sua granulometria da Área 2.



Rua Hermann Berndt, 505 - Distrito Industrial
Timbó/SC - CEP: 89120-000
(47) 3399-0432
freitag@freitag.com.br
freitag.com.br
CRQ/SC: 4663 | CRF/SC: 10876

RELATÓRIO DE ENSAIO

A_113023.2023_Sol_2_1

Interessado: ANDRE RIBEIRO DO PRADO
Endereço: Rua Rio Belo, 326
CPF: 067.127.159-89

Cidade: Rodeio, Santa Catarina
CEP: 89.136-000
Fone: (47) 9169-3748

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Protocolo: 113023.2023_Sol_2_1

Técnico de Amostragem: Cliente: -

Data Amostragem: 28/09/2023 - 10:00^h

Matriz: Solo

Data Recebimento: 18/12/2023

Data de Emissão do Relatório: 05/01/2024

Código de amostra de cliente/ponto de amostragem: AMOSTRA AREIA PONTO 2

Ponto Amostragem: - -

Temperatura Amostra no receb: 23,5°C

Plano de Amostragem: A_113023/2023

(FC) - dados fornecidos pelo cliente

PARÂMETRO	RESULTADO	U95%
Areia ^(PE1)	95 %	-
Areia Fina - (0,25 a 0,125 mm) ^(PE1)	0,57 %	-
Areia Grossa - (1 a 0,5 mm) ^(PE1)	86,63 %	-
Areia Média - (0,5 a 0,25 mm) ^(PE1)	12,50 %	-
Areia Muito Fina - (0,125 a 0,062 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-
Areia Muito Grossa - (2 a 1 mm) ^(PE1)	0,30 %	-
Argila ^(PE1)	6 %	-
Argila - (0,00394 a 0,002 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-
Cascalho ^(PE1)	<0,01 %	-
Silte ^(PE1)	<0,5 %	-
Silte - (0,062 a 0,00394 mm) ^(PE1)	<0,01 %	-

DADOS EXTRAS DA QUALIDADE DO ENSAIO

PARÂMETRO	LQ	LD	VALOR LIDO	FAIXA DE TRABALHO	MÉTODO	DATA INÍCIO	DATA FINALIZAÇÃO
Areia	0,5	-	95	-	EMBRAPA - 2ª edição, 2009	05/01/2024	05/01/2024
Areia Fina - (0,25 a 0,125 mm)	0,01	-	0,57	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024
Areia Grossa - (1 a 0,5 mm)	0,01	-	86,63	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024
Areia Média - (0,5 a 0,25 mm)	0,01	-	12,50	-	WENTWORTH, 1922	05/01/2024	05/01/2024

Nota 01. SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edição 23.

Nota 02. LQ - Limite de Quantificação.

Nota 03. Os resultados referem-se restritamente à amostra analisada.

FPR-Tb-154, rev 03 Pag.1/2

Nota 04. Procedimentos de Amostragens conforme PR-Tb 069 Amostragem p/ Solos e Resíduos Sólidos/Líquidos, PR-Tb 077 Amostragens de Alimentos e Swabs, PR-Tb 072 Amostragens Ambientais, FPR-Tb 129 Cadeia de Custódia e, FPR-Tb 006 Plano de Amostragem e PR-Tb 068 Amostragem Águas p/ saúde humana.

Nota 05. Os métodos utilizados estão de acordo com normas nacionais e internacionais reconhecidas.

Nota 06. Este Relatório de Ensaio é válido com somente uma das assinaturas e sua autenticidade pode ser verificada no site da Freitag na Internet.

Nota 07. U95 % - Incerteza expandida relatada está baseada em uma incerteza combinada, multiplicada por um fator de abrangência K, para um nível de confiança de aproximadamente 95 %.

Nota 08. Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Nota 09. (PE) Serviço provido externamente.

Nota 10. As informações de amostragens realizadas pelo cliente são dados fornecidos pelo mesmo.

Nota 11. As declarações de conformidade estão sujeitas a eventuais falhas de interpretação. São de caráter informativo/orientativo, onde cabe ao cliente ou órgão fiscalizador analisar criticamente os resultados emitidos.

Dr. Guilherme Freitag

Diretor Técnico
CRF/SC 6672
assinatura digital

Délio Wolter Hansen
Eng. Química Délio Wolter Hansen
Gestora de Processos
CRQ/SC 13303449
assinatura digital

APÊNDICE H - Publicação de pôster científico na AGRIFOOD PLAST - INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO AND NANO-PLASTICS IN THE AGRI-FOOD CHAIN, Piacenza, Itália (2023).

AGRIFOODPLAST

INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO AND NANO-PLASTICS IN THE AGRI-FOOD CHAIN

MICROPLASTICS IN MARINE WATER: SAMPLING TECHNIQUE, EXTRACTION AND IDENTIFICATION OF POLYMERS BY STEREO-MICROSCOPY AND FTIR-ATR SPECTROPHOTOMETRY

Elisângela Silva Lopes Ricardo¹, Übersson Boaretto Rossa¹, Amarildo Otávio Martins², Cristiano Casucci³, Costantino Vischetti³, Gianluca Brunetti³, Arianna De Bernardi³, Enrica Marini³, Francesca Tagliabue³

¹ Federal Institute of Education Science and Technology Catarinense, Santa Catarina, Brazil

² Federal University of Santa Catarina, Santa Catarina, Brazil

³ Marche Polytechnic University, Ancona, Italy

INTRODUCTION

The oceans are one of the final destinations of the vast majority of plastic waste; in this sense, microplastics represent a major environmental challenge and have a global impact on diverse ecosystems. Microplastics have dimensions of less than 5mm, characterized as solid residues of difficult degradation due to their polymeric properties involving functional groups, stable chemical bonds and their hydrophobicity related, therefore, to little chemical interaction in aqueous media; added to the capacity to adsorb potentially toxic substances in the surrounding aquatic environment, amplifying the dispersal potential of micro and macro pollutants.

OBJECTIVES

Evaluated the presence of microplastics in marine waters in the northern region of the Coastline of Santa Catarina, through sampling, opening, preparation, characterization and identification of polymers.

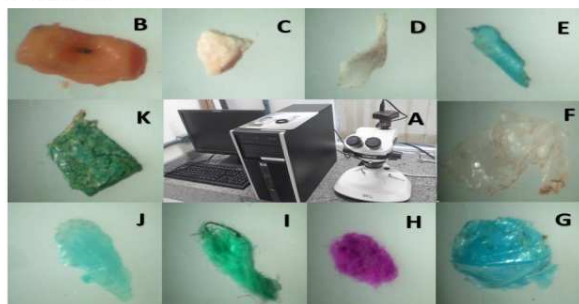


Figure: Stereomicroscope attached to camera and software for image treatment (A) and microplastic fragments observed in 40-fold increase. (B) polyethylene 0.8mm; (C) styrene 0.2mm; (D) polyethylene 1.2mm; (E) polyethylene 1.4mm; (F) polyethylene 4.3mm; (G) Polyethylene 3.0mm; (H) cellulose 1.7mm; (I) cellulose 1.8mm; (J) polyethylene 1.4mm; (K) polyethylene 1.9mm.

METHODOLOGY

The opening and preparation of the samples promoted the separation of disruptors from the matrix using alkaline potassium hydroxide solutions, reducing natural errors with polymers classified as false-positive. Polymeric characterization and identification was performed by infrared spectroscopy with Fourier transform coupled to the total attenuated reflectance module (FTIR-ATR), allowing spectroscopic identification of polymers: polypropylene, polyethylene, cellulose and butadiene-styrene copolymer.

DISCUSSION

The interpretation of the spectra was made according to the characteristic signs of the literature, as well as the signals of the internal standard spectra of the Agilent data library with accuracy of 75%, 92%, 82% and 95% for the polypropylene spectra, polyethylene, styrene-butadiene copolymer and cellulose respectively.

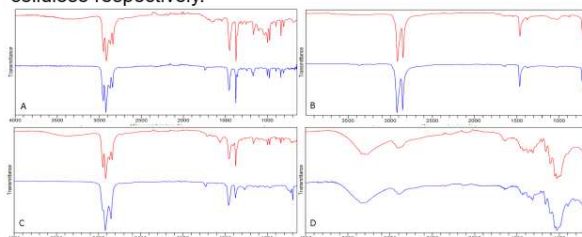


Figure: FTIR-ATR transmittance spectrum with spectral scanning from 650 to 4000 cm^{-1} . Polypropylene polymer (A); Polyethylene polymer (B); Styrene-butadiene (C) and Cellulose polymer (D).

CONCLUSIONS

The work carried out contributes to the evaluation of an area not yet studied in relation to the presence of microplastics in marine waters, at the same time as a detailed description of the analysis methodologies of microplastics that followed the protocols, with modifications related to the techniques of opening and preparing samples via density separation.

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista *Naturae*.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022).



Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

A sampling system for microplastics in water was developed using low-cost materials based on the international standard protocol of the National Oceanic and Atmospheric Administration with the use of a nylon sampling net fixed to a treated wood structure and with plastic tubes responsible for buoyancy. The sampling was done in marine and fresh waters off the coast of Santa Catarina, using boats as trailers in order to collect samples along the coastal strip. The structure developed showed excellent performances regarding stability and robustness during the sampling process. The analysis and characterization of the microplastics was done within the protocol recommendations using separation sieves. The developed system can be used in environmental monitoring involving the sampling of microplastics in water, added to its cost-benefit ratio and accessibility for professionals in the area.

Palavras-chave: Microplastics; Sampling; Water; Ocean; Rivers.

Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para amostragem de microplásticos em água

Foi desenvolvido um sistema de amostragem de microplásticos na água utilizando materiais de baixo custo com base no protocolo padrão internacional da National Oceanic and Atmospheric Administration com o uso de uma rede de amostragem de nylon fixada a uma estrutura de madeira tratada e com tubos plásticos responsáveis pela flutuabilidade. A amostragem foi feita em águas marinhas e doces no litoral de Santa Catarina, utilizando barcos como rebocadores para coleta de amostras ao longo da faixa litorânea. A estrutura desenvolvida apresentou excelentes desempenhos quanto à estabilidade e robustez durante o processo de amostragem. A análise e caracterização dos microplásticos foi feita dentro das recomendações do protocolo usando peneiras de separação. O sistema desenvolvido pode ser utilizado em monitoramento ambiental envolvendo a amostragem de microplásticos em água, somado a sua relação custo-benefício e acessibilidade para profissionais da área.

Keywords: Microplásticos; Amostragem; Água; Oceano; Rios.

Topic: **Notas Científicas**

Received: **05/07/2022**

Approved: **19/11/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Elisângela Silva Lopes Ricardo 
 Instituto Federal Catarinense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4288523631933676>
<https://orcid.org/0000-0002-3821-2274>
elisangela.ricardo@ifc.edu.br

Amarildo Otavio Martins
 Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2378825410173036>
amarildo.martins@ufsc.br

Uberson Rossa
 Instituto Federal Catarinense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3476177132200018>
uberson.rossa@ifc.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004

Referencing this:

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.. Development of a low-cost system for sampling microplastics in water. *Naturae*, v.4, n.2, p.24-31, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004>



©2022

® Companhia Brasileira de Produção Científica. All rights reserved.

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

INTRODUCTION

Monitoring marine environments with respect to the presence of plastic litter enables a much-needed assessment of the extent and impacts of marine plastic litter, which makes it possible to design mitigation actions as well as to evaluate their effectiveness. However, for effective monitoring routines, it is essential to use standardized and reliable sampling and sample characterization methods (GESAMP, 2019).

Plastics are polymers but not all polymers are plastics, they are mostly obtained from fossil fuels (UNEP, 2018), formed by monomeric units linked together forming long polymer chains; however, some plastics, such as drop-in bioplastics, can be obtained in an unconventional way through biological bases, (BARBATO et al., 2022) therefore are hybrid versions of traditional plastics.

Plastics are widely present in nature, creating a major challenge to society and the global economy, impacting soils, freshwaters and oceans with macro, micro and nanoplastic contaminations (MURPHY et al., 2016) (HAMILTON et al., 2019); where human ingestion of microplastic particles ranges from 74 to 121,000 particles per year (COX, 2019).

Microplastics were first observed in North America along the New England coast in the 1970s (CARPENTER et al., 1972), stemming from the exploitation of fossil fuels and the large-scale production of plastics starting in the 1950s. To categorize plastic fragments, a classification based on polymer sizes is commonly adopted classifying polymer waste into macro-plastics (1000-25 mm), meso-plastics (25-5 mm) and microplastics (< 5mm) (GESAMP, 2019); therefore, microplastics are plastic particles smaller than 5.0 mm in size (MOORE, 2008).

Regarding their origin, microplastics are classified into primary and secondary. Primary microplastics are the fragments of polymers that are introduced into the environment in (dimensions smaller) than 5mm, they are present in consumer materials such as microspheres used in cosmetic products (LEI et al., 2017) and microfibers of fabrics from fabric washing (GALVÃO et al., 2020). Secondary microplastics are small fragments that are indirectly introduced into the environment by the degradation of pieces through physical, chemical, and biological processes that result in the fragmentation of plastic debris (ANDRADY, 2011).

The presence of plastic waste in the oceans has grown significantly, and according to estimates the amount of plastic waste entering the oceans annually is between 4.8 and 12.7 million metric tons (JAMBECK et al., 2015). World plastic production in 2020 was 367 million tons¹ and according to a report published by WWF in 2019, 75% of all plastic produced has already become waste (HAMILTON et al., 2019). Plastic waste accounts for up to 80% of all waste found in the oceans (UNEP, 2016), and has been recognized as a global problem (LI et al., 2021) by governments and international environmental organizations since the 1990s (MASURA et al., 2015). Marine environments act as the destination of natural and anthropogenic waste and are one of the most researched ecosystems in relation to pollution involving plastics.

Research involving microplastics worldwide is concentrated in a higher percentage (86%) in North America, Europe, and Asia (AJITH et al., 2020). The amount of research conducted in Latin America regarding

¹ <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

the occurrence of microplastics has increased in recent years, and Brazil stands out as the country that has been developing the most research in the area (KUTRALAM et al., 2020).

Studies involving the development of protocols for sampling, opening, sample preparation, and characterization of microplastics have been carried out and developed; however, the lack of standardization and normatization makes it impossible to carry out comparative monitoring studies about microplastics in environmental matrices with the aim of establishing a cohesive baseline that allows monitoring programs to be implemented (GRILLO et al., 2022).

Recently the protocols developed by the Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP, 2019) and National Oceanic and Atmospheric Administration (MASURA et al., 2015) are referenced and enable the standardization of procedures involving research in the area of plastic waste. Due to the difficulties inherent in the process of sampling representativeness of microplastics in aqueous matrices, the protocol developed by NOAA presents as an alternative the adaptation of a Nêuston net (Figure 1) commonly used in plankton sampling, therefore the analysis of microplastics in waters is possible by the adaptation of a sampling system of aquatic microorganisms (Nêuston nets) involving protocols for the evaluation (CETESB, 2012).



Figure 1: Nêuston net (sampling aquatic microorganisms) and collecting cups.

Adapted Neuston nets have been one of the most used sampler options for capturing microplastics and mesoplastics (GESAMP, 2019), with the net mesh aperture used ranging in size from 50 μm to 500 μm , with 330 μm being most commonly used (HIDALGO et al. 2012). The adaptation of a floating system (Figure 2) on a trailer involving boats has shown excellent results according to the NOAA protocol.



Figure 2: Floating sampler attached to a Neuston net coupled to a trailer (boat) in waters.

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

REPORT

Low-cost materials were used to construct the microplastic sampling system (Table 1). A nylon net whose material is not easily susceptible to changes and deformities with 300 μm openings, similar to the Nêuston net, was used as the drag system. The development of the Low Cost Microplastic Net was intended to make the sampling of microplastics in waters accessible and feasible, considering the ease of acquisition of the materials needed in the construction, added to the excellent results acquired.

The construction of the Low Cost Microplastics Net system was based on the principle of buoyancy using PVC pipes, observing the pipe sizes in relation to the dimensions of the wooden structure to facilitate stability (Figure 3); emphasizing that the pipes should be properly sealed with PVC plastic adhesive plugs and internal insulation with silicone, so that water infiltration into the buoyancy system does not occur.

The collecting cup was fixed to the lower end of the net by a clamp (Figure 3), and constructed from the end of a PVC pipe with a side window where the opening was made with a drill and cup drill bit and fixed with rivets. The collecting cup has holes sealed with nylon mesh (300 μm) to reduce the accumulation of water inside where it will retain the microplastics.



Figure 3: Low-cost Net for Microplastics and the collecting cup attached to the net.

In the front part of the Microplastic Low-Cost Net (Figure 4), 3 holes were drilled to fix the nylon ropes with approximately 50 cm in length in order to keep the system horizontal during towing. The pipe buoyancy system (Figure 4) was made with a lateral inclination of approximately a 30° angle in relation to the central wooden structure, so that the water blade can enter the net and increase stability in surface waters. The central rectangular wooden structure treated with marine varnish (Figure 4) was made with dimensions 50x30x15 cm mounted with screws, where the net was fixed with nylon ties.



Figure 4: Front view of the Low-Cost Microplastic Net made of wood treated with marine varnish coupled with Neuston net and PVC pipes responsible for buoyancy.

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

The PVC pipes were attached to each other (Figure 5) in a sequence of nylon ties in order to provide mechanical stability during the towing process in the waters.



Figure 5: Side view of the PVC buoyancy system and attachment with interlaced clamps for added strength.

Table 1 lists the materials used to make the Low-Cost Microplastic Net; the materials were purchased from easily accessible, low-cost building supply stores.

Table 1: List of materials for the construction of the RBCM system.

Quantities	Materials used for construction
2	pine wood with dimensions 50 cm x 15 cm
2	pine wood with dimensions 30 cm x 15 cm
2	pine wood with dimensions 40cm x 7 cm
8	french screws with hexagonal thread and arroela 5 mm x 16mm.
8	fixer screws for wood 4,5mm x 60mm
8	75mm pipes with dimensions of 50cm
17	75mm pipe plugs
1	75mm pipe with 30 cm dimension (needs to be the end of the pipe for better clamping)
30	self-locking nylon clamps 3mm x 200mm
1	1.5m of 0.3mm nylon mesh
8	2cm diameter eyelets
1	80 cm of cotton fabric
8	rivet units
6	meters of nylon braided rope 1,5mm
1	50 ml marine varnish

RESULTS AND DISCUSSION

The sampling tests in aqueous matrices for microplastics were done in marine and fresh waters (Figure 6) during a circuit of approximately 3 km in different sampling campaigns in the northern region of the coast of Santa Catarina. The Microplastic Low-cost Net was coupled to a motor-driven sport fishing dinghy model boat using nautical nylon ropes for towing.

The Low Cost Microplastic Net, because it is constructed of lightweight materials, was easy to handle during insertion and manipulation inside the vessel; excellent results of buoyancy and mechanical strength were observed without any modification of the structure during and after the sampling processes.

The Low Cost Microplastic Net makes it possible to sample water depths of approximately 40 cm. Taking into account the net opening and the speed of the boat it is possible to calculate the volume of water sampled.

Figure 7 shows the volume sampled in the collecting beaker of the Low Cost (Net) for Microplastics, as well as a comparative study of samples according to the NOAA protocol, the samples were transferred to (glass jars with screw lids). It should be noted that after collection, the collection beaker should be rinsed

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

with deionized water for total transfer of the samples, aiming to remove all material in suspension contained therein.



Figure 6. Sampling study using the Low-cost Net for Microplastics in fresh and marine waters.



Figure 7. NOAA protocol sampling and Low Cost (Net) sampling for microplastics.

The samples obtained from the collection were taken to the laboratory and proceeded to the separation process according to the NOAA protocol. One of the first steps of the protocol involves sieving (Figure 8) using sieves (5.6, 1.0 and 0.3 mm) to separate the materials that are in the surface waters, with the objective of obtaining possible fragments smaller than 5 mm, characteristic of microplastics.

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

The Low Cost (Microplastic Net) is intended to make the sampling of microplastics in surface waters feasible and therefore affordable; highlighting the ease of acquisition of materials and construction of the sampling system, added to the excellent results acquired in marine waters and rivers. The materials used were purchased in commercial stores in the area of construction; therefore, with relatively low costs compared to the acquisition of an imported sampling system according to the NOAA protocol.

The Low-cost Microplastic Net, because it was built with light materials, was easy to handle during the manipulation in the vessel; excellent results of buoyancy, stability and mechanical resistance were observed without any modification of the structure during and after the sampling processes. The collecting cup retained with excellent results the sampling of microplastics in the surface water slide.

Therefore, the Microplastic Low-cost Net is indicated as an alternative for the sampling of microplastics in aqueous matrices both marine and in surface water in rivers. Enabling the realization of the monitoring of microplastics in waters in view of the urgent need for monitoring of the anthropogenic impact

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

on aquatic environments by research institutes and environmental monitoring and control agencies, among others. The work will be continued under the NOAA protocol involving separation and identification through microscopic and FTIR spectroscopic characterization, as well as monitoring of surface waters in cooperative work.



Figure 8. NOAA protocol sieve separation process and sample separation obtained after sampling by the Low-cost Net for Microplastics with fragments smaller than 5 mm.

REFERÊNCIAS

- AJITH, N. ARAMUGAM, S.; PARTHASARATHY, S.; MANUPOORI, S.; JANAKIRAMAN, S.. Global distribution of microplastics and its impact on marine environment: a review. *Environmental Science and Pollution*, v.27, p.25970-25986, 2020.
- ANDRADY, A. L.. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, v.12, n.8, p.1596-1605, 2011.
- BARBATO, A. G.; PAMPLONA, B.. Os Desafios para a Difusão dos Bioplásticos no Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v.11, 2022.
- CARPENTER, E. J.; SMITH, K. L.. Plastics on the Sargasso sea surface. *Science*, v.175, n.4027, p.1240-1241, 1972.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. São Paulo: CETESB, 2011.
- COX, K. D.; COVERNTON G. A.; DAVIES H. L.; DOWER J. F.; JUANES F.; DUDAS S. E.. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science and Technology*, v.53, n.12, p. 7068-7074, 2019.
- GALVÃO, A. ALEIXO M.; DE PABRO H.; LOPES C.; RAIMUNDO J.. Microplastics in wastewater: microfiber emissions from common household laundry. *Environmental Science and Pollution Research*, v.27, n.21, p.26643-26649, 2020.
- GRILLO, J. F.; REBOLLEDO, G.; SABINO, M. A.; RAMOS, R.. Microplastics in Latin America and the Caribbean: On the adoption of reporting standards and quality assurance and quality control protocols. *Environmental Advances*, v.8, p.100236, 2022.
- DEWIT, W.; HAMILTON, A.; SCHEER, R.; STAKES SIMON ALLAN, T. **Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização** Este. Gland: WWF, 2019.
- JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T.R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K. L.. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v.347, n.6223, p.768-771, 2015.
- KUTRALAM, G. M.; GUEVARA, F. P.; MARTÍNEZ, E.; SHRUTI, V. C.. Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution*, v.10, 2020.
- LEI, K. Q. F.; LIUA, Q.; WEIA, Z.; QIB, H.; CUIC, S.; YUEA, X.; DENG, Y.; ANA, L.. Microplastics releasing from personal care and cosmetic products in China. *Marine Pollution Bulletin*, v.123, n.1-2, p.122-126, 2017.
- LI, L.; ZUO, J.; DUAN, X.; WANG, S.; HU, K.; CHANG, R.. Impacts and mitigation measures of plastic waste: A critical review. *Environmental Impact Assessment Review*, v.90, 2021.
- MASURA, J.; BAKER, J.; FOSTER, G.; ARTHUR, C.; HERRING, C.. **Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments**. Silver Spring: NOAA Technical Memorandum, 2015.
- MOORE, C. J.. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, v.108, n.2, p.131-139, 2008.
- MURPHY, F.; EWINS, C.; CARBONNIER, F.; QUINN, B.. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, v.50, n.11, p.5800-5808, 2016.
- UNEP. **Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change**. Nairobi: United Nations Environment Programme 2016.

APÊNDICE I - Trabalho publicado como Nota Científica na Revista Naturae.

<http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022) (Continuação).

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

RICARDO, E. S. L.; MARTINS, A. O.; ROSSA, U.

UNEP. **El estado de los plásticos: Perspectiva del día mundial del medio ambiente.** Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce644f68ac8c248420045cb7b5e/4495187680044091584990248054507007864667408696135652067956115737333104050177/>

APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado.



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense



Mestrado Profissional
TECNOLOGIA E AMBIENTE

Análise e Avaliação da Presença de Microplásticos e Mesoplásticos em Matrizes Ambientais de Águas Marinhas Superficiais e Sedimento de Areia na região da Praia Grande em São Francisco do Sul - SC

Bióloga Elisângela Silva Lopes Ricardo

Orientador: Prof. Dr. Überson Boaretto Rossa
 Coorientador: Prof. Dr. Amarildo Otávio Martins
 Coorientador: Prof. Dr. Eduardo A. Werneck Ribeiro

Contextualização

Os plásticos são materiais poliméricos compostos por moléculas orgânicas derivadas comumente de petróleo caracterizados por possuir resistência praticidade e baixo custo(DA COSTA *et al.*, 2016).

A produção e comercialização dos plásticos iniciou-se no século XIX e a partir de 1950 sua produção apresentou uma significativa expansão com aumento de 1,7 para 322 milhões de toneladas entre 1950 e 2016 chegando em quase 400 milhões de toneladas de plástico produzido em 2022 (PLASTICS EUROPE, 2023)

Principais tipos de plásticos:

1

02

03

04

05

06

07

Contextualização

Observados pela primeira vez na década de setenta (CARPENTER; SMITH, 1972).

O termo microplásticos (MPs) só foi incorporado aos trabalhos científicos em 2004 (THOMPSON *et al.*, 2004).

Microplásticos são partículas plásticas inferiores a 5 mm os Mesoplásticos (MePs) entre 5 mm e 25 mm (NOAA,2009; GESAMP,2019).

Classificação: Primários e Secundários (GESAMP, 2019).

Examples of marine litter



Size categories

Mega	1 m
Macro	
Meso	25 mm
Micro	


Fonte: GESAMP (2019).

Contextualização



Fonte: P. Wu *et al.*(2019).


APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

<h3>Objetivo Geral</h3> <p>Analisar a presença de MPs e MePs em amostras de matrizes ambientais envolvendo águas marinhas superficiais, sedimentos de areia de praias na região da Praia Grande, localizada no município de São Francisco do Sul - SC, bem como realizar sua identificação qualitativa utilizando microscopia ótica e espectrofotometria de infravermelho (FTIR- ATR).</p>
<h3>Objetivos Específicos</h3> <p>Analisar a presença de fragmentos de MPs e MePs utilizando microscopia ótica.</p> <p>Classificar os fragmentos de MPs e MePs segundo os aspectos morfológicos envolvendo cor, tipo e tamanho.</p> <p>Analisar e identificar os tipos de polímeros via espectroscopia de infravermelho (FTIR- ATR).</p>
<h3>Capítulos</h3> <p>Capítulo 1 - Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para amostragem de microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais</p> <p>Capítulo 2 - Microplásticos na superfície de águas marinhas da costa de Santa Catarina (Brasil): Identificação por estereomicroscópio e espectrofotômetro FTIR-ATR</p> <p>Capítulo 3 - Ocorrência, características e identificação via FTIR-ATR e estereomicroscopia de microplásticos e mesoplásticos em sedimentos de areia de praia em São Francisco do Sul (Brasil)</p>
<p>Capítulo 1 - Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para amostragem de microplásticos e mesoplásticos em águas superficiais</p> <p>Alternativa para a amostragem de MPs e MePs em matrizes aquosas com a finalidade de tornar viável e, portanto, acessível a amostragem em águas superficiais; ressaltando para a facilidade de aquisição dos materiais e a descrição detalhada da construção do sistema de amostragem</p>  <p style="text-align: right;">Fonte: Autores (2022)</p>


APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).


Material e Métodos

SISTEMA DE FLUTUABILIDADE →



→ COPO COLETOR







→ ESTRUTURA EM MADEIRA


Fonte: Autores (2022).

Resultados




← ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO ACARAI →






← ÁGUAS SUPERFICIAIS MARINHAS →



Fonte: Autores (2022).

Conclusões

- Materials leves e de baixo custo
- Fácil manuseio durante amostragem
- Excelentes resultados de flutuabilidade e estabilidade
- Resistência mecânica
- Retenção dos resíduos presentes nas águas superficiais




Fonte: Autores (2022).

Produção Científica

Development of a low-cost system for sampling microplastics in water

Trabalho publicado como Nota Científica na Revista *Naturae* <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2022.002.0004> (2022).



APÊNDICE J - Esldes utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

Capítulo 2 - Microplásticos na superfície de águas marinhas da costa de Santa Catarina (Brasil): Identificação por estereomicroscópio e espectrofotômetro FTIR-ATR

Avaliação qualitativa da contaminação envolvendo a presença de MPs em águas marinhas superficiais na região da Praia Grande em São Francisco do Sul – SC

Amostragem, caracterização e identificação dos polímeros baseado em protocolos de referência do GESAMP (2019) e NOAA (2015).

Fonte: Autores (2022).

Material e Métodos

Amostragens entre Junho e Outubro (2022) - Localização:

Fonte: Google Earth com modificações da autores (2022)

Material e Métodos

Fonte: Autores (2022).

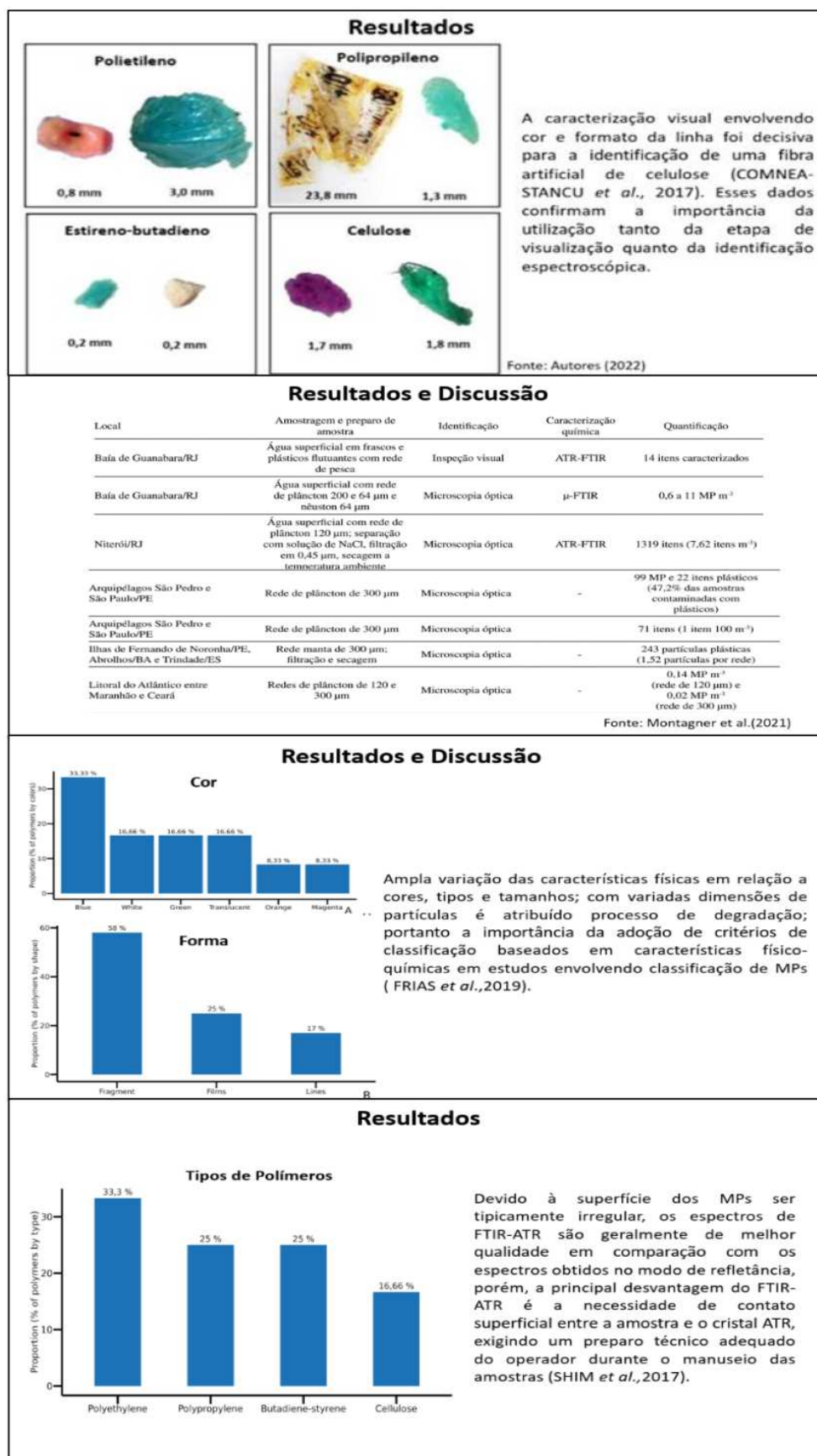
Resultados e Discussão

Nas três campanhas de amostragens foram avaliados 900 m³ de águas marinhas superficiais nos quais foram observados 11 partícula de MPs e 1 de MePs totalizando uma concentração de 0,012 partículas por metro cúbico

A concentração de MPs de 0,01 partículas m⁻³ obtida pelo estudo realizado foi menor em comparação com outros estudos realizados no Brasil envolvendo a avaliação de MPs em águas marinhas como CASTRO *et al.* (2020) (1,01-56,33 item m⁻³) e OLIVATTO *et al.*(2019) (1,4-21,3 item m⁻³).

As concentrações de MPs na América Latina são altamente variáveis. A variação de concentrações pode estar relacionada a fatores como diferenças climáticas durante a amostragem, protocolos de amostragem, quantificação, localização, entre outros. ORONA-NAVAR *et al.*(2022).

APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).



APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

Produção Científica

Publicação de pôster científico na **AGRIFOOD PLAST - INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO AND NANO-PLASTICS IN THE AGRI-FOOD CHAIN**, Piacenza, Itália (2023).





AGRIFOOD PLAST
INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO AND NANO-PLASTICS IN THE AGRI-FOOD CHAIN

MICROPLASTICS IN MARINE WATER: SAMPLING TECHNIQUE, EXTRACTION AND IDENTIFICATION OF POLYMERS BY STEREO-MICROSCOPY AND FTIR-ATR SPECTROPHOTOMETRY

Elisângela Silva Lopes Ricardo, Amarildo Otávio Martins, Uberson Boaretto Rossa, Eduardo Augusto Werneck Ribeiro, Cristiano Casucci, Constantino Vischetti, Arianna De Bernardi, Erica Maria

INTRODUCTION
The oceans are one of the final destinations of the vast majority of plastic waste in the world, representing a major environmental challenge and have a global impact on several ecosystems. The work evaluated the presence of microplastics in marine waters on the north coast of Santa Catarina, addressing the procedures for sampling, opening, characterization and identification of polymers. Low-cost equipment developed with easily accessible materials was used in the sampling, showing excellent results in terms of buoyancy, stability and mechanical strength. The opening of the samples was carried out with alkaline solutions of potassium hydroxide, promoting the elimination of interferences from the matrix, while the separation process via density provided the separation of interferences, with the use of a zinc chloride solution. The microplastics found were analyzed by stereomicroscopy and classified according to morphological aspects in fragments, films and lines. The characterization and polymeric identification involving the functional groups was performed by infrared spectroscopy with Fourier transform coupled to the total attenuated reflectance module (FTIR-ATR) showing ease in sample preparation, which dispensed with previous preparation due to the ATR module. The types of polymers identified were: polypropylene, polyethylene, cellulose and butadiene-styrene copolymer. The work carried out contributed to the evaluation of an area not yet studied in relation to the presence of microplastics in marine waters, while at the same time described in detail the methodologies for analyzing microplastics proposed in the specialized literature.

METHODS
The extraction of the specific waste made according to the characteristics of the sample and used in the study of the presence of MPs, 50% NaOH and 50% ZnCl₂ for the polypropylene family, 100% NaOH and 50% ZnCl₂ for the polyethylene family, 100% NaOH and 50% ZnCl₂ for the cellulose and butadiene-styrene copolymer.

CONCLUSIONS
The work carried out contributed to the evaluation of an area not yet studied in relation to the presence of microplastics in marine waters, while at the same time described in detail the methodologies for analyzing microplastics proposed in the specialized literature.

KEYWORDS: polymers, water, waste, methodology, monitoring

Produção Científica

Microplásticos na superfície de águas marinhas da costa de Santa Catarina (Brasil): Identificação por estereomicroscópio e espectrofotômetro FTIR-ATR

Artigo submetido para Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB): www.rbciamb.com.br

MICROPLASTICS ON THE SURFACE OF COASTAL MARINE WATER: SAMPLING, OPENING AND IDENTIFICATION BY STEREO-MICROSCOPY AND FTIR-ATR SPECTROPHOTOMETRY

Elisângela Silva Lopes Ricardo, Amarildo Otávio Martins, Uberson Boaretto Rossa, Eduardo Augusto Werneck Ribeiro, Cristiano Casucci, Constantino Vischetti, Arianna De Bernardi, Erica Maria

ABSTRACT

The oceans are one of the final destinations for the vast majority of plastic waste; in this sense, particles smaller than 5 mm, classified as microplastics, represent an environmental challenge with a global impact on several ecosystems. The work evaluated the presence of microplastics in marine waters on the north coast of Santa Catarina, addressing the procedures for sampling, opening, characterization and identification of polymers. Low-cost equipment developed with easily accessible materials was used in the sampling, showing excellent results in terms of buoyancy, stability and mechanical strength. The opening of the samples was carried out with alkaline solutions of potassium hydroxide, promoting the elimination of interferences from the matrix, while the separation process via density provided the separation of interferences, with the use of a zinc chloride solution. The microplastics found were analyzed by stereomicroscopy and classified according to morphological aspects in fragments, films and lines. The characterization and polymeric identification involving the functional groups was performed by infrared spectroscopy with Fourier transform coupled to the total attenuated reflectance module (FTIR-ATR) showing ease in sample preparation, which dispensed with previous preparation due to the ATR module. The types of polymers identified were: polypropylene, polyethylene, cellulose and butadiene-styrene copolymer. The work carried out contributed to the evaluation of an area not yet studied in relation to the presence of microplastics in marine waters, while at the same time described in detail the methodologies for analyzing microplastics proposed in the specialized literature.

KEYWORDS: polymers, water, waste, methodology, monitoring

Conclusões

O trabalho contribuiu para a avaliação de águas superficiais marinhas de uma área ainda não avaliada em relação à presença de MPs, e ao mesmo tempo descreveu detalhadamente as metodologias de análise de MPs para fins de reprodutibilidade, integrando os protocolos desenvolvidos pelo GESAMP e NOAA com outros importantes trabalhos relacionados as técnicas de purificação para obtenção de resultados mais eficientes envolvendo a digestão das amostras e separação por densidade.

A interpretação dos espectros de partículas coletadas do meio ambiente é muito desafiadora devido à degradação, envelhecimento ou revestimento de partículas com biofilmes no entanto a técnica FTIR-ATR apresentou resultados eficientes na identificação de partículas, apresentando precisão, agilidade e facilidade no preparo das amostras.

São necessárias mais pesquisas na região em diferentes épocas do ano envolvendo estudos quantitativos que contribuam para o monitoramento da presença e distribuição de MPs, bem como o desenvolvimento de metodologias apropriadas para diferentes matrizes ambientais com o objetivo de alcançar um bom nível de padronização e validação das análises dos deputados.

Capítulo 3 - Ocorrência, características e identificação via FTIR-ATR e estereomicroscopia de microplásticos e mesoplásticos em sedimentos de areia de praia em São Francisco do Sul (Brasil)

Ocorrências de partículas envolvendo Microplásticos (MPs) e Mesoplásticos (MePs); envolvendo dois pontos com características heterogêneas quanto a urbanização e a exploração turística bem como granulometria dos sedimentos.

Amostragem, caracterização e identificação dos polímeros.



Fonte: Autores (2023)

APÊNDICE J - Esldes utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

Material e Métodos

Amostragens Outubro (2023) -
Localização: Praia Grande em São
Francisco do Sul - SC (Brasil)

Fonte: Google Earth com modificações
dos autores (2023).

Material e Métodos

Amostragem

Divisão dos sítios de amostragem em três áreas de marés. Maré alta, Inter-maré e Maré Baixa.

As três áreas de maré foram subdivididas em três onde foram coletadas duas amostras totalizando 36 amostras nos dois sítios de amostragem

Utensílios para realização da amostragem: quadro de madeira 50 cm x 50 cm, frasco de vidro tampa de metal e pá de metal.

Fonte: Autores (2023)

Material e Métodos

Secagem das amostras de areia

Separação por tamisação

Fracionamento

Separação por densidade

Identificação dos tipos de polímeros por FTIR-ATR

Avaliação morfológica por estereomicroscópio

Secagem do filtrado em estufa

Sistema de filtração à vácuo

Fonte: Autores (2023)

Material e Métodos

Análise de Dados

Teste de normalidade: Shapiro-wilks.

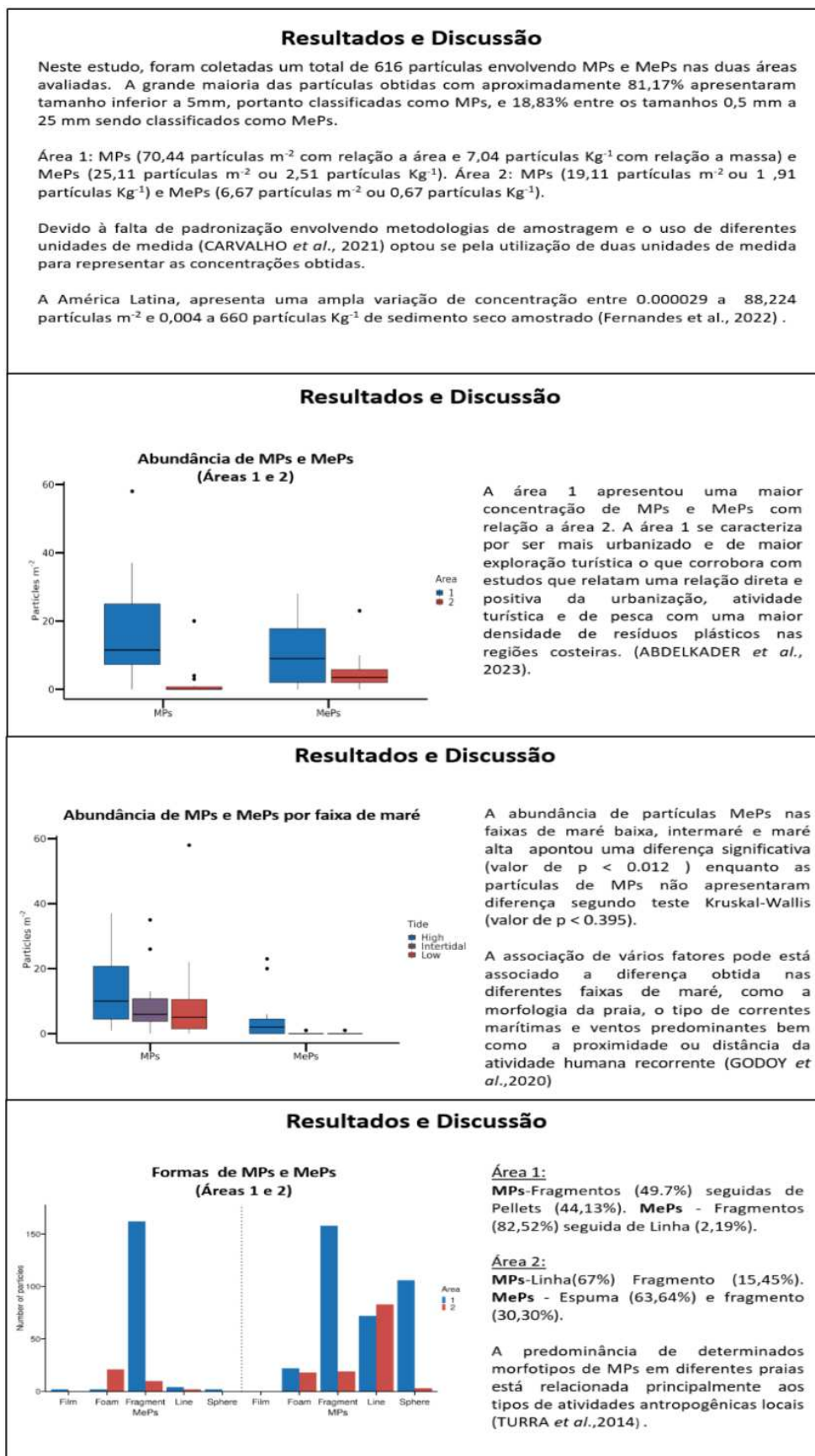
Wilcoxon-Mann-Whitney (U): diferenças quantitativas entre as duas áreas de amostragens.

Kruskal-Wallis (KWT): diferença quantitativas entre as diferentes faixas de marés

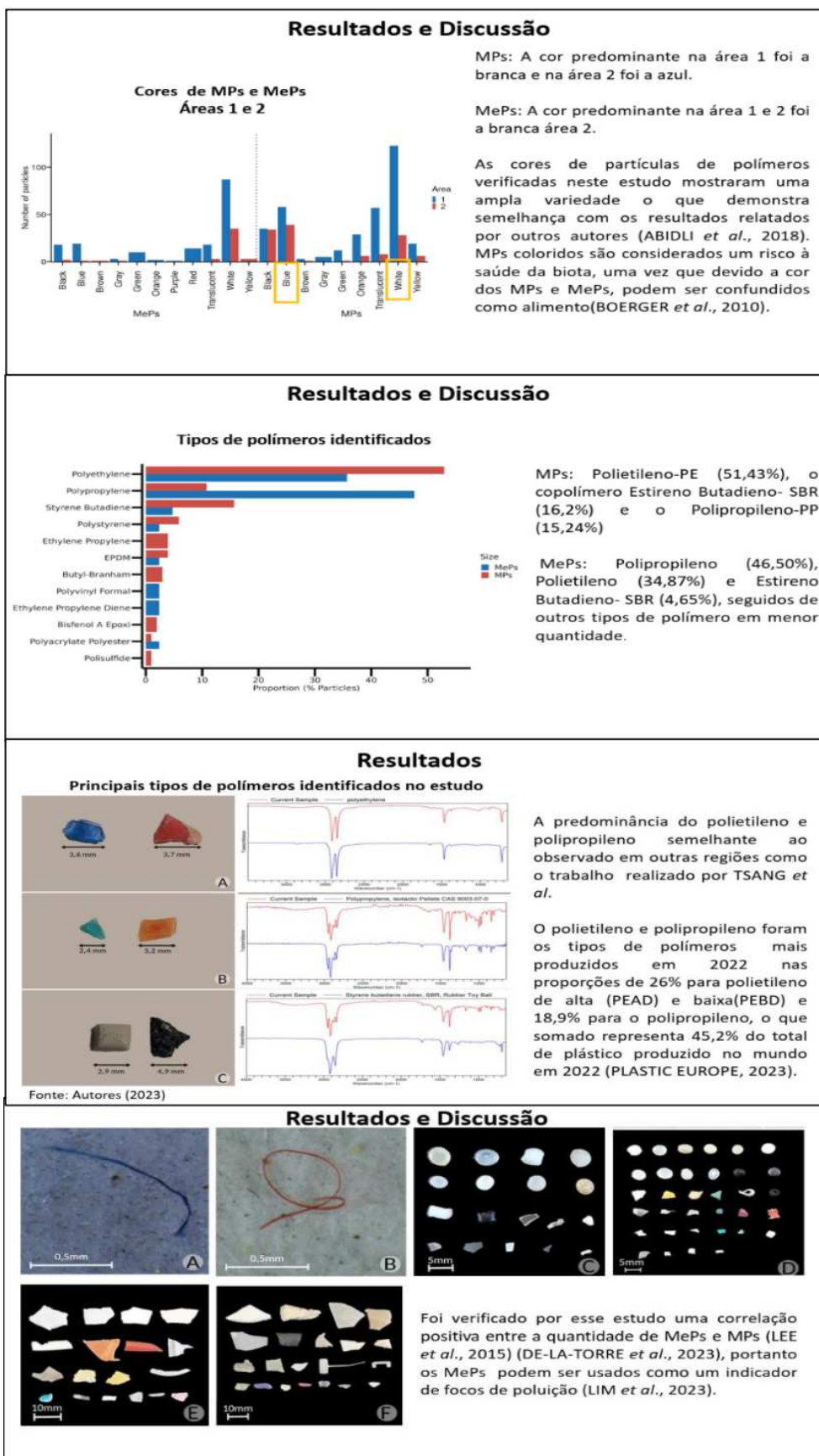
Para todos os testes a faixa de confiança foi de 95% com nível de significância de 5% (relacionado ao valor de $p < 0,05$).

As análises estatísticas foram realizadas no software JAMOVI versão 2.2.5.

APÊNDICE J - Esldides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).



APÊNDICE J - Esldes utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).



APÊNDICE J - Eslides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).


Resultados

Classificação dos tipos de areia Área 1 e 2

Sand Type	A1 (%)	A2 (%)
Very coarse sand	~10	~10
Coarse sand	~5	~85
Medium sand	~85	~15
Fine sand	~10	~5
Very fine sand	~0	~0

A granulometria dos grãos de areia dos sedimentos é um fator importante a ser considerado como influência na densidade dos MPs em sedimentos (KAZMIRUK *et al.*, 2018). Neste estudo foi verificado uma maior concentração de MPs e MePs na área 1, onde havia uma maior proporção de areia média comparado com a granulometria dos grãos da área 2 que apresentou uma maior proporção de areia grossa.

Produção Científica



Manuscript Template
<https://doi.org/10.1016/j.oceco.2018.05.001>
 Volume 10, Issue 1, 2018

OCCURRENCE, CHARACTERISTICS, AND IDENTIFICATION VIA ATR-FTIR AND STEREO-MICROSCOPY OF MICROPLASTICS AND MESOPLASTICS IN BEACH SAND SEDIMENTS IN SÃO FRANCISCO DO SUL (BRAZIL)

Rodrigo Sales Lopes Wapari¹, Amanda Sílvia Martins¹, Lílian de Souza Rosa¹, Eduardo Augusto Menezes Ribeiro¹, André Ribeiro de Paula¹, Erik Soares Gomes¹, Claudineia Marim Pastorek¹

1 Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

2 Instituto de Física - UFSC

3 Instituto de Física - UFSC

4 Instituto de Física - UFSC

5 Instituto de Física - UFSC

6 Instituto de Física - UFSC

7 Instituto de Física - UFSC

8 Instituto de Física - UFSC

9 Instituto de Física - UFSC

10 Instituto de Física - UFSC

11 Instituto de Física - UFSC

12 Instituto de Física - UFSC

13 Instituto de Física - UFSC

14 Instituto de Física - UFSC

15 Instituto de Física - UFSC

16 Instituto de Física - UFSC

17 Instituto de Física - UFSC

18 Instituto de Física - UFSC

19 Instituto de Física - UFSC

20 Instituto de Física - UFSC

21 Instituto de Física - UFSC

22 Instituto de Física - UFSC

23 Instituto de Física - UFSC

24 Instituto de Física - UFSC

25 Instituto de Física - UFSC

26 Instituto de Física - UFSC

27 Instituto de Física - UFSC

28 Instituto de Física - UFSC

29 Instituto de Física - UFSC

30 Instituto de Física - UFSC

31 Instituto de Física - UFSC

32 Instituto de Física - UFSC

33 Instituto de Física - UFSC

34 Instituto de Física - UFSC

35 Instituto de Física - UFSC

36 Instituto de Física - UFSC

37 Instituto de Física - UFSC

38 Instituto de Física - UFSC

39 Instituto de Física - UFSC

40 Instituto de Física - UFSC

41 Instituto de Física - UFSC

42 Instituto de Física - UFSC

43 Instituto de Física - UFSC

44 Instituto de Física - UFSC

45 Instituto de Física - UFSC

46 Instituto de Física - UFSC

47 Instituto de Física - UFSC

48 Instituto de Física - UFSC

49 Instituto de Física - UFSC

50 Instituto de Física - UFSC

51 Instituto de Física - UFSC

52 Instituto de Física - UFSC

53 Instituto de Física - UFSC

54 Instituto de Física - UFSC

55 Instituto de Física - UFSC

56 Instituto de Física - UFSC

57 Instituto de Física - UFSC

58 Instituto de Física - UFSC

59 Instituto de Física - UFSC

60 Instituto de Física - UFSC

61 Instituto de Física - UFSC

62 Instituto de Física - UFSC

63 Instituto de Física - UFSC

64 Instituto de Física - UFSC

65 Instituto de Física - UFSC

66 Instituto de Física - UFSC

67 Instituto de Física - UFSC

68 Instituto de Física - UFSC

69 Instituto de Física - UFSC

70 Instituto de Física - UFSC

71 Instituto de Física - UFSC

72 Instituto de Física - UFSC

73 Instituto de Física - UFSC

74 Instituto de Física - UFSC

75 Instituto de Física - UFSC

76 Instituto de Física - UFSC

77 Instituto de Física - UFSC

78 Instituto de Física - UFSC

79 Instituto de Física - UFSC

80 Instituto de Física - UFSC

81 Instituto de Física - UFSC

82 Instituto de Física - UFSC

83 Instituto de Física - UFSC

84 Instituto de Física - UFSC

85 Instituto de Física - UFSC

86 Instituto de Física - UFSC

87 Instituto de Física - UFSC

88 Instituto de Física - UFSC

89 Instituto de Física - UFSC

90 Instituto de Física - UFSC

91 Instituto de Física - UFSC

92 Instituto de Física - UFSC

93 Instituto de Física - UFSC

94 Instituto de Física - UFSC

95 Instituto de Física - UFSC

96 Instituto de Física - UFSC

97 Instituto de Física - UFSC

98 Instituto de Física - UFSC

99 Instituto de Física - UFSC

100 Instituto de Física - UFSC

Conclusões

Este estudo contribuiu com detalhamento das diferentes características dos pontos avaliados com relação a ocorrência de MPs e MePs em sedimentos de areia da região da Praia Grande ampliando a discussão dos possíveis fatores de entrada e permanência das partículas plásticas no ambiente costeiro de praia.

Os resultados obtidos mostraram níveis consideráveis de MPs na área de estudo mais urbanizada e com maior exploração turística ao mesmo tempo que levantou a discussão sobre outros fatores envolvidos na inserção das partículas de polímeros na região como a ação de ventos e marés, bem como os aspectos relacionados à granulometria dos sedimentos.

Os tipos de forma de fragmentos e pellets observados em maior quantidade apontam para uma influência do turismo e a presença dos portos na contaminação por microplásticos observada na área 1.

A predominância da composição dos polímeros do tipo polietileno, o polipropileno e poliestireno ratificaram resultados já obtidos em outros estudos e representou a ampla produção e utilização desse tipo de polímeros pela população mundial.

Referências

- ABDELKADER, N.; BEN ISMAIL, S.; ZAKHAMA-SRAIEB, R. Macro- meso- and microplastic debris in three sandy beaches of north-eastern Tunisian coasts. **Regional Studies in Marine Science**, v. 67, 20 dez. 2023.
- ABIDLI, S. ANTUNES J.C.; FERREIRA J. L.; LAHBIB Y.; SOBRAL P.; EL MENIF N. T. Microplastics in sediments from the littoral zone of the north Tunisian coast (Mediterranean Sea). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 205, p. 1–9, 31 maio 2018.
- BOERGER, C. M.; LATTIN, G.L.; MOORE, S.L.; MOORE, C.J. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 12, p. 2275–2278, dez. 2010.
- CARPENTER, E. J.; SMITH, K. L. Plastics on the Sargasso sea surface. **Science**, v. 175, n. 4027, p. 1240–1241, 1972.
- CARVALHO, J. P. S.; SILVA, T. S.; COSTA, M. F. Distribution, characteristics and short-term variability of microplastics in beach sediment of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, 1 maio, 2021.
- CASTRO, R. O. DA SILVA M. L., MARQUES R.C., DE ARAUJO 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**, v. 160, 1 Nov. 2020.
- COMNEA-STANCU, I. R.; WIELAND K.; RAMER, SCHWAIGHOFER G.; LEND, B. On the Identification of Rayon/Viscose as a Major Fraction of Microplastics in the Marine Environment: Discrimination between Natural and Man Made Cellulosic Fibers Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 71, n. 5, p. 939–950, 1 maio 2017.
- DA COSTA, J. P.; SANTOS, P.S.M.; DUARTE, A.C.; SANTOS, T.R. (Nano)plastics in the environment - Sources, fates and effects. **Science of the Total Environment**. Elsevier B.V., 1 out. 2016.

APÊNDICE J - Eslaides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

<h3>Referências</h3> <ul style="list-style-type: none"> • DE-LA-TORRE, G. E.; PIZARRO-ORTEGA, I.C.; DIOSES-SALINAS, D.C.; RIBEIRO, V.V.; REYES, D.F.U.G.; BEN-HADDAD, M.; RAKIB, Md.R.J.; DOBARADARAN, S. Micro- and mesoplastic pollution along the coast of Peru. Environmental Science and Pollution Research, v. 30, n. 27, p. 71396–71408, 1 jun. 2023. • FERNANDES, A. N. BERTOLDI, C.; LARA, L.Z.; STIVAL, J.; ALVES, N.M.; CABRERA, P.M.; GRASSE, M.T. Microplastics in Latin America Ecosystems: A Critical Review of the Current Stage and Research Needs. Journal of the Brazilian Chemical Society Sociedade Brasileira de Química (Vol. 33, Issue 4, pp. 303–326). Sociedade Brasileira de Química 2022. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20220018. • FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. Marine Pollution Bulletin, v. 138, p. 145–147, 1 jan. 2019. • GESAMP. Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 99, 130 p.2019. • GODOY, V.; PRATA J.C.; BLAZQUEZ, G.; ALMENDROS, A. I.; DUARTE, A.C.; ROCHA-SANTOS, T.; CALERO, M.; MARTIN-LARA, M.A. Effects of distance to the sea and geomorphological characteristics on the quantity and distribution of microplastics in beach sediments of Granada (Spain). Science of the Total Environment, v. 746, 1 dez. 2020.
<h3>Referências</h3> <ul style="list-style-type: none"> • PLASTICS EUROPE. Plastics-the Facts 2023. An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2023. Disponível em: https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023 • SHIM, W. J.; HONG, S. H.; EO, S. E. Identification methods in microplastic analysis: A review. Analytical Methods Royal Society of Chemistry, 7 mar. 2017. • TSANG, Y. Y.; SONG, P.; ZHANG, H.; DUAN, X.; WEI, Y.; WANG, H.; WANG, S.; Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. Marine Pollution Bulletin, v. 115, n. 1–2, p. 20–28, 15 fev. 2017.S • Thompson, R.C.; <i>Science</i> 2004, 304,838. • TURRA, A.; MANZANO, A. B.; DIAS, R.J.S.; MAHIQUES, M.M.; BARBOSA, L.; BALTHAZAR-SILVA, D.; MOREIRA, F. T. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: Shifting paradigms. Scientific Reports, v. 4, 27 mar. 2014. • WU, P., Huang, J., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., He, F., Chen, H., Quan, G., Yan, J., Li, T., & Gao, B. (2019). Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. In <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i> (Vol. 184).AcademicPress.https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109612
<h3>Referências</h3> <ul style="list-style-type: none"> • KAZMIRUK, T. N.; KAZMIRUK, V. D.; BENDELL, L. I. Abundance and distribution of microplastics within surface sediments of a key shellfish growing region of Canada. PLoS ONE, v. 13, n. 5, 1 maio 2018. • LEE, J.; LEE, JS; JANG, YC; SHIM, W.J.; CANÇÃO, Y.K.; HONG, S. Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v. 69, n. 3, p. 288–298, 19 ago. 2015. • LIM, E. V.; NILAMANI, N.; RAZALLI, N.M.; ZHANG, S.; LI, H.; HARON, M. L.; ABDULLAN, A. L.; YASIN, Z.; ZANURI, N. M.; HWAI, A. T. S. Abundance and Distribution of Macro- and Mesoplastic Debris on Selected Beaches in the Northern Strait of Malacca. Journal of Marine Science and Engineering, v. 11, n. 5, 1 maio. 2023. • MONTAGNER, C. C.; DIAS, M.A.; PAIVA, E.M.; VIDAL,C.. Microplastics: environmental occurrence and analytical challenges. Quim. Nova, Vol. 44, No. 10, 1328-1352, 2021. • OLIVATTO, G. P. MARTINS M. C. T., MONTAGNER C. C., HENRY T. B., CARREIRA R. S. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. Marine Pollution Bulletin, v. 139, p. 157–162, 1 fev. 2019. • ORONA-NÁVAR, C.; GARCIA-MORALES; R.; LOGE, F. J., MAHLKNECHT, J., AGUILAR-HERNÁNDES, I. ORNELAS-SOTO, N. (2022). Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives. In Journal of Environmental Management (Vol. 309). Academic Press. • PLASCTICS EUROPE. Plastics-the Facts 2021 An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2021.
<h3>Considerações Finais</h3> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Este estudo contribuiu com informações importantes sobre a ocorrência de MPs e MePs em uma região ainda não avaliada com relação a esse tipo de impacto antropogênico, além de contribuir com detalhamento das diferentes características dos pontos avaliados atribuindo possíveis fatores de entrada e permanência das partículas plásticas no ambiente costeiro de praia. ▪ Ressaltamos a partir das limitações envolvendo a comparação entre os trabalhos envolvendo a temática, a importância da menção dos fatores relevantes que podem ter influência direta ou indireta na poluição envolvendo os resíduos plásticos bem como a padronização de metodologias de amostragem, análises e unidades de quantificação ▪ Considerando que os estudos envolvendo a avaliação da variação temporal, bem como a influência de fatores como ondas e marés nos processos de deposição e retirada em curto-prazo são limitados, sugerimos a realização de estudos longitudinais na região estudada que contribuam com informações sobre a persistência, degradação e dinâmica de transporte de MPs na areia das praia

APÊNDICE J - Eslaides utilizados como material didático durante apresentação de defesa do trabalho de mestrado (Continuação).

