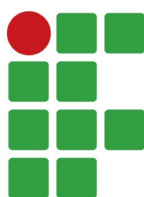


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇO
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE**

LAURA TAGLIAPIETRA TELES

**COMPOSIÇÃO DO MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO DO RIO
CAMBORIÚ, SANTA CATARINA**



**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇO
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE**

LAURA TAGLIAPIETRA TELES

**COMPOSIÇÃO DO MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO DO RIO
CAMBORIÚ, SANTA CATARINA**

Dissertação submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre Profissional em Clima e Ambiente.

Orientador:
Prof. Thiago Pereira Alves, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

598
T269c

Teles, Laura Tagliapietra
Composição dos microplásticos nas águas do estuário do Rio Camboriú,
Santa Catarina [DIS] / Laura Tagliapietra Teles; orientação de Thiago Pereira
Alves – Florianópolis, 2025.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Contaminantes emergentes. 2. Poluição aquática. 3. Rio Camboriú. 4.
Densidade demográfica. 5. Recursos hídricos. I. Alves, Thiago Pereira. II.
Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Folha de Aprovação

Aluno (a): **LAURA TAGLIAPIETRA TELES**

Título:	COMPOSIÇÃO DE MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO DO RIO CAMBORIÚ, SANTA CATARINA
----------------	---

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente

Dr. Thiago Pereira Alves

Documento assinado digitalmente
gov.br **THIAGO PEREIRA ALVES**
Data: 14/11/2025 13:02:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador(a) / Presidente / IFSC / local – SC

Participação: ☒ Presencial ☐ Videoconferência

☐ Aprovado ☐ Reprovado

Dr. Mathias Alberto Schramm

Documento assinado digitalmente
gov.br **MATHIAS ALBERTO SCHRAMM**
Data: 29/10/2025 16:53:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Itajaí - SC

Participação: ☒ Presencial ☐ Videoconferência

☒ Aprovado ☐ Reprovado

Dr. Juliano Gomes da Cunha

Documento assinado digitalmente
gov.br **JULIANO DA CUNHA GOMES**
Data: 29/10/2025 17:44:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Externo / IFSC / Itajaí - SC

Participação: ☐ Presencial ☒ Videoconferência

☒ Aprovado ☐ Reprovado

Dr(a). Janaina Patricia Freire Bannwart

Documento assinado digitalmente
gov.br **JANAINA PATRICIA FREIRE BANNWART**
Data: 07/11/2025 18:16:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Externo / IFSC / Itajaí - SC

Participação: ☒ Presencial ☐ Videoconferência

☒ Aprovado ☐ Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(X) unanimidade

Itajaí, 29 de outubro de 2025



Dedico este trabalho a Maria Fernanda, minha companheira e maior inspiração. Pelo amor, pela paciência e por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava. Por estar ao meu lado compartilhando as conquistas, os desafios e os momentos de silêncio que também fizeram parte desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e serenidade concedidas ao longo dessa jornada. À minha família, pelo suporte em muitos momentos e por me ensinarem o valor da dedicação e da persistência.

Ao meu orientador, Thiago Alves, pela orientação cuidadosa, pelas contribuições científicas e pela confiança no meu trabalho. Sua escuta atenta e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em em Clima e Ambiente, pela oportunidade de realizar esta pesquisa e pelo suporte acadêmico e institucional.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta dissertação — o meu mais sincero agradecimento.

*“O rio atinge seus objetivos
porque aprendeu a contornar os obstáculos” — Lao Tsé*

RESUMO

A poluição por microplásticos (MPs) representa uma das principais preocupações ambientais do século XXI, com potenciais impactos nos ecossistemas aquáticos e na saúde humana. Este estudo avaliou a contaminação por MPs na foz do Rio Camboriú (SC), considerando a influência da precipitação e da flutuação na população residente no município de Balneário Camboriú. As amostragens, realizadas ao longo de seis meses em três pontos do estuário, revelaram a predominância de fibras e fragmentos, enquanto pellets e filmes foram pouco expressivos. Partículas pretas e azuis destacaram-se pela frequência, indicando origens urbanas e marinhas moduladas pela salinidade. Observou-se correlação inversa entre precipitação e MPs transparentes e azuis, e positiva entre salinidade e MPs azuis, refletindo o balanço entre descarga fluvial e intrusão de água marinha. Apesar da intensificação turística nos feriados de setembro e novembro, não houve aumento significativo na concentração total de MPs. Os resultados evidenciam a necessidade de monitoramento contínuo em estuários sujeitos a pressões urbanas e climáticas, visando compreender a dinâmica e os mecanismos de dispersão dos microplásticos em ambientes costeiros.

Palavras-chave: Contaminantes Emergentes; Poluição Aquática; Rio Camboriú; Densidade Demográfica; Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Microplastic (MP) pollution is a main environmental treat of the 21st century, with impacts on aquatic ecosystems and human health. This study evaluated MP contamination at the Camboriú River Estuary (SC), associated by precipitation and fluctuations in the population living in the municipality of Balneário Camboriú. With sampling over six months at three points in the estuary, was observed the predominance of fibers and fragments, while pellets and films were insignificant. Black and blue particles stood out for their frequency, indicating urban and marine origins modulated by salinity. An inverse correlation was observed between precipitation and transparent and blue MPs, and a positive correlation between salinity and blue MPs, reflecting the balance between river discharge and seawater intrusion. Despite the increased tourism fluxes during the September and November holidays, there was no significant increase in the total concentration of MPs. The results highlight the need for continuous monitoring in estuaries subject to urban and climatic pressures, aiming to understand the dynamics and dispersion mechanisms of microplastics in coastal environments.

Keywords: Emerging Contaminants; Water Pollution; Camboriú River; Population Density; Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo na foz do Rio Camboriú, Balneário Camboriú (SC), indicando os pontos de coleta e o curso do rio.	24
Figura 2 – Média diária da temperatura do ar (linha vermelha) com desvio padrão (faixa vermelha) e precipitação diária acumulada (área azul), entre o período de julho a dezembro de 2024, na região da foz do Rio Camboriú (SC). As linhas tracejadas verticais indicam as datas da realização das campanhas amostrais.	29
Figura 3 – Quantidade estimada de pessoas (turistas e visitantes) em Balneário Camboriú (SC) categorizados por mês no ano de 2024.	30
Figura 4 – Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à forma (pellets, filmes, fibras e fragmentos) três campanhas amostrais.	31
Figura 5 – Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à cor (preto, azul, vermelho, verde e transparente) nas três campanhas amostrais.	34
Figura 6 – Valores de média com desvio padrão da quantidade por litro de Pellets, Filme, Fibra e Fragmento entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta.	36
Figura 7 – Valores de média com desvio padrão da quantidade por litro de microplásticos das cores Azul, Vermelho, Verde, Preto e Transparente entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta.	37
Figura 8 – Matriz de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre a quantidade total de microplásticos, suas diferentes formas e cores, e variáveis ambientais (salinidade, chuva e fluxo de turistas). Os valores em azul indicam correlações positivas e os valores em vermelho indicam correlações negativas, sendo a intensidade da cor proporcional à força da correlação.	38
Figura 9 – Rede de correlação de Spearman entre variáveis ambientais e microplásticos. As linhas azuis representam correlações positivas e as linhas vermelhas, correlações negativas. O tamanho dos nós é proporcional ao número de conexões de cada variável.	40
Figura 10 – Imagens dos microplásticos observados nas amostras. Aumento de 40x.	56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos total observado nas amostras, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo. . . 30
- Tabela 2 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos observado nas amostras categorizado por Forma, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo. 33
- Tabela 3 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos observado nas amostras categorizado por Cor, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo. 35
- Tabela 4 – Síntese dos resultados da análise de microplásticos (MPs). 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATAS	Anticiclone Tropical do Atlântico Sul
CE	Contaminantes Emergentes
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAQUA	Laboratório de Resíduos e Contaminantes em Recursos Pesqueiros
MP	Microplástico
PA	Polímero Termoplástico
PCAM	Programa de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Polietileno Tereftalato
PMMA	Polimetilmetacrilato
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPCP	Produtos de cuidado pessoal
PVC	Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Poluição e contaminação dos ambientes aquáticos	16
2.2	Contaminantes Emergentes	17
2.3	Política de Resíduos Sólidos no Brasil	18
2.4	O Rio Camboriú	19
2.5	Cidade de Balneário Camboriú	20
2.6	Climatologia do Litoral Norte de Santa Catarina	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	Área de Estudo	24
3.2	Delineamento Amostral	25
3.2.1	Coleta de Amostras	25
3.2.2	Preparação da amostra	26
3.2.3	Identificação e Quantificação dos Microplásticos	26
3.3	Informações Meteorológicas e Populacional	26
3.4	Tratamento Estatístico	26
4	RESULTADOS	28
5	DISCUSSÃO	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	47
7	PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)	48
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICES	55
	APÊNDICE A – REGISTROS DE MICRO-FOTOGRAFICO DOS MI- CROPLÁSTICOS	56
	ANEXOS	57
	ANEXO A – PLANO DE AULA	58
	ANEXO B – SUMÁRIO EXECUTIVO	67
	ANEXO C – POSTER	81

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos incluem todas as formas de água, tanto superficiais quanto subterrâneas, disponíveis para qualquer tipo de uso em uma determinada região ou bacia hidrográfica, sendo esta definida como uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Santos et al., 2010).

De acordo com Carvalho (2020) no contexto do planejamento territorial, as bacias hidrográficas são consideradas a unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas, tanto estruturais quanto não estruturais, com o objetivo de integrar a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental.

Tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais, as bacias hidrográficas sofrem grandes alterações, especialmente devido à excessiva impermeabilização do solo, resultando em mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápido e aumento na frequência de enchentes (Guo; Noori; Abolfathi, 2024).

Esses processos acabam por prejudicar tanto a quantidade quanto a qualidade dos recursos hídricos, afetando os ecossistemas e as condições de vida da população. Devido ao aumento da produção global, milhões de toneladas de resíduos sólidos são depositadas nos oceanos ao redor do mundo, aportados majoritariamente pela drenagem continental. Dentre os detritos encontrados nos mares, a fração de lixo marinho de composição plástica atualmente representa a parcela mais significativa e, provavelmente, a mais prejudicial (Wu et al., 2024). No Brasil, o descarte de plásticos atingiu quase 14 Mt em 2019, com apenas 4,5% sendo efetivamente reciclado (Sodré et al., 2023). Os resíduos plásticos tendem a se decompõem em partículas cada vez menores e quando atingem uma dimensão inferior a 5 mm passam a ser denominados de microplásticos (Mancini et al., 2023).

Os microplásticos (MPs) podem ser categorizados em primários e secundários, em função da origem da escala de tamanho que originalmente compõem a partícula. Os primários são fabricados já em tamanho reduzido para uso em produtos que possuem características de abrasividade como cosméticos, itens de higiene e limpeza, entre outros. Por outro lado, os MPs secundários resultam da fragmentação e degradação de resíduos plásticos de maior tamanho pelos processos intempéricos do ambiente, como a ação das ondas, exposição à radiação solar, variações térmicas, atividade microbiana

e etc (Drabinski et al., 2023). Os resíduos plásticos, em especial os microplásticos, são considerados contaminantes ambientais emergentes devido à sua persistência nos ecossistemas e na biota associada, representando riscos para os ambientes aquáticos e potenciais efeitos adversos sobre os organismos que os habitam (Mai et al., 2018).

Conforme Sodré et al. (2023) a contaminação por MPs em ecossistemas de água doce vem sendo amplamente estudada na Ásia, América do Norte e Europa, enquanto em países latino americanos e africanos ainda estão em processo de incremento. Essa discrepância na produção de informações demonstra uma importante lacuna para estudos, pois sabe-se que a poluição por MPs está associada a fatores socioeconômicos, densidade populacional e gestão de resíduos sólidos.

Embora os microplásticos já tenham sido amplamente investigados em ambientes marinhos, os estudos voltados à sua ocorrência e dinâmica em sistemas de água doce ainda são escassos, evidenciando uma lacuna no entendimento desses ecossistemas como fontes e rotas de transporte para os oceanos (Drabinski et al., 2023). Compreender o transporte e o comportamento dos MPs em rios e lagos possui grande relevância, pois esses ecossistemas atuam como vias primárias para a transferência de 70 a 80% da poluição global de MPs de fontes terrestres (Guo; Noori; Abolfathi, 2024).

Ainda de acordo com Guo, Noori e Abolfathi (2024) o transporte e a retenção de microplásticos (MPs) em ambientes de água doce são determinados por condições hidráulicas e hidrológicas complexas, influenciadas por fatores como rugosidade do leito, uso do solo, conectividade da rede hidrográfica e interações com sólidos suspensos. A intensidade, a distribuição geográfica e o destino final dos microplásticos apresentam variações significativas entre as regiões, em razão de fatores como densidade populacional, nível de desenvolvimento econômico, avanços tecnológicos no tratamento de resíduos, composição dos microplásticos e especificidades dos corpos d'água (Zhang et al., 2024).

A dinâmica dos microplásticos em Bacias Hidrográficas é influenciada por fenômenos meteorológicos, especialmente devido à precipitação e eventos de inundação. Chuvas intensas e enchentes aumentam o escoamento e o transporte de microplásticos para rios e estuários, além de ressuspender partículas nos sedimentos, elevando seu risco de dispersão para ambientes costeiros e marinhos (Hurley; Woodward; Rothwell, 2018). Já durante períodos de estiagem, a redução do fluxo hídrico contribui para a retenção e acúmulo de MPs em sedimentos e na coluna d'água, favorecendo a formação de áreas críticas de contaminação em lagoas, reservatórios e trechos fluviais de baixa

circulação. A radiação solar, por sua vez, atua como um agente de degradação física e fotoquímica dos plásticos, acelerando sua fragmentação em MPs e nanoplásticos, especialmente em áreas superficiais e expostas (Andrady, 2017).

O Estuário do Rio Camboriú, embora pequeno em termos de dimensão, possui grande importância por ser a principal via de entrada de material continental para a Enseada de Balneário Camboriú, um dos principais balneários turísticos do sul do Brasil, influenciando na qualidade da água da enseada (Siegle et al., 2009). Neste sentido, avaliar a contribuição do regime pluviométrico na presença e composição dos resíduos de MPs nas águas do estuário, assim como a influência da flutuação populacional permitirá a adoção de ações mitigadoras e gerenciais com o intuito de minimizar os impactos negativos desta classe de contaminantes no estuário.

1.1 Justificativa

A contaminação por microplásticos emergiu, nas últimas décadas, como um problema ambiental global de grande preocupação, com implicações significativas para os ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. No contexto específico da Foz do Rio Camboriú, em Santa Catarina, essa questão se torna ainda mais relevante devido à sua localização em uma região densamente povoada, economicamente ativa e turística, que representa uma importante fonte de receita para a economia local e regional.

Neste sentido, a contaminação por microplásticos pode representar uma ameaça direta para o setor do turismo e lazer, afetando a qualidade das praias e dos recursos naturais, e consequentemente, a economia da região. Por outro lado, reconhecer e buscar soluções para lidar com essa problemática pode representar uma oportunidade para gestores públicos, pois permite promover ações de controle e mitigação dos impactos negativos causados pela contaminação ambiental por microplásticos, oportunizando ao Município enfrentar o problema e melhorar a imagem da administração municipal perante a opinião pública em relação às políticas ambientais.

Avaliar a influência ambiental, meteorológica e antrópica na contaminação por microplásticos na Foz do Rio Camboriú, possibilitará uma compreensão mais abrangente dos fatores que contribuem para esse problema, sendo importante para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental e medidas de mitigação eficazes, visando proteger não apenas o ambiente marinho e os recursos hídricos locais, mas também a economia e o bem-estar da comunidade local.

Com base nestas premissas duas hipóteses norteiam este estudo, uma vez que tanto os fatores meteorológicos como o antrópico possuem uma íntima relação com a quantidade deste tipo de contaminantes no ambiente. Assim, considerando que pluviosidade condiciona a qualidade da água de uma bacia hidrográfica, então variações temporais na pluviosidade devem refletir na presença de resíduos sólidos de pequeno tamanho (microplásticos) na água (*hipótese 1*). E considerando que o aumento da atividade antrópica contribui para uma maior pressão sobre os ecossistemas aquáticos costeiros, então flutuações na população residente devem refletir na presença de resíduos sólidos de pequeno tamanho (microplásticos) na água (*hipótese 2*).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a quantidade de microplásticos na água superficial do estuário do Rio Camboriú sob diferentes condições de precipitação e de população residente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a composição de cores e formas predominantes e sua representatividade no total de resíduos microplásticos observados no estuário do rio Camboriú.;
- b) Investigar a relação entre eventos de precipitação e a concentração de microplásticos no estuário do rio Camboriú;
- c) Avaliar a contribuição do fluxo turístico na variação da quantidade de microplásticos no estuário do rio Camboriú.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Poluição e contaminação dos ambientes aquáticos

A poluição e a contaminação dos ambientes aquáticos referem-se à introdução de substâncias ou materiais nocivos nos corpos d'água, como rios, lagos, oceanos e aquíferos, resultando na degradação da qualidade da água (Eriksen et al., 2014). Os ecossistemas aquáticos costeiros, tanto marinhos quanto de água doce, são ambientes com complexos processos abióticos, como elevada biodiversidade, riqueza de espécies e produtividade (Rahman et al., 2024).

Os conceitos de poluição e contaminação são frequentemente utilizados de forma intercambiável, sendo importante distinguir que a poluição abrange qualquer forma de degradação ambiental, enquanto a contaminação geralmente se refere à presença de substâncias específicas em concentrações prejudiciais (Gall; Thompson, 2015). Os poluentes podem ser de origem natural, como sedimentos, nutrientes e substâncias biogênicas, ou antropogênica, incluindo resíduos industriais, esgoto doméstico, pesticidas, fertilizantes agrícolas, produtos químicos, resíduos plásticos e microplásticos (Machado et al., 2021).

Nos ecossistemas aquáticos os poluentes são classificados em químicos, biológicos e físicos, cada um com impactos específicos sobre os ecossistemas, a vida aquática e a saúde humana. Os impactos ambientais, decorrentes da poluição e contaminação aquática incluem a morte de organismos aquáticos, redução da biodiversidade e degradação dos serviços ecossistêmicos, enquanto os impactos na saúde humana incluem doenças transmitidas pela água e problemas decorrentes do consumo de água contaminada (Boucher; Friot, 2017).

Os registros de microplásticos em ambientes de água doce, como rios, lagos, reservatórios e aquíferos, vêm sendo constantemente atualizados, evidenciando a preocupação com sua presença na água potável fornecida para a população através do sistema de abastecimento. A ingestão de partículas de MP por meio da água representa uma das principais vias de exposição humana, levantando questionamentos sobre seus possíveis impactos na saúde da população (Yang et al., 2024).

De acordo com Wu et al. (2024) a proximidade entre ambientes de água doce e as fontes emissoras de microplásticos influencia diretamente suas concentrações nesses ecossistemas. Corpos hídricos localizados próximos a essas fontes costumam reter maiores quantidades de microplásticos, apresentando, assim, concentrações

elevadas. Uma vez introduzidos nas águas das lagoas costeiras, os microplásticos (MPs) podem permanecer na coluna d'água ou sedimentar, dependendo da densidade relativa entre as partículas e o meio aquoso (Xi et al., 2022).

Conforme Rahman et al. (2024), o comportamento dos microplásticos em ecossistemas de água doce é influenciado por suas propriedades físico-químicas e por fatores ambientais, cuja interação provoca modificações mecânicas, fotoquímicas e biológicas nas partículas. Devido ao seu reduzido tamanho, os microplásticos na água são classificados como partículas coloidais, frequentemente com diâmetros de poucos micrômetros e com cargas superficiais notáveis. Ao contrário dos plásticos maiores, que são neutros em carga, os microplásticos, ao se fragmentarem, apresentam uma maior relação entre área de superfície e volume. Em escalas micro e nano, essas partículas são suscetíveis a flutuações térmicas e ao movimento browniano (Rahman et al, 2023), e muitas vezes possuem um comportamento similar ao de organismo do plâncton (Garcés-Ordóñez et al., 2022).

2.2 Contaminantes Emergentes

Contaminantes emergentes são substâncias químicas e microrganismos que não são comumente monitorados no ambiente, com elevado grau de persistência e que têm potencial para causar efeitos adversos na saúde humana e nos ecossistemas. Esses contaminantes incluem majoritariamente produtos farmacêuticos, produtos de cuidados pessoais (PPCPs), hormônios, produtos químicos industriais, pesticidas e microplásticos (Santos et al., 2010). A gestão de contaminantes emergentes é um desafio para a saúde pública e para as ações de sustentabilidade ambiental (Richardson; Ternes, 2014).

De acordo com Worm et al. (2017) muitos contaminantes emergentes possuem capacidade de bioacumulação e de biomagnificação no sistema trófico. Isso significa que eles podem resistir à degradação natural, permanecendo ativos e potencialmente tóxicos por longos períodos. Os plásticos atuam como vetores de poluentes orgânicos persistentes (POPs) e na forma de microplásticos (Eriksen et al., 2014), afetam os mais diversos organismos, desde os produtores primários até o topo da cadeia alimentar, podendo ser inalados, absorvidos através da pele e ingeridos (Machado et al., 2021).

A ingestão de microplásticos por organismos pode provocar bloqueios no sistema digestivo, acúmulo de compostos químicos nocivos, elevação nos índices de doenças, diminuição da taxa reprodutiva e mortalidade (Garcés-Ordóñez et al., 2022).

Os microplásticos (MPs), que contêm aditivos como plastificantes, corantes e retardadores de chama, representam riscos ambientais por sua capacidade de absorver compostos orgânicos tóxicos e metais pesados. Devido ao seu pequeno tamanho, grande área superficial e baixa degradabilidade, apresentam alta reatividade e potencial de contaminação nos ecossistemas (Wu et al., 2024).

Há indícios de que microplásticos possam potencializar efeitos sinérgicos com outras toxinas ambientais com exemplos documentados, como o aumento da toxicidade do cromo em organismos aquáticos na presença de microplásticos, o que sugere uma possível interação entre essas substâncias e o agravamento dos efeitos tóxicos (Worm et al., 2017).

2.3 Política de Resíduos Sólidos no Brasil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para a gestão integrada e adequada dos resíduos sólidos. Esta política traz princípios norteadores para a gestão de resíduos sólidos, incluindo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a coleta seletiva, com o objetivo de reduzir a geração de resíduos, aumentar a reciclagem e promover a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Embora a PNRS forneça uma estrutura robusta para a gestão de resíduos, sua implementação enfrenta desafios significativos com a falta de infraestrutura, financiamento insuficiente e a necessidade de maior conscientização pública (Gutberlet; Uddin, 2017).

Os microplásticos (MPs), encontrados no ambiente marinho em diversas formas, como esferas, filmes, fragmentos ou fibras, são compostos por diferentes tipos de polímeros (Drabinski et al., 2023). Alguns desses polímeros, devido à sua densidade (maior que da água), tendem a afundar depositando-se no fundo do mar (sedimentação). Entre os polímeros comumente encontrados estão a poliamida (PA), o poliéster (PET), o policloreto de vinila (PVC) e o acrílico (PMMA), entre outros (Machado et al., 2021).

A bioincrustação ou crescimento microbiano, causada por fatores ambientais como luz, nutrientes e características específicas dos polímeros, modifica as propriedades físico-químicas dos MPs, favorecendo sua agregação e deposição. Além disso, a presença de íons e matéria orgânica natural intensifica a adesão dos MPs a partículas

em suspensão e sedimentos, promovendo sua sedimentação (Guo; Noori; Abolfathi, 2024).

De acordo com Rahman et al. (2024) grupos funcionais oxigenados nos microplásticos, como aldeídos, cetonas e ésteres, facilitam a ligação com metais, sendo a adsorção influenciada pelas condições da água. Esse processo pode ser intensificado pela presença de minerais como argila e silte, pela redução do tamanho das partículas e pela erosão da superfície dos microplásticos.

O Brasil enfrenta desafios contínuos no cumprimento das metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e apesar dos avanços normativos, a implementação prática da PNRS é dificultada por entraves políticos, institucionais e econômicos. Diversos Projetos de Lei (PLs) estão em tramitação no Congresso Nacional com o objetivo de reduzir o uso de plásticos e incentivar alternativas sustentáveis, como o PL nº 263, de 2018, que propõe a proibição de micropartículas plásticas em cosméticos e o banimento de sacolas plásticas e utensílios descartáveis não biodegradáveis, e o PL nº 145, de 2020, que propõe a proibição nacional do uso de sacolas plásticas convencionais (Maia Neto, 2021).

Contudo, a aprovação dessas propostas encontra obstáculos, em especial devido à atuação de grupos de interesse ligados à indústria do plástico e à fragmentação legislativa provocada pela multiplicidade de proposições sobre o mesmo tema. A unificação desses projetos sob uma relatoria comum poderia resultar em um texto mais robusto e abrangente, incorporando medidas de restrição ao uso de plásticos e mecanismos de controle e fiscalização (Maia Neto, 2021). Além disso, há espaço para o aprimoramento da PNRS por meio da adoção de incentivos tributários voltados à cadeia da reciclagem, incentivo à economia circular e ao desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis.

2.4 O Rio Camboriú

A bacia hidrográfica do Rio Camboriú, situada no litoral norte de no litoral norte de Santa Catarina abrange uma área de 199,8 km^2 . A captação de água para abastecimento público ocorre acima da região urbanizada, em uma área de drenagem de 137 km^2 . A área urbana da bacia concentra-se no litoral, com empreendimentos de alta densidade à beira-mar, seguidos por uma zona de uso misto e expansão residencial sobre a planície aluvial, dominada por pastagens e cultivo de arroz. As encostas são cobertas por vegetação nativa, pastagens e crescentes plantações de culturas de

culturas florestais (Kroeger et al., 2019).

O Rio Camboriú é um importante recurso hídrico para a região, desempenhando um papel importante no abastecimento de água, na agricultura e no turismo. Possui uma extensão de aproximadamente 40 km, desaguando no extremo sul da praia de Balneário Camboriú, com uma largura aproximada de 120 metros (Franklin-Silva; Schettini, 2010).

O Rio Camboriú apresenta um regime hidrológico pluvial, com variações sazonais de fluxo de água devido à influência das chuvas. Durante os meses chuvosos, há um aumento significativo no volume do rio, o que pode levar a eventos de enchentes, especialmente nas áreas urbanas (Siegle et al., 2009). De acordo com (da Silva; Schwingel, 2021) o Rio Camboriú enfrenta sérios problemas de poluição, resultantes principalmente do crescimento urbano desordenado, da falta de saneamento básico adequado e do descarte irregular de resíduos de diversas fontes e origens.

O lançamento excessivo de efluentes domésticos no estuário impacta a qualidade de vida e o turismo, e os recursos naturais que dependem deste ecossistema. Esse sistema também fornece nutrientes à enseada de Balneário Camboriú, com elevados níveis de amônia, possivelmente originados de emissões clandestinas de efluentes domésticos, agrícolas ou da estação de tratamento. Além disso, intervenções humanas, como a redução do aporte de água doce e o aterro de manguezais, contribuíram para a diminuição da profundidade do Rio Camboriú promovendo alterações no fluxo e no tempo de residência da água dentro do estuário promovendo alterações no fluxo e no tempo de residência da água dentro do estuário (Franklin-Silva; Schettini, 2010).

2.5 Cidade de Balneário Camboriú

O município de Balneário Camboriú está localizado no litoral Centro-Norte de Santa Catarina, na latitude 26°59'42" Sul e longitude 48°37'46" Oeste, fazendo fronteira com três municípios (Itajaí, Itapema e Camboriú) e com o Oceano Atlântico a leste (Hoppe et al., 2022). É caracterizado como o principal polo urbano e turístico do Sul do Brasil e o sétimo destino turístico mais visitado do país, com mais de 1,5 milhão de turistas por ano (Piatto; Polette, 2012).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2024), Balneário Camboriú possui uma área territorial de 45,21 km² e uma população estimada em 148 mil habi-

tantes, com todos os moradores residindo em áreas urbanas, visto que o município não conta com zona rural ao longo da sua municipalidade (Baumhardt et al., 2024). A população está distribuída em quatorze bairros, sendo 52,4% composta por mulheres e 47,6% por homens, resultando em uma densidade demográfica de aproximadamente 2.337,67 habitantes por quilômetro quadrado (Hoppe et al., 2022).

Localizada a pouco mais de 80 km de Florianópolis, Balneário Camboriú disputa com a capital catarinense a preferência dos turistas na alta temporada. Além da Praia Central, o município também oferece praias mais preservadas, como Laranjeiras, Taquaras, Estaleiro, Estaleirinho e a Praia do Pinho — a primeira de naturismo do Brasil (Mannrich; Ruiz; Dos Anjos, 2017). Entre os atrativos estão o Parque Unipraias, com bondinhos aéreos e vista panorâmica, e a Rodovia Interpraias, que conecta diversas praias com mirantes ao longo do percurso (SECRETARIA DE TURISMO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ – SECTURBC,). A cidade experimenta um rápido crescimento urbano, com investimentos significativos no setor da construção civil, principalmente dos empreendimentos de alto padrão. Este desenvolvimento imobiliário não apenas eleva o valor das propriedades, mas também atrai investidores de outras regiões e países, promovendo o crescimento econômico (da Silva; Schwingel, 2021).

De acordo com Hoppe et al. (2022), a rápida urbanização e a alta densidade populacional sazonal colocam pressão sobre a infraestrutura da cidade, incluindo saneamento básico, gestão de resíduos e mobilidade urbana. O município depende do rio Camboriú para o abastecimento de água potável, fornecida pela empresa EMASA. No verão, a alta demanda e a falta de infraestrutura de armazenamento geram riscos de desabastecimento. Além disso, a elevada carga de sedimentos na captação aumenta as perdas no tratamento da água (Kroeger et al., 2019).

Aproximadamente 98,7% da área urbana conta com um sistema de esgotamento sanitário considerado eficiente (IBGE, 2010). No entanto, a capacidade do sistema de esgotamento sanitário é insuficiente para atender à demanda sazonal, operando de forma limitada, cuja porcentagem de eficiência está em média 70%. O município ainda registra episódios recentes de alagamentos em diferentes regiões, especialmente associados a eventos de precipitação extrema (Baumhardt et al., 2024). Problemas como congestionamento de tráfego urbano e poluição também são preocupações constantes (Piatto; Polette, 2012). Além disso, uma consequência direta dessa ocupação é a ampliação e a aproximação de vias (caminhos e trilhas) em relação aos remanescentes florestais, modificando a diversidade e a composição das espécies de fauna e flora (Tischer; Farías Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015).

A gestão sustentável do crescimento urbano e do turismo é essencial para Balneário Camboriú. Iniciativas recentes têm focado na melhoria da infraestrutura de saneamento e na implementação de práticas de turismo sustentável. Projetos de revitalização urbana e investimentos em transporte público também estão sendo desenvolvidos para mitigar os impactos da urbanização (Tischer; Farías Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015).

As ações voltadas para a gestão sustentável têm contribuído com o aumento da qualidade de vida da população e aumento do fluxo turístico contribuindo para o aumento da oferta de equipamentos de lazer, entretenimento e gastronomia no destino turístico (Mannrich; Ruiz; Dos Anjos, 2017). Algumas ações de destaque incluem o alargamento da faixa de areia da Praia Central, que passou de 25 para 70 metros com os objetivos de aumentar a proteção da orla do avanço das marés, proporcionar os espaços ao ar livre para esporte, lazer e ciclovias, além da criação de locais para moradores e visitantes (Coelho, 2021). E mais recentemente a implantação do serviço de transporte público totalmente gratuito com rotas estratégicas por toda a cidade, visando diminuir o problema de congestionamento do tráfego urbano.

2.6 Climatologia do Litoral Norte de Santa Catarina

O litoral norte de Santa Catarina possui um clima subtropical úmido, classificado como Cfa na classificação climática de Köppen, caracterizado por verões quentes e úmidos, e invernos amenos e relativamente secos. A região é marcada por uma elevada pluviosidade anual, com médias que variam entre 1.500 mm e 2.000 mm (Silva; Andrade, 2020).

A precipitação é distribuída de forma relativamente uniforme ao longo do ano, embora haja uma tendência de maior concentração nos meses de verão, de dezembro a março. Este padrão é influenciado pela circulação atmosférica predominante, que traz umidade do Oceano Atlântico para o continente (Oliveira; Corrêa; Smith, 2020). Eventos de precipitação intensa são comuns e podem resultar em enchentes e deslizamentos de terra, especialmente em áreas de planícies e de relevo acidentado respectivamente. As temperaturas médias anuais variam entre 18 °C e 25 °C. Durante o verão, as temperaturas médias diárias podem superar os 30 °C, enquanto no inverno raramente caem abaixo de 10 °C (Oliveira; Corrêa; Smith, 2020).

A umidade relativa do ar é geralmente alta, frequentemente excedendo 80%

devido à proximidade com o oceano e à cobertura vegetal densa da região. Os ventos predominantes são de leste e sudeste, influenciados pelas brisas marítimas que moderam as temperaturas costeiras e trazem umidade.

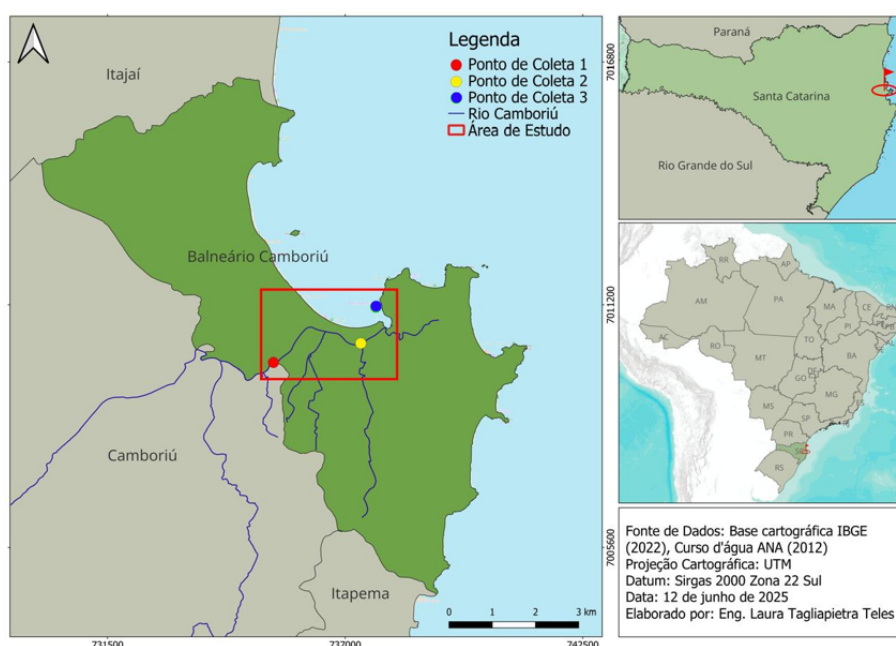
A climatologia do litoral norte de Santa Catarina é influenciada por várias massas de ar, incluindo a massa de ar tropical atlântica, que traz calor e umidade do oceano, e a massa de ar polar atlântica, que pode trazer temperaturas mais baixas e tempo instável, especialmente durante o inverno (Oliveira; Corrêa; Smith, 2020). Estudos indicam que as mudanças climáticas podem intensificar os eventos extremos na região, como chuvas intensas e ondas de calor (Pereira, 2011).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange a região da Foz do Rio Camboriú, localizada entre os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, no litoral centro-norte do estado de Santa Catarina (Blainski et al., 2017). A Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú com cerca de 195 km² representa manancial de grande importância para os ecossistemas e para a sociedade local. Sua relevância social e econômica podem ser evidenciadas desde o período colonial, com registros de ocupações na região pelos povos originários (Tischer; Farías Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015). Atualmente, o Rio Camboriú fornece água para o abastecimento público, agricultura e indústria na região, além de condições de navegabilidade que favorecem os setores náutico e turístico, amplamente explorados na região.

Figura 1 – Localização da área de estudo na foz do Rio Camboriú, Balneário Camboriú (SC), indicando os pontos de coleta e o curso do rio.



Fonte: A Autora.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical úmido mesotérmico, caracterizado por temperaturas médias abaixo de 18°C no mês mais frio e acima de 22°C no mês mais quente, com verões quentes e geadas raras. A precipitação anual varia entre 1.430 mm e 1.908 mm, com uma tendência de maior concentração de chuvas nos meses de verão, mas sem uma estação seca definida (Silva; Andrade, 2020). O estuário do Rio Camboriú representa a porção terminal do Rio Camboriú com 40 km de extensão que drena uma área de 200 km² e apresenta um

canal de aproximadamente 120 m de largura, com cerca de 2 metros de profundidade (Pereira Filho et al., 2002), sendo uma zona de transição entre o rio e o mar, com elevada diversidade biológica e oferece o importante serviço ecossistêmico de área de reprodução e recrutamento (berçário) para diversas espécies marinhas (Tischer; Farias Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015). Conforme Blainski et al. (2017) a bacia hidrográfica do Rio Camboriú inclui áreas urbanas e rurais, onde a atividade agrícola é predominante. No entanto, a expansão urbana e a atividade turística intensa aumentam a demanda por recursos hídricos e a geração de resíduos, impactando negativamente a qualidade da água, especialmente em Balneário Camboriú.

3.2 Delineamento Amostral

Entre julho de 2024 e dezembro de 2024 foram realizadas campanhas de coleta de amostras com esforço concentrado em período com diferentes condições de pluviosidade e de população residente na região. Em cada campanha foram coletadas amostras de água semanais durante 4 semanas consecutivas intercaladas por igual período sem coleta, durante 6 meses. Durante o período de execução das coletas, o primeiro esforço ocorreu no período considerado de menor pluviosidade, enquanto que as últimas 4 semanas foram no período considerado mais chuvoso. Ao longo dos três blocos de 4 semanas de coletas de amostras, dois blocos ocorreram em período com feriados ou datas comemorativas, caracterizando assim o período de maior fluxo de turistas e a população residente em Balneário Camboriú.

3.2.1 Coleta de Amostras

Em cada coleta foram amostrados três pontos dispostos ao longo do gradiente salino do estuário do Rio Camboriú (Figura 1). O primeiro ponto encontra-se na região mais límnic do estuário, sob maior influência continental. O ponto 2 está localizado junto ao cais da Barra do Rio, à jusante do canal extravasor da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do Rio Camboriú, sendo este o ponto de maior pressão antrópica e de maior degradação das condições ambientais do estuário. O ponto 3 encontra-se na porção marinha do estuário, localizado na ponta do promontório artificial (molhes da Barra Sul), construído para a manutenção da foz do rio, garantindo sua navegabilidade. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de água bruta da camada subsuperficial (com uma réplica), por meio de um balde de Inox e transferida para um galão de vidro de 5 litros, utilizando um funil de vidro, para evitar contaminação por plástico. Após a coleta, as amostras de água foram levadas ao laboratório do IFSC campus de Itajaí, onde foi mensurada a salinidade da água, que serviu para caracterizar o comportamento do ecossistema estuarino em relação ao regime pluviométrico e a

influência marinha.

3.2.2 Preparação da amostra

No laboratório cada amostra (amostra e réplica) de cada ponto foi homogeneizada e 4 litros foram filtrados através de um conjunto de peneiras de aço Inox com malha de 5 milímetros e posteriormente de 50 micrômetros. O material retido na peneira de menor tamanho de malha foi então gentilmente lavado e recolhido no copo coletor do sistema de filtração à vácuo, previamente preparado contendo um filtro de fibra de vidro (Macherey-Nagel, BF 85/90) com porosidade de 0,5 micrômetros. Após a filtração da amostra, o filtro foi removido, acondicionado em placa de petri e disposto em uma estufa de secagem por 2 horas à 45 °C.

3.2.3 Identificação e Quantificação dos Microplásticos

A identificação e quantificação dos microplásticos retidos nos filtros foram realizadas através da identificação visual, utilizando um microscópio estereoscópio (Even), com magnificação de 40x discriminando a coloração e a forma dos resíduos microplásticos observados. Foram discriminadas as colorações, preta, azul, vermelha, amarela, verde, transparente e outras, enquanto que as formas foram categorizadas em pellets, fragmentos, fibras, filmes e outros.

3.3 Informações Meteorológicas e Populacional

Dados de temperatura do ar, umidade relativa, e pluviosidade, foram obtidas nos bancos de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), mediante solicitação por escrito com a devida justificativa e anuência da coordenação do PCAM. Foram solicitados e utilizados para as análises, as variáveis meteorológicas, em escalas diárias. As informações relativas a flutuação populacional na cidade de Balneário Camboriú, assim como informações oficiais sobre as atividades econômicas do vinculadas ao setor do turismo em Balneário Camboriú serão obtidos junto aos órgãos municipais e estaduais, e através do portal da transparência Estadual (<https://www.transparencia.sc.gov.br/>), permitindo estimar a quantidade de pessoas na mesma escala de tempo das amostragens.

3.4 Tratamento Estatístico

O tratamento estatístico foi realizado utilizando métodos descritivos e inferenciais entre os pontos (fator 1), entre as campanhas de coleta (fator 2) e entre os fatores combinados (1 e 2), adotando o teste de análise da variância fatorial, com posterior teste de Tukey. Também foram realizados testes de correlação não paramétrica de Spearman, buscando identificar as correlações entre as variáveis, assim como o teste

de V de Cramer que permitiu visualizar as associações dentre as categorias resposta de Cor e Forma. Por fim, análises multivariadas exploratórias foram aplicadas com a finalidade de observar a influência do fator meteorológico (pluviosidade) e do fator densidade demográfica (flutuações na população residente no município de Balneário Camboriú). Todas as análises estatísticas foram realizadas em ambiente Python com as bibliotecas Pandas, OS, Numpy (Harris et al., 2020), Seaborn (Waskom, 2021) e Matplotlib (Hunter, 2007).

4 RESULTADOS

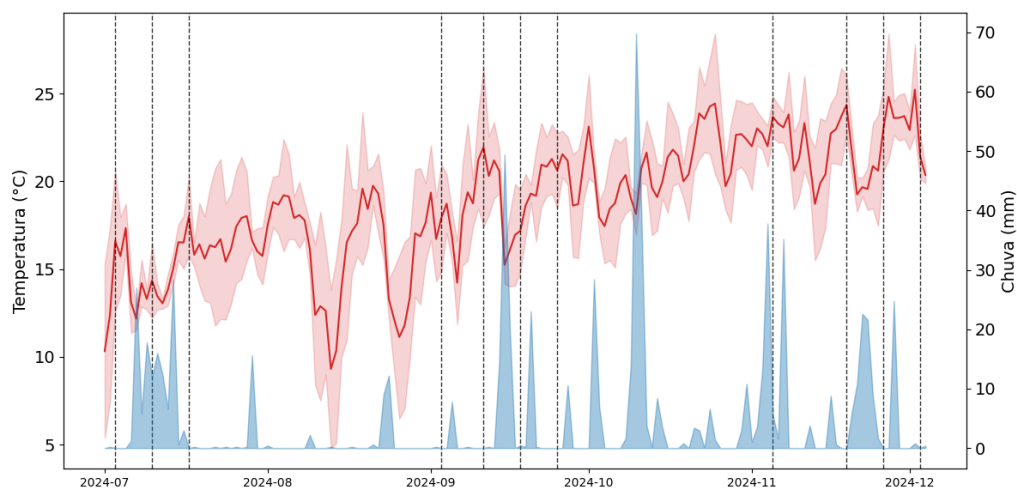
Em junho de 2024, foi realizada uma campanha piloto com o objetivo de testar a viabilidade logística das coletas e o fluxo de processamento amostral. Nessa fase inicial, foram coletadas amostras nos três pontos previamente definidos, sem replicatas. Os resultados obtidos indicaram que a metodologia proposta foi eficaz, permitindo alcançar os objetivos estabelecidos para a pesquisa. Com base na experiência da campanha piloto, no final de julho de 2024, teve início o cronograma de coletas sistemáticas, organizadas em três campanhas amostrais, com coletas em duplicata por ponto.

O primeiro período de coletas foi caracterizado por três diferentes condições meteorológicas com a primeira coleta ocorrendo sob estabilidade atmosférica, sem registro de chuvas nos sete dias anteriores. A segunda coleta, sob instabilidade meteorológica, com ocorrência de chuvas tanto nos dias anteriores quanto no dia da coleta. Por fim, a terceira coleta da campanha 1 foi realizada no primeiro dia subsequente à cessação das chuvas, após uma mudança no padrão climático. Esse primeiro conjunto de coletas resultou em 18 amostras distribuídas entre os três pontos de estudo, cobrindo as condições meteorológicas alvo do estudo.

O segundo período amostral (Campanha 2 - C2) foi conduzido entre setembro e outubro de 2024, com quatro coletas semanais consecutivas. As duas primeiras foram realizadas sob estabilidade climática, enquanto as duas últimas ocorreram sob influência de chuvas frequentes e intensas. Esse período coincidiu com o feriado da Independência (7 de setembro), o que provocou um aumento temporário da população residente em Balneário Camboriú, possivelmente afetando a carga de resíduos na região. A terceira e última campanha de amostragens (Campanha 3 - C3) foi realizada entre o final de novembro e o início de dezembro de 2024, período caracterizado por maior umidade relativa, com a coleta inicial ocorrendo logo após o feriado da Proclamação da República (15 de novembro) e coincidindo com o início do aumento populacional sazonal devido à temporada de verão.

Ao longo do período de julho a dezembro de 2024, observou-se uma tendência de elevação nas temperaturas médias do ar, refletindo a transição do inverno para o verão no hemisfério sul (Figura 2). A precipitação manteve-se dentro do padrão esperado para a região, com uma média mensal de aproximadamente 180 mm. Contudo, registraram-se eventos mais intensos entre setembro e outubro, com picos de 60 mm e 70 mm acumulados em intervalos de sete dias.

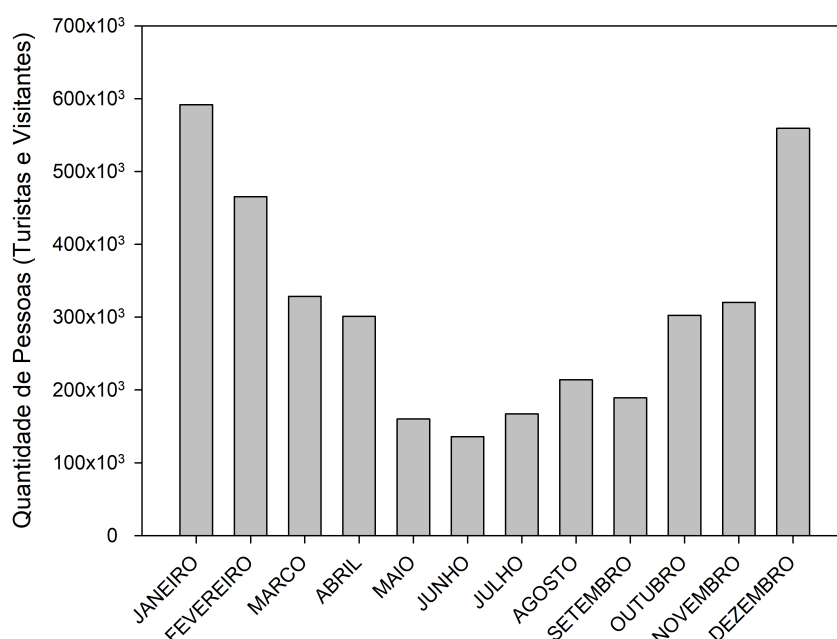
Figura 2 – Média diária da temperatura do ar (linha vermelha) com desvio padrão (faixa vermelha) e precipitação diária acumulada (área azul), entre o período de julho a dezembro de 2024, na região da foz do Rio Camboriú (SC). As linhas tracejadas verticais indicam as datas da realização das campanhas amostrais.



Fonte: Estação A868 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

O fluxo turístico de Balneário Camboriú entre os meses de janeiro e fevereiro apresentou os maiores volumes de visitantes, ultrapassando 600 mil pessoas, refletindo o pico da alta temporada de verão. Após esse período, observa-se uma queda gradual no número de turistas, com os menores valores registrados nos meses de junho e julho, abaixo de 150 mil pessoas, caracterizando a baixa temporada (Figura 3). A partir de agosto, o fluxo começa a se elevar, com aumento progressivo até dezembro, que novamente se destaca com uma elevação significativa no número de visitantes, indicando o início do período de alta temporada. Meses como setembro e outubro apresentaram variação moderada, sendo impactados por feriados prolongados e eventos sazonais.

Figura 3 – Quantidade estimada de pessoas (turistas e visitantes) em Balneário Camboriú (SC) categorizados por mês no ano de 2024.



Fonte: Secretaria de Turismo de Santa Catarina (SANTUR)

A quantidade total de MP observado entre as campanhas, pontos e coletas não foram estatisticamente diferentes, seja por categorias individualizadas, seja pela combinação entre elas (Tabela 1). O modelo não encontrou evidências estatísticas de que o Ponto, a Data, a Campanha ou suas combinações causem uma diferença significativa na concentração total de microplásticos.

Tabela 1 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos total observado nas amostras, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo.

Fonte de Variação	sum_sq	df	F	PR(>F)	p_ajustado
C(Ponto)	5,59	2	0,222	0,802	1,000
C(Data_Coleta)	0,00	3	0,000	1,000	1,000
C(Campanha)	0,00	2	0,000	1,000	1,000
C(Ponto):C(Data_Coleta)	138,90	6	1,840	0,135	0,236
C(Ponto):C(Campanha)	92,60	4	1,840	0,135	0,236
C(Data_Coleta):C(Campanha)	139,08	6	1,842	0,135	0,236
C(Ponto):C(Data_Coleta):C(Campanha)	300,08	12	1,987	0,084	0,236
Residual	666,99	53	-	-	-

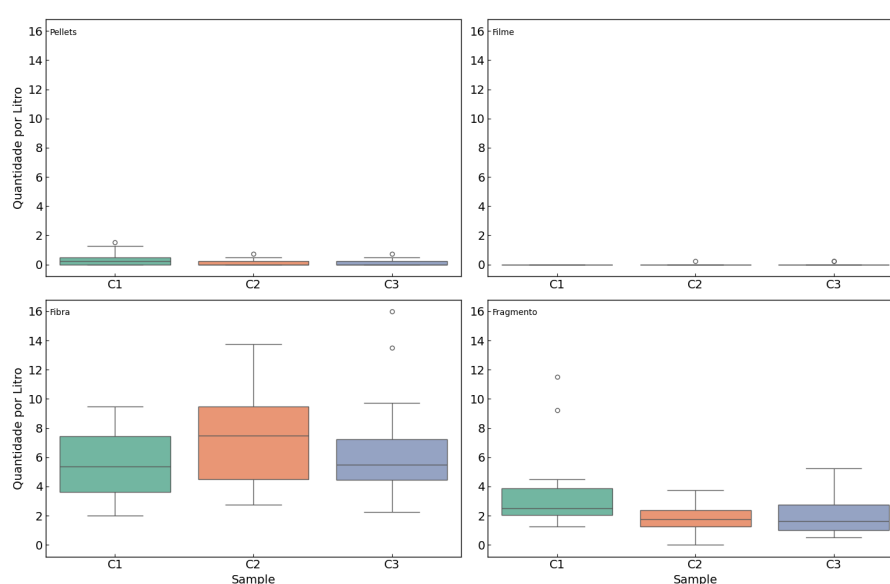
A quantidade por litro das diferentes formas de microplásticos (pellets, filmes, fibras e fragmentos) nas três campanhas de amostragem (C1, C2 e C3) revelou padrões distintos de abundância e variabilidade. Fibras foram a forma predominante de

microplástico em todas as campanhas, com valores variando entre 2 e 14 partículas por litro (Figura 4).

A campanha 2 (C2) se destacou por apresentar tanto a maior mediana (próxima a 8 partículas por litro) quanto a maior dispersão dos dados, indicando a maior presença e variabilidade dessas partículas nesse período. Em contraste, as medianas da Campanha 1 (C1) e da Campanha 3 (C3) foram semelhantes (em torno de 5), sendo que C3 registrou a menor mediana. Embora a diferença visual entre C1 e C3 não seja grande, a elevação em C2 sugere que a quantidade de fibras pode ser significativamente mais alta neste período.

Os Fragmentos também foram detectados com frequência, embora em menor quantidade geral que as Fibras. A variação entre as campanhas para esta forma foi mais sutil, com as medianas dos Fragmentos sendo consistentemente baixas, localizadas entre 2 e 3 partículas por litro e se mostraram muito próximas nas três campanhas. Apesar da presença de alguns valores atípicos (outliers) em C1, a sobreposição das caixas centrais sugere que o fator Campanha é improvável de ser estatisticamente significativo para os Fragmentos. No contexto dos fatores ambientais, a Campanha 1 (C1) apresentou a maior mediana de Fragmentos em relação às demais, mas a Campanha 2 (C2) apresentou a menor concentração geral desta forma.

Figura 4 – Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à forma (pellets, filmes, fibras e fragmentos) três campanhas amostrais.



Fonte: A Autora.

A análise das formas de microplástico revelou uma clara dominância das Fibras

e Fragmentos na foz do Rio Camboriú, enquanto Pellets e Filmes se mostraram significativamente menos abundantes (Tabela 2). As concentrações para Pellets e Filmes foram consistentemente próximas de zero em todas as Campanhas, com pouca ou nenhuma diferença expressiva entre elas. Para os Pellets, a mediana permaneceu próxima a zero, com pouquíssima variação (concentrada entre 0 e 2 partículas por litro). Para os Filmes, a mediana foi estritamente zero, com variação quase nula com a detecção de poucos outliers sugerindo eventos pontuais de presença, que em termos práticos, demonstra ser improvável que o fator Campanha expresse qualquer diferença estatística para Pellets e Filmes.

O teste post-hoc Tukey HSD revelou que a Fibra é a forma mais representativa na foz do rio, sendo estatisticamente diferente e com maior contagem do que todas as outras três formas (Filme, Fragmento e Pellets) com um $p_{adj}=0$, além da diferença significativa entre Fragmento e Pellets ($p_{adj}=0$). Contudo, Filme e Pellets são indistinguíveis estatisticamente ($p_{adj}=0,9196$), o que valida a observação dos boxplots de que ambas as formas ocorrem em quantidades muito baixas, indistinguíveis de zero. A dominância das fibras reforça a hipótese de contribuição significativa do esgoto doméstico e de efluentes urbanos como fontes desses contaminantes.

Para as formas Pellets e Filme, as quantidades registradas são consistentemente muito baixas ou nulas em todas as Campanhas. Para Pellets, a mediana permanece próxima a zero, com pouquíssima variação (concentrada entre 0 e 2). Para Filme, a mediana é zero em todas as Campanhas, com uma variação quase inexistente. Estatisticamente, isso implica que o fator Campanha provavelmente não seria significativo para Pellets e Filme, ou, se fosse, as diferenças seriam insignificantes na prática.

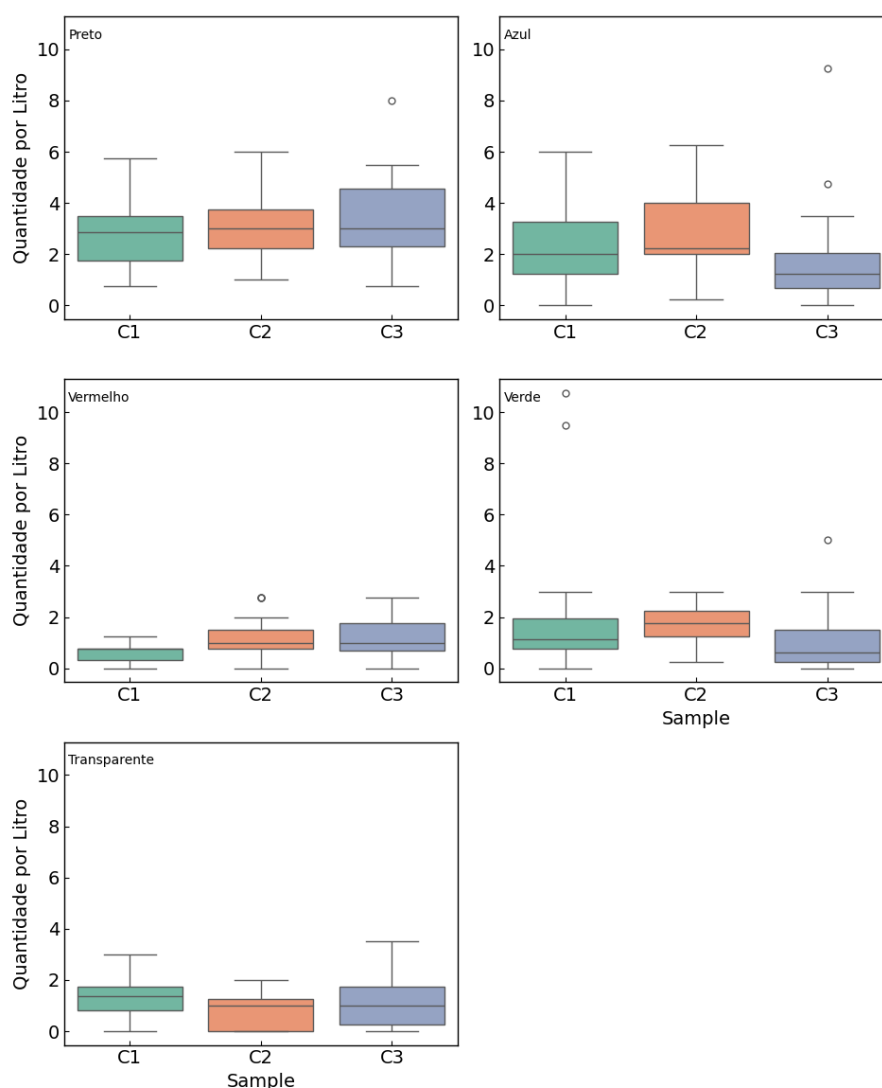
Tabela 2 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos observado nas amostras categorizado por Forma, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo.

Fonte de Variação	sum_sq	df	F	PR(>F)	p_ajustado
Intercept	126,042	1	41,220	0,000	0,000
C(Ponto)	9,382	2	1,534	0,218	0,233
C(Data_Agrupada)	36,191	3	3,945	0,009	0,021
C(Campanha)	35,701	2	5,838	0,003	0,011
C(Forma_Microplastico)	83,115	3	9,060	0,000	0,000
C(Ponto):C(Data_Agrupada)	86,406	6	4,710	0,000	0,001
C(Ponto):C(Campanha)	26,365	4	2,156	0,075	0,120
C(Ponto):C(Forma_Microplastico)	27,217	6	1,483	0,185	0,233
C(Data_Agrupada):C(Campanha)	72,381	6	3,945	0,009	0,021
C(Data_Agrupada):C(Forma_Microplastico)	37,357	9	1,357	0,209	0,233
C(Campanha):C(Forma_Microplastico)	34,028	6	1,855	0,090	0,131
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Campanha)	172,813	12	4,710	0,000	0,001
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Forma_Microplastico)	95,365	18	1,733	0,036	0,064
C(Ponto):C(Campanha):C(Forma_Microplastico)	39,981	12	1,090	0,370	0,370
C(Data_Agrupada):C(Campanha):C(Forma_Microplastico)	74,714	18	1,357	0,209	0,233
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Campanha):C(Forma_Microplastico)	190,730	36	1,733	0,036	0,064
Residual	648,247	212	-	-	-

A análise da distribuição por cor indica que embora haja variações visuais a Cor do Microplástico isoladamente, não é um fator estatisticamente significativo (Tabela 3) na determinação da concentração média geral ($p_{\text{ajustado}} = 0,210$). Contudo, foi identificada uma interação significativa entre Ponto e Cor ($p_{\text{ajustado}} = 0,031$), sugerindo que a distribuição das cores varia conforme a localização, e não de forma uniforme no tempo ou entre campanhas (Figura 5).

As cores Preto e Azul foram as mais frequentes, com a cor Preta apresentando concentrações entre 1 e 6 partículas por litro, com a Campanha 3 (C3) exibindo valores médios mais altos. O Azul esteve amplamente presente, com uma mediana ligeiramente superior na Campanha 2 (C2), mas registrando uma queda considerável na Campanha 3 (C3). Em ambas as cores, a presença de outliers indica a ocorrência de picos isolados de concentração (chegando a 9 partículas por litro no Azul), os quais podem refletir descargas pontuais ou condições hidrológicas específicas.

Figura 5 – Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à cor (preto, azul, vermelho, verde e transparente) nas três campanhas amostrais.



Fonte: A Autora.

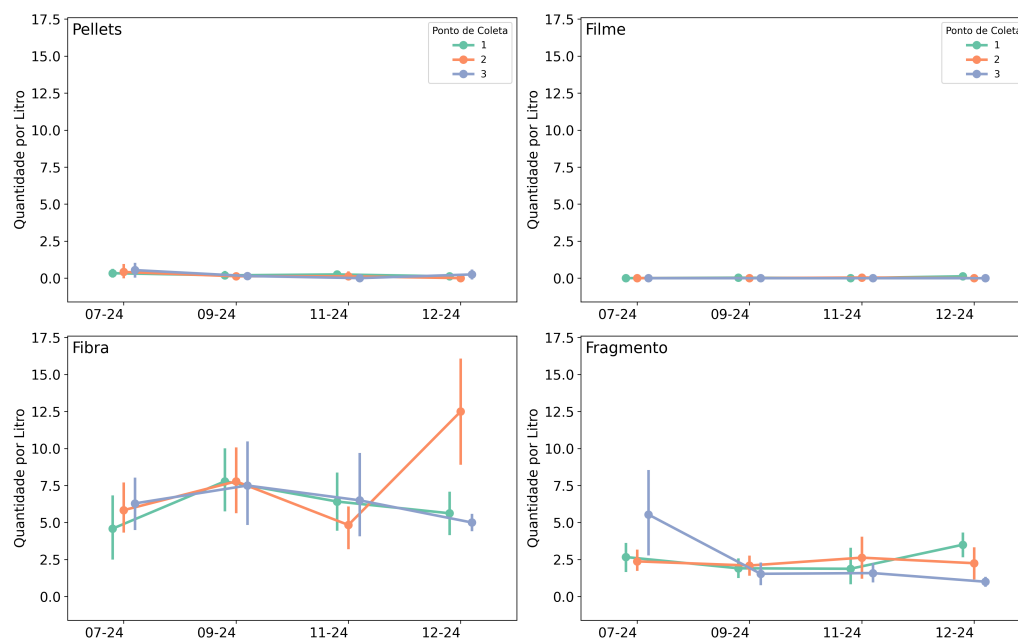
Em relação às demais cores, a Verde mostrou distribuição relativamente constante entre C1 e C2 (mediana entre 1 e 2 partículas por litro), mas com uma queda visível na Campanha 3 (C3), o que sugere uma redução no aporte ou maior dispersão. Os microplásticos Transparentes apresentaram uma distribuição visualmente uniforme entre as campanhas, com a Campanha 1 (C1) registrando a maior mediana e o maior intervalo interquartil, e C3 a menor. Por fim, a cor Vermelha registrou as menores concentrações entre todas as cores analisadas, variando aproximadamente entre 0,5 e 2 partículas por litro, com uma mediana ligeiramente mais elevada na Campanha 2 (C2), embora a presença de poucos outliers sugira que eventos de aporte mais intenso foram raros e pontuais.

Tabela 3 – Resultados da análise da variância multifatorial da quantidade de microplásticos observado nas amostras categorizado por Cor, avaliando cada fator (Campanha, Ponto e Data da Coleta) individualmente e combinados. sum_sq: Soma dos Quadrados, df: Graus de Liberdade, F: Valor de F, PR(>F): probabilidade de obter uma estatística F tão grande (ou maior) como a que foi calculada, p_ajustado: p-valor corrigido usando o método FDR (Benjamini/Hochberg) para controlar a taxa de falsos positivos devido às múltiplas comparações no modelo.

Fonte de Variação	sum_sq	df	F	PR(>F)	p_ajustado
Intercept	21,094	1	11,675	0,001	0,012
C(Ponto)	1,715	2	0,475	0,623	0,664
C(Data_Agrupada)	6,155	3	1,136	0,335	0,518
C(Campanha)	4,054	2	1,122	0,327	0,518
C(Cor_Microplastico)	14,596	4	2,020	0,092	0,210
C(Ponto):C(Data_Agrupada)	24,619	6	2,271	0,037	0,110
C(Ponto):C(Campanha)	2,239	4	0,310	0,871	0,871
C(Ponto):C(Cor_Microplastico)	42,253	8	2,923	0,004	0,031
C(Data_Agrupada):C(Campanha)	12,311	6	1,136	0,335	0,518
C(Data_Agrupada):C(Cor_Microplastico)	23,028	12	1,062	0,393	0,518
C(Campanha):C(Cor_Microplastico)	14,140	8	0,978	0,453	0,518
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Campanha)	49,238	12	2,271	0,037	0,110
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Cor_Microplastico)	69,280	24	1,598	0,041	0,110
C(Ponto):C(Campanha):C(Cor_Microplastico)	29,574	16	1,023	0,432	0,518
C(Data_Agrupada):C(Campanha):C(Cor_Microplastico)	46,055	24	1,062	0,393	0,518
C(Ponto):C(Data_Agrupada):C(Campanha):C(Cor_Microplastico)	138,560	48	1,598	0,041	0,110
Residual	478,806	265	-	-	-

As formas Pellets e Filmes demonstraram um padrão de concentração extremamente baixo e estável (Figura 6). Para ambas as formas, as médias permaneceram consistentemente próximas de zero, geralmente abaixo de 0,5 partículas por litro, sem qualquer cruzamento ou separação significativa das linhas ao longo do tempo e entre os Pontos. Essa constância valida as descobertas do teste Tukey HSD, indicando que a concentração de Pellets e Filmes é estatisticamente indistinguível de zero (Tabela 2).

Figura 6 – Valores de média com desvio padrão da quantidade por litro de Pellets, Filme, Fibra e Fragmento entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta.

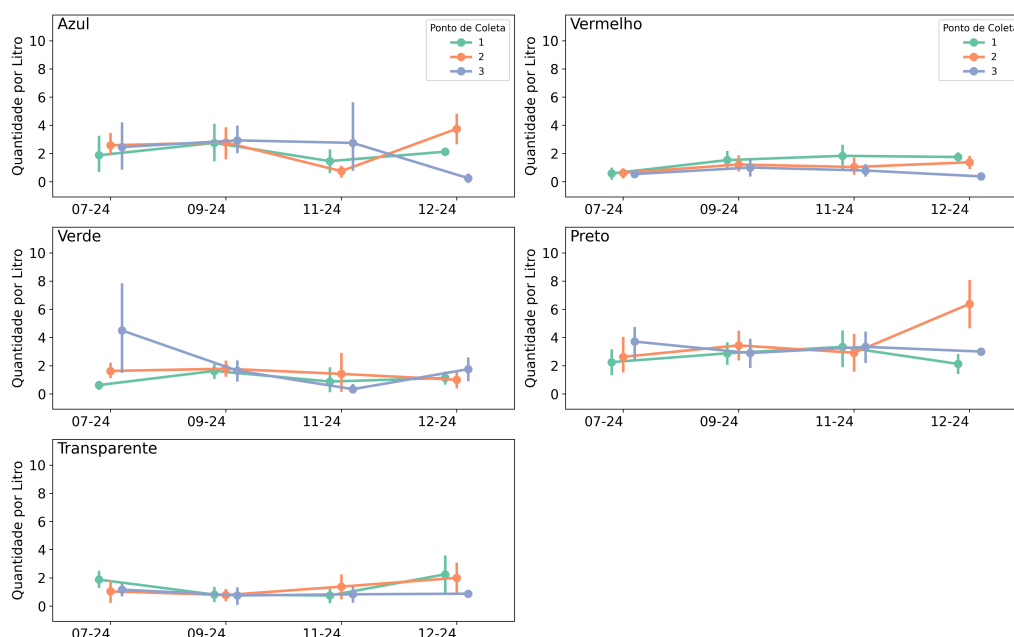


Fonte: A Autora.

Fibras e Fragmentos provavelmente foram impulsionados por eventos localizados no tempo e no espaço, o que fundamenta a alta significância da interação C(Ponto):C(Data_Agrupada) observada na ANOVA. As Fibras mantiveram as maiores concentrações em todo o período (variando de 4 a 14 partículas por litro), mostrando uma tendência geral de aumento entre o primeiro e o segundo período de coleta (07-24 a 09-24). Contudo, a distribuição das Fibras é dominada por um evento de alta concentração no Ponto 2 (linha laranja) no último período (12-24), onde a média disparou para aproximadamente 14 partículas por litro. Essa interação complexa de picos e vales entre os pontos ao longo do tempo é a principal responsável pela significância da interação C(Ponto):C(Data_Agrupada).

Para os Fragmentos, as concentrações foram moderadas (entre 1,5 e 6 partículas por litro), mas com uma dinâmica inicial distinta. O Ponto 3 (linha azul) começou com a maior concentração (cerca de 5,5 partículas por litro em 07-24), seguido por uma queda abrupta e estabilização nos meses seguintes. Em contrapartida, o Ponto 2 (laranja) manteve-se relativamente estável em concentrações baixas a moderadas. Assim, a variação dos Fragmentos foi determinada por um efeito pontual no Ponto 3 no início da coleta, indicando uma fonte ou acúmulo inicial que diminuiu rapidamente.

Figura 7 – Valores de média com desvio padrão da quantidade por litro de microplásticos das cores Azul, Vermelho, Verde, Preto e Transparente entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta.



Fonte: A Autora.

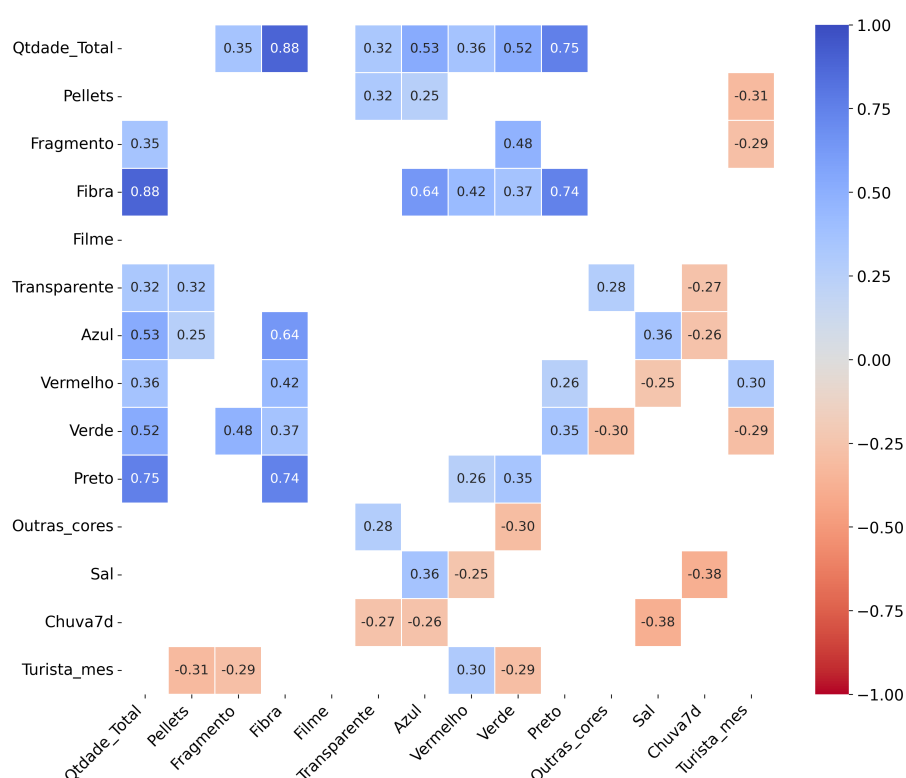
A cor Preta apresentou concentrações moderadas, geralmente variando entre 2 e 6 partículas por litro (Figura 7). A principal característica observada foi uma clara separação no último período (12-24), onde o Ponto 2 (linha laranja) registrou um incremento expressivo, atingindo uma média de aproximadamente 6,5 partículas por litro, enquanto os Pontos 1 e 3 se mantiveram estáveis ou registraram quedas. Assim, a variação da cor Preta demonstrou ser dominada por um aporte de alta concentração no Ponto 2 no período final.

Para a cor Azul, as concentrações também foram moderadas (variando entre 1 e 4 partículas por litro), mas o padrão foi mais estável. O Ponto 2 (laranja) se manteve consistentemente ligeiramente acima ou misturado aos demais pontos ao longo do período, com uma tendência de convergência para concentrações baixas no último período. Em contraste, o Vermelho registrou as concentrações mais baixas (geralmente abaixo de 2 partículas por litro), com as linhas dos três pontos se sobrepondo e seguindo padrões quase idênticos ao longo de todo o período. Isso indica que a cor Vermelha é a mais consistente no tempo e no espaço, sem indicação visual de que Ponto ou Data afetem sua concentração de forma significativa.

O Verde e o Transparente apresentaram variações impulsionadas por eventos localizados. A cor Verde teve sua variação associada com algum evento de alta concentração no Ponto 3 (linha azul) no início da coleta (07-24), atingindo cerca de

4,5 partículas por litro antes de cair drasticamente e convergir com os outros pontos. A cor Transparente (concentrações entre 1 e 2,5 partículas por litro) foi a única que mostrou uma divergência clara no Ponto 1 (linha verde) no último período (12-24), com um aumento evidente enquanto os outros pontos permaneceram estáveis ou caíram, sugerindo um aporte específico nesse local e momento.

Figura 8 – Matriz de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre a quantidade total de microplásticos, suas diferentes formas e cores, e variáveis ambientais (salinidade, chuva e fluxo de turistas). Os valores em azul indicam correlações positivas e os valores em vermelho indicam correlações negativas, sendo a intensidade da cor proporcional à força da correlação.



Fonte: A Autora.

A análise de correlação de Spearman foi aplicada para investigar associações entre as variáveis relacionadas aos microplásticos (MPs), fatores ambientais e antrópicos, considerando apenas os resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$). A quantidade total de MPs apresentou forte correlação positiva com a presença de fibras ($\rho = 0,88$), indicando que este tipo de partícula é o principal contribuinte para a carga total detectada (Figura 8).

Também foram observadas correlações positivas, embora de menor magnitude, com fragmentos ($\rho = 0,35$) e com partículas de coloração preta ($\rho = 0,75$), verde ($\rho = 0,52$), vermelha ($\rho = 0,36$), azul ($\rho = 0,53$) e transparente ($\rho = 0,32$), sugerindo que essas tonalidades estão mais associadas a contextos de maior abundância total de

MPs.

No que se refere às associações entre formas e cores, fibras apresentaram correlações positivas expressivas com MPs pretos ($\rho = 0,74$) e vermelhos ($\rho = 0,42$), enquanto pellets estiveram positivamente associados às cores transparente ($\rho = 0,32$) e azul ($\rho = 0,25$). Fragmentos, por sua vez, mostraram relação positiva com MPs verdes ($\rho = 0,48$). Além disso, fibras se correlacionaram de modo expressivo com MPs azuis ($\rho = 0,64$) e verdes ($\rho = 0,37$), indicando que essas tonalidades estão frequentemente presentes nesse tipo morfológico.

As interações entre as cores também foram evidenciadas, com MPs pretos correlacionando-se positivamente com partículas vermelhas ($\rho = 0,26$) e verdes ($\rho = 0,35$), sugerindo possíveis fontes ou rotas de transporte comuns. Entre as variáveis ambientais e antrópicas, observou-se que o fluxo mensal de turistas apresentou correlação positiva com MPs vermelhos ($\rho = 0,30$) e correlação negativa com pellets ($\rho = -0,31$), fragmentos ($\rho = -0,29$) e MPs verdes ($\rho = -0,29$), o que pode indicar um padrão sazonal associado à presença humana e ao aporte diferencial de tipos e cores de MPs.

A precipitação acumulada nos sete dias anteriores à coleta apresentou correlação negativa com MPs transparentes ($\rho = -0,27$) e azuis ($\rho = -0,26$), indicando que eventos pluviométricos podem influenciar na dispersão ou diluição desses MPs. A salinidade correlacionou-se positivamente com MPs azuis ($\rho = 0,36$) e negativamente com MPs vermelhos ($\rho = -0,25$), reforçando a hipótese de que determinadas cores possam estar associadas a diferentes origens ou rotas de transporte — possivelmente refletindo a influência de águas marinhas ou fluviais. A salinidade também apresentou correlação negativa com a precipitação acumulada ($\rho = -0,38$), o que confirma a relação inversa entre vazão fluvial e intrusão salina na região da foz.

Esses padrões de correlação indicam que tanto as características físicas dos MPs quanto fatores ambientais e de pressão antrópica desempenham papel importante na variabilidade espacial e temporal das concentrações observadas, podendo refletir diferentes fontes, processos de transporte e dinâmicas de deposição na foz do Rio Camboriú.

dias, por sua vez, apresentou correlações negativas com MPs transparentes e azuis, sugerindo diluição ou dispersão desses tipos durante eventos de maior vazão. O fluxo de turistas apresentou correlação positiva com MPs vermelhos e negativa com pellets, fragmentos e MPs verdes, sugerindo influência da sazonalidade turística sobre o aporte e a composição dos microplásticos na região da foz. De modo geral, a rede indica que as características físicas e cromáticas dos MPs não se distribuem de forma independente, mas se organizam em padrões relacionados tanto a fatores ambientais (chuva, salinidade) quanto a pressões antrópicas (turismo), refletindo múltiplas origens e processos de transporte na área de estudo.

5 DISCUSSÃO

Durante o período amostral, observou-se um comportamento sazonal típico da transição entre o inverno e o verão na região Sul do Brasil, com elevação gradual da temperatura do ar e ocorrência de eventos expressivos de precipitação, entre os meses de setembro e outubro. A tendência de leve redução na concentração de MPs durante os períodos mais chuvosos indica que chuvas intensas exercem um efeito de diluição dos MPs na coluna d'água, reduzindo a concentração de partículas por litro em uma escala de tempo de dias ou semanas. Os testes estatísticos aplicados não identificaram associações significativas entre a quantidade total de MPs e a pluviosidade acumulada nos sete dias que antecederam as coletas. Isso indica que, apesar da tendência observacional, o padrão não foi suficientemente consistente para estabelecer uma relação de causalidade direta.

No estudo realizado por Hurley, Woodward e Rothwell (2018) na bacia dos rios Mersey e Irwell no noroeste da Inglaterra, mostrou que após eventos de inundação houve uma queda significativa (64%) na quantidade de MPs armazenados nos sedimentos do leito. Esse padrão foi explicado pela mobilização e pelo transporte das partículas, que foram removidas das áreas de deposição e exportadas em larga escala para jusante.

As fibras constituíram a forma predominante em todas as amostras, seguidas pelos fragmentos, sendo este o mesmo padrão de ambientes similares, que identifica as fibras têxteis sintéticas como importantes fontes de MPs em sistemas aquáticos urbanos, geralmente associadas ao esgoto doméstico e às águas residuais urbanas (Mai et al., 2018; Tang et al., 2021; Garcés-Ordóñez et al., 2022; Rusinque-Quintero; Montoya-Rojas; Moyano-Molano, 2022; Celis-Hernandez et al., 2023). A forte correlação positiva entre a presença de fibras e a quantidade total de MPs ($\rho = 0,88$) corrobora a relevância desta categoria na contaminação estuarina do Rio Camború.

Os fragmentos apresentaram distribuição relativamente homogênea entre pontos e campanhas, com concentrações próximas de 2 partículas por litro, sugerindo um aporte por fontes difusas, possivelmente relacionadas à degradação de plásticos maiores presentes no ambiente. A correlação positiva entre fragmentos e a coloração verde ($\rho = 0,48$) pode indicar que esses fragmentos têm origem na degradação de embalagens plásticas de uso cotidiano. Diferentemente das fibras, que parecem associar-se a fontes contínuas, os fragmentos refletem processos ambientais mais lentos de fragmentação, dispersão e abrasão mecânica (Tang et al., 2021). Evidências experimentais mostram que o envelhecimento ambiental de microplásticos, por pro-

cessos como irradiação UV e agitação mecânica, gera progressivamente um grande número de partículas menores, indicando que sua presença resulta de transformações prolongadas de resíduos plásticos no ambiente (Sorasan et al., 2022; Yang et al., 2024).

Os pellets, embora menos frequentes, apresentaram ocorrências pontuais, especialmente no ponto mais límnico do estuário, o que pode indicar aportes localizados ou que esta categoria esteja mais fortemente associada com o aporte continental. No contexto dos processos geoquímicos os pellets tendem a se misturar mais facilmente com as partículas de sedimentos em suspensão e acumular em camadas mais profundas do sedimento (>10 cm), enquanto fibras depositam nas camadas mais superficiais (Waldschläger; Schütttrumpf, 2020; Pegado et al., 2024). Outro aspecto relacionado aos Pellets está associado com sua provável origem nos produtos de saúde e beleza de uso cotidiano (Boucher; Friot, 2017).

Não foram observadas diferenças estatísticas na concentração total de MPs entre os três pontos amostrados, no entanto, o Ponto 3 demonstrou maior variação e valores máximos mais elevados no início do estudo (campanha 1), possivelmente refletindo a influência marinha no estuário justamente em um período menos chuvoso. Esse padrão pode estar associado à dinâmica do estuário, onde a inserção salina e a ação das marés redistribuem partículas ao longo da coluna d'água (Franklin-Silva; Schettini, 2010; Pereira Filho et al., 2002). No Estuário Musi, na Indonésia, verificou-se que as concentrações de microplásticos são maiores durante a maré de refluxo, particularmente nas zonas mais próximas do mar, refletindo a entrada de partículas transportadas por fontes marinhas (Diansyah et al., 2024).

A análise de correlação revelou que a salinidade se relacionou positivamente com MPs azuis ($\rho = 0,36$) e negativamente com MPs vermelhos ($\rho = -0,25$), que podem estar refletindo fontes distintas ou rotas de transporte diferenciadas dentro do sistema estuarino (Drabinski et al., 2023). A correlação positiva com MPs azuis indica que essas partículas tendem a se concentrar em águas com maior influência marinha, possivelmente advindas de atividades náuticas, tráfego de embarcações ou dispersão a partir do mar aberto em direção à foz (Ap; Siddiquie, 2024). Por outro lado, a correlação negativa com MPs vermelhos sugere que essas partículas são mais abundantes em águas com menor salinidade, caracterizando um aporte predominantemente fluvial, oriundo de drenagens urbanas, escoamento superficial ou descargas pontuais ao longo do rio (Guo; Noori; Abolfathi, 2024).

A diversidade de cores e sua distribuição quase que equânime evidencia múltiplas fontes de origem e repete o que vem sendo demonstrado em diversos estudos recentes (Tang et al., 2021; Garcés-Ordóñez et al., 2022; Guo; Noori; Abolfathi, 2024).

Os MPs pretos foram os mais abundantes e apresentaram forte associação com fibras, fragmentos. As partículas vermelhas, embora em menor quantidade, apresentaram correlação positiva com fluxo de turistas ($\rho = 0,30$), sugerindo relação com períodos de maior presença humana, aportes urbanos e domésticos, escoamento superficial e descargas de efluentes (Napper; Thompson, 2016; Andrady, 2017). Resultados semelhantes foram observados no Estuário de Bahía Blanca (Argentina), onde a distribuição das cores também refletiu diferenças nas fontes e na influência antrópica, sendo as maiores concentrações de MPs detectadas na zona média, diretamente impactada por descargas de esgoto urbano não tratado (Forero-López et al., 2021).

Do ponto de vista hidrodinâmico, a intrusão salina, as marés e as correntes estuarinas desempenham papel importante na mobilização e distribuição das partículas de MP, enquanto chuvas intensas e eventos de enchentes atuam no aporte e ressuspensão de MPs previamente depositados nos sedimentos e exportação para os ambientes adjacentes (Luo et al., 2019; Zaki et al., 2021). A correlação positiva com salinidade e negativa com precipitação acumulada ($\rho = -0,26$) indica que o aporte e a retenção desses MPs podem estar relacionados à influência marinha, sendo possivelmente transportados por intrusão salina e diluídos durante períodos de maior descarga fluvial (Simantiris et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), estabelece diretrizes para a gestão integrada e adequada dos resíduos sólidos, sua implementação enfrenta desafios significativos com a falta de infraestrutura, financiamento insuficiente e a necessidade de maior conscientização pública (Tischer; Farías Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015). No contexto específico da Foz do Rio Camboriú, em Santa Catarina, essa questão se torna ainda mais relevante devido à sua localização em uma região densamente povoada, economicamente ativa e turística, que representa uma importante fonte de receita para a economia local e regional (Moraes; Tricárico, 2006).

Durante os meses chuvosos, ocorrem aumentos significativos no volume de água do rio, ocasionando eventos de enchentes, especialmente nas áreas urbanas (Pereira Filho et al., 2002; Siegle et al., 2009), o que pode contribuir para incrementos abruptos de microplásticos no estuário, além de outros poluentes e contaminantes resultantes principalmente do crescimento urbano, da falta de saneamento básico adequado e do descarte irregular de resíduos de diversas fontes e origens (Moraes; Tricárico, 2006; Tischer; Farías Espinoza; Carvalho Marenzi, 2015; Blainski et al., 2017; Kroeger et al., 2019). Reconhecer e buscar soluções para lidar com essa problemática pode representar uma oportunidade para gestores públicos, pois permite promover ações de

controle e mitigação dos impactos negativos causados pela contaminação ambiental por microplásticos, oportunizando ao Município enfrentar o problema e melhorar a imagem da administração municipal perante a opinião pública em relação às políticas ambientais (Gutberlet; Uddin, 2017).

O Rio Camboriú é um importante recurso hídrico para a região, desempenhando um papel importante no abastecimento de água, na agricultura e no turismo (Piatto; Polette, 2012). A qualidade das águas do rio é essencial para a saúde dos ecossistemas locais, influenciando diretamente a fauna e flora da região, entretanto, encontra-se sob forte pressão antrópica, recebendo o aporte direto de efluentes domésticos. Este estudo indica que a contaminação do estuário por microplástico é moderada, oferecendo risco real de impactos ambientais e ecossistêmicos com reflexos nos ambientes costeiros adjacentes.

Tabela 4 – Síntese dos resultados da análise de microplásticos (MPs).

Eixo de análise	Principais resultados	Evidências estatísticas / interpretações
Concentração total de MPs	Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na concentração total de microplásticos entre campanhas, pontos amostrais ou datas de coleta.	ANOVA multifatorial indicou ausência de efeito significativo isolado ou combinado dos fatores Campanha, Ponto e Data ($p > 0,05$).
Formas de microplásticos	As fibras foram a forma predominante em todas as campanhas, seguidas por fragmentos. Pellets e filmes apresentaram ocorrência rara ou próxima de zero.	Diferença estatisticamente significativa entre fibras e as demais formas (Tukey HSD, $p_{adj} < 0,05$). Pellets e filmes estatisticamente indistinguíveis de zero.
Cores de microplásticos	As cores preta e azul foram as mais frequentes. As demais cores apresentaram baixas concentrações e ocorrência pontual.	A cor, isoladamente, não foi estatisticamente significativa, porém houve interação significativa entre Ponto $\times$ Cor, indicando influência espacial na distribuição das cores.
Influência da pluviosidade	A precipitação não apresentou relação direta com o aumento da concentração total de MPs, porém influenciou a distribuição de algumas categorias específicas.	Correlação negativa entre precipitação e MPs transparentes e azuis, sugerindo efeito de diluição ou exportação durante eventos chuvosos.
Influência da salinidade/maré	A salinidade apresentou correlação positiva com MPs azuis, indicando possível contribuição de origem marinha associada à intrusão salina.	Correlações de Spearman significativas reforçam o papel da dinâmica estuarina na redistribuição dos MPs.
Influência do fluxo turístico	O aumento sazonal da população (feriados e início da alta temporada) não resultou em incremento significativo da concentração total de MPs.	Ausência de correlação estatística entre fluxo turístico e concentração total de MPs, sugerindo influência indireta ou defasada no tempo.
Dinâmica hidrodinâmica do estuário	O estuário do Rio Camboriú atua como zona de retenção e redistribuição de microplásticos, com potencial exportação para o ambiente marinho.	Resultados interpretados à luz da vazão fluvial, tempo de residência da água e intrusão marinha.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos confirmaram a predominância das fibras, seguido pelos fragmentos, como principal forma do microplástico presente nas águas do estuário, enquanto pellets e filmes apresentaram ocorrência pouco expressiva. Partículas pretas e azuis se destacaram pela frequência e constância, refletindo múltiplas origens, desde resíduos urbanos (como fibras têxteis e abrasão de pneus) até influência marinha, modulada pela salinidade.

A precipitação acumulada mostrou relação inversa com MPs transparentes e azuis, sugerindo diluição durante eventos de maior vazão, enquanto a salinidade correlacionou-se positivamente com MPs azuis e negativamente com vermelhos, refletindo o balanço entre descarga fluvial e intrusão marinha. As campanhas realizadas logo após os feriados nacionais de setembro (Independência do Brasil) e novembro (Proclamação da República) coincidiram com picos de movimentação turística e ocupação sazonal no município de Balneário Camboriú. Ainda que esses eventos não tenham resultado em aumentos significativos da quantidade total de MPs, indicam que o turismo exerce pouca influência na composição e na diversidade dos resíduos plásticos no estuário.

Em síntese, a pesquisa contribui para o entendimento da dinâmica dos microplásticos em ambientes estuarinos urbanizados, destacando o papel das interações entre processos naturais e pressões antrópicas sazonais, e fornecendo subsídios para estratégias de monitoramento e gestão ambiental em Balneário Camboriú e em outros sistemas costeiros sob pressões semelhantes.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a série temporal de coletas, incluindo períodos de maior intensidade pluviométrica (outono e verão), além da incorporação de técnicas de espectroscopia (como FTIR ou Raman) para identificação dos polímeros predominantes. Sugere-se também a integração com estudos de circulação hidrodinâmica, que permitam modelar a dispersão e deposição de microplásticos no estuário e sua exportação para a zona costeira adjacente.

7 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)

Como aplicação da presente dissertação, foi desenvolvido um plano de aula voltado à educação ambiental de estudantes do Ensino Fundamental (Anexo A), cujo objetivo principal foi transformar os achados científicos em uma ferramenta didático-pedagógica aplicada à realidade escolar, promovendo a popularização da ciência e a conscientização sobre a poluição plástica em ambientes aquáticos urbanos. O plano de aula foi implementado com estudantes de uma escola municipal (CAIC Ayrton Senna) de Balneário Camboriú (SC), envolvendo uma sequência de atividades coposto por uma palestra introdutória sobre microplásticos, apresentação da dissertação como base metodológica, realização de coleta de água no Rio Peroba, análise laboratorial participativa e sistematização dos dados obtidos. Os alunos atuaram ativamente em todas as etapas, desde o planejamento até a discussão dos resultados, desenvolvendo habilidades investigativas, pensamento crítico e avaliação ambiental.

As análises laboratoriais seguiram a metodologia adaptada da pesquisa, com procedimentos simplificados para o ambiente escolar. Os dados obtidos pelos alunos foram registrados em planilhas eletrônicas, e representados por gráficos de médias comparativas entre os pontos de coleta. Ao final, os estudantes participaram de uma discussão coletiva, refletindo sobre a relação entre os níveis de microplásticos e o grau de urbanização ao longo do curso do rio. Como resultado concreto, o produto gerou uma proposta de atividade pedagógica replicável, estruturada em etapas práticas e reflexivas, que pode ser aplicada em outras instituições de ensino. Este PTT contribui para a interface entre ciência e educação, valorizando o papel da escola na formação de cidadãos críticos e ambientalmente conscientes.

Um Relatório Técnico de Pesquisa (Anexo B), resumizando os principais resultados do estudo, foi elaborado e enviado para a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Balneário Camboriú, para parlamentares da Câmara de Vereadores e para o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú com a finalidade de disponibilizar informações e indicadores para a gestão pública, para a formulação de políticas públicas e para a gestão integrada de recursos hídricos.

No âmbito acadêmico, além da apresentação dos resultados em um evento científico (VII Simpósio de Ciência e Tecnologia Ambiental da UNIVALI), na forma de pôster (Anexo C), um artigo foi submetido na Revista Geosul, Qualis-Geociências A2, com o objetivo de comunicar os relevantes resultados deste estudo para o meio acadêmico e científico.

abntex2-optionsreferencias

REFERÊNCIAS

- Andrady, A. L. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 119, n. 1, p. 12–22, 2017. ISSN 18793363. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>>. 14, 44
- Ap, P.; Siddiquie, A. Assessment of Microplastics Contamination in Freshwater Ecosystems at Gomti River. v. 11, n. 1, p. 1293–1299, 2024. 43
- Baumhardt, O. d. F. et al. Correlação entre a Precipitação Pluviométrica Registrada por Estações Meteorológicas Automáticas e Estimada a partir de dados CHIRPS – Estudo de Caso em Balneário Camboriú/SC. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 34, p. 360–383, feb 2024. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/17645>>. 21
- Blainski, É. et al. Simulação de cenários de uso e ocupação das terras na bacia hidrográfica do rio Camboriú utilizando o modelo SWAT. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, 2017. ISSN 23180331. 24, 25, 44
- Boucher, J.; Friot, D. *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*. IUCN International Union for Conservation of Nature, 2017. 43 p. ISBN 9782831718279. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/node/46622>>. 16, 43
- BRASIL. *LEI No- 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos*. [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente, 2010. 18, 44
- Carvalho, A. T. F. Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino De Geografia*, v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020. 12
- Celis-Hernandez, O. et al. Environmental risk of microplastics in a Mexican coastal lagoon ecosystem: Anthropogenic inputs and its possible human food risk. *Science of the Total Environment*, v. 879, n. March, 2023. ISSN 18791026. 42
- Coelho, M. U. O alargamento da praia em balneário camboriú. *Mata Nativa*, set 2021. Acesso em: 22 mar. 2025. Disponível em: <<https://matanativa.com.br/o-alargamento-da-praia-em-balneario-camboriu/>>. 22
- da Silva, D. D. P.; Schwingel, P. R. Spatial-temporal variation in land use in a coastal watershed under pressure of population growth. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 389–399, 2021. ISSN 14134152. 20, 21
- Diansyah, G. et al. Dynamics of microplastic abundance under tidal fluctuation in Musi estuary, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 203, n. April, p. 116431, 2024. ISSN 18793363. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116431>>. 43
- Drabinski, T. L. et al. Microplastics in Freshwater River in Rio de Janeiro and Its Role as a Source of Microplastic Pollution in Guanabara Bay, SE Brazil. *Micro*, v. 3, n. 1, p. 208–223, 2023. ISSN 26738023. 13, 18, 43

Eriksen, M. et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, v. 9, n. 12, p. 1–15, 2014. ISSN 19326203. 16, 17

Forero-López, A. D. et al. Occurrence, distribution, and characterization of suspended microplastics in a highly impacted estuarine wetland in Argentina. *Science of the Total Environment*, v. 785, 2021. ISSN 18791026. 44

Franklin-Silva, L. A.; Schettini, C. A. Avaliação Da Dinâmica Lateral E Dos Mecanismos De Transporte No Estuário Do Rio Camboriú. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 7, n. 1, p. 97, 2010. ISSN 1808-7035. 20, 43

Gall, S. C.; Thompson, R. C. The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 92, n. 1-2, p. 170–179, 2015. ISSN 18793363. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>>. 16

Garcés-Ordóñez, O. et al. A systematic review on microplastic pollution in water, sediments, and organisms from 50 coastal lagoons across the globe. *Environmental Pollution*, v. 315, n. July, 2022. ISSN 18736424. 17, 42, 43

Guo, M.; Noori, R.; Abolfathi, S. Microplastics in freshwater systems: Dynamic behaviour and transport processes. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier B.V., v. 205, n. March, p. 107578, 2024. ISSN 18790658. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107578>>. 12, 13, 19, 43

Gutberlet, J.; Uddin, S. M. N. Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, Taylor & Francis, v. 23, n. 4, p. 299–310, 2017. ISSN 20493967. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10773525.2018.1484996>>. 18, 45

Harris, C. R. et al. Array programming with NumPy. *Nature*, v. 585, n. 7825, p. 357–362, sep 2020. ISSN 0028-0836. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41586-020-2649-2>>. 27

Hoppe, I. L. et al. Local Climate Zones, Sky View Factor and Magnitude of Daytime/Nighttime Urban Heat Islands in Balneário Camboriú, SC, Brazil. *Climate*, v. 10, n. 12, 2022. ISSN 22251154. 20, 21

Hunter, J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007. ISSN 1521-9615. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4160265/>>. 27

Hurley, R.; Woodward, J.; Rothwell, J. J. Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*, v. 11, n. 4, p. 251–257, 2018. ISSN 17520908. 13, 42

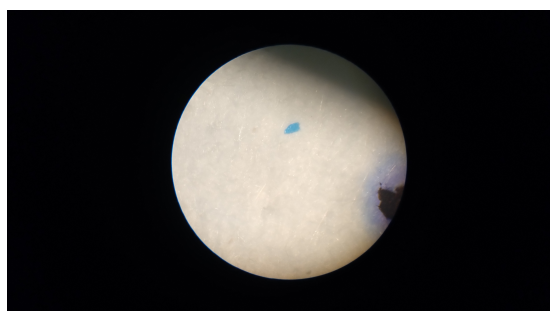
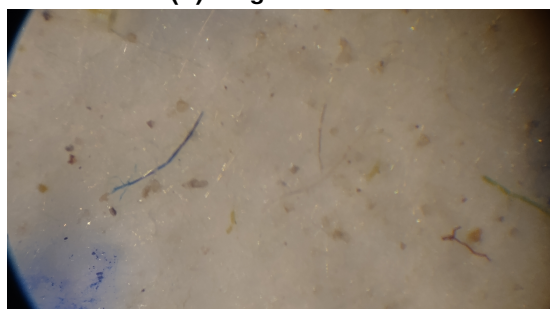
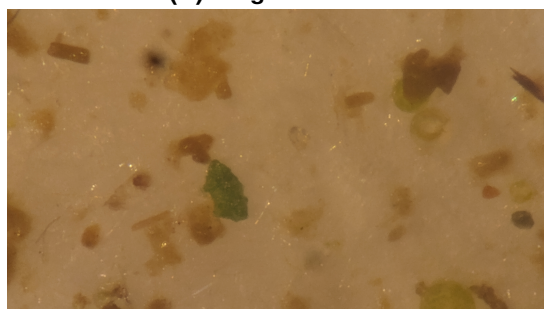
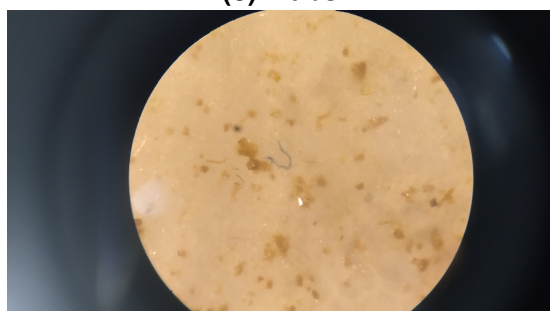
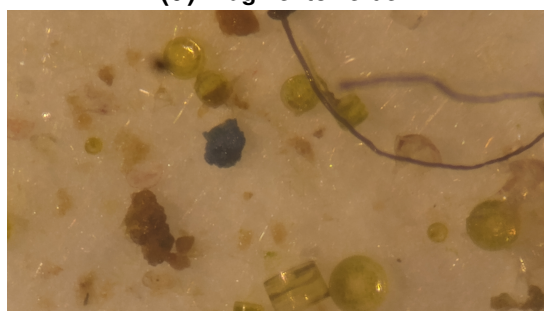
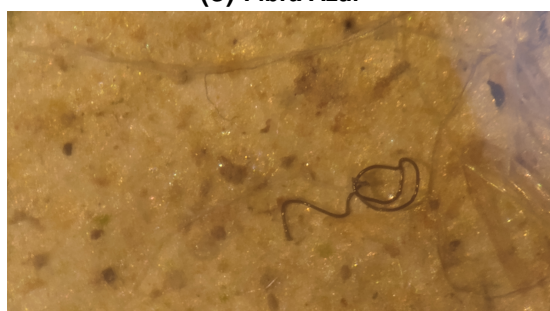
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2024*. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 26 mar. 2025. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. 20

- Kroeger, T. et al. Returns on investment in watershed conservation: Application of a best practices analytical framework to the Rio Camboriú Water Producer program, Santa Catarina, Brazil. *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., v. 657, n. December 2018, p. 1368–1381, 2019. ISSN 18791026. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.116>>. 20, 21, 44
- Luo, W. et al. Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental Pollution*, Elsevier Ltd, v. 246, p. 174–182, 2019. ISSN 18736424. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>>. 44
- Machado, J. A. et al. Análise Da Presença De Microplástico Em Bivalves (Perna Perba): Um Estudo De Caso Em Matinhos, Litoral Do Paraná. *Guaju*, v. 7, n. 1, p. 156, 2021. 16, 17, 18
- Mai, L. et al. A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research*, Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 12, p. 11319–11332, 2018. ISSN 16147499. 13, 42
- Maia Neto, J. *Contribuições do Poder Legislativo no Combate à Poluição causada por Plástico*. Brasília, DF, 2021. 19
- Mancini, M. et al. Retention of microplastics by interspersed lagoons in both natural and constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering*, Elsevier Ltd, v. 56, n. August, p. 104559, 2023. ISSN 22147144. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104559>>. 12
- Mannrich, E. W.; Ruiz, T. C. D.; Dos Anjos, F. A. N. A competitividade de destinos turísticos: O caso de balneário camboriú-santa catarina-brasil. *RITUR- Revista Iberoamericana de Turismo*, v. 7, n. 2, p. 121–139, 2017. 21, 22
- Moraes, S. T.; Tricárico, L. T. HISTÓRIA , CULTURA E PROJETO URBANO : a barra do Rio Camboriú. *REVISTA PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO*, n. 111, p. 105–127, 2006. 44
- Napper, I. E.; Thompson, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 112, n. 1-2, p. 39–45, 2016. ISSN 18793363. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>>. 44
- Oliveira, C. W. d. S.; Corrêa, C. D. S.; Smith, W. S. Food ecology and presence of microplastic in the stomach content of neotropical fish in an urban river of the upper Paraná River Basin. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 15, n. 4, p. 1, jul 2020. ISSN 1980-993X. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2020000400306&lng=en&nrm=iso&tling=en>. 22, 23
- Pegado, T. et al. Meso- and microplastic composition, distribution patterns and drivers: A snapshot of plastic pollution on Brazilian beaches. *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., v. 907, n. October 2023, p. 167769, 2024. ISSN 18791026. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167769>>. 43

- Pereira Filho, J. et al. Estuário Do Rio Camboriú-Sc : Variação Intramareal E Transporte Residual De. *Notas Técnicas da Facimar*, v. 3, p. 137–151, 2002. 25, 43, 44
- Pereira, R. M. F. d. A. Expansão urbana e turismo no litoral de Santa Catarina: o caso das microrregiões de Itajaí e Florianópolis. *Interações (Campo Grande)*, v. 12, n. 1, p. 101–111, 2011. ISSN 1518-7012. 23
- Piatto, L.; Polette, M. Análise do Processo de Artificialização do Município de Balneário Camboriú, SC, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 12, n. 1, p. 77–88, 2012. ISSN 16468872. 20, 21, 45
- Rahman, A. M. N. A. A. et al. A review of microplastic surface interactions in water and potential capturing methods. *Water Science and Engineering*, Hohai University, n. xxx, 2024. ISSN 24058106. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.11.008>>. 16, 17, 19
- Richardson, S. D.; Ternes, T. A. Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry*, n. 86, p. 2813–2848, 2014. 17
- Rusique-Quintero, L. L.; Montoya-Rojas, G. A.; Moyano-Molano, A. L. Environmental risks due to the presence of microplastics in coastal and marine environments of the Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, v. 185, n. PB, p. 114357, 2022. ISSN 18793363. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114357>>. 42
- Santos, L. H. et al. *Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 175. 45-95 p. ISBN 0304-3894. 12, 17
- SECRETARIA DE TURISMO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ – SECTURBC. *Atrações turísticas*. Disponível em: <https://www.secturbc.com.br/turismo/pt-br/guia/atracoes>. Acesso em: 22 mar. 2025. Disponível em: <<https://www.secturbc.com.br/turismo/pt-br/guia/atracoes>>. 21
- Siegle, E. et al. Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: Pre jetty conditions. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 57, n. 2, p. 123–135, 2009. ISSN 16798759. 14, 20, 44
- Silva, J. C.; Andrade, A. T. Precipitação e variabilidade climática no litoral norte de santa catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, n. 35, p. 123–135, 2020. 22, 24
- Simantiris, N. et al. Seasonal evaluation of floating microplastics in a shallow Mediterranean coastal lagoon: Abundance, distribution, chemical composition, and influence of environmental factors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier Ltd, v. 272, n. April, p. 107859, 2022. ISSN 02727714. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107859>>. 44
- Sodré, F. F. et al. How natural and anthropogenic factors should drive microplastic behavior and fate: The scenario of Brazilian urban freshwater. *Chemosphere*, v. 340, n. August, 2023. ISSN 18791298. 12, 13
- Sorasan, C. et al. Ageing and fragmentation of marine microplastics. *Science of The Total Environment*, v. 827, n. 2022, p. 154438, jun 2022. ISSN 00489697. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969722015315>>. 43

- Tang, Y. et al. A review: Research progress on microplastic pollutants in aquatic environments. *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., v. 766, p. 142572, 2021. ISSN 18791026. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142572>>. 42, 43
- Tischer, V.; Farías Espinoza, H. D. C.; Carvalho Marenzi, R. Indicadores socioambientales aplicados en la gestión de ambientes costeros. Caso de estudio Santa Catarina, Brasil. *Investigaciones Geográficas*, Elsevier, v. 86, n. 86, p. 53–66, apr 2015. ISSN 0188-4611. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14350/rig.38541>> <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/38541>>. 21, 22, 24, 25, 44
- Waldschläger, K.; Schüttrumpf, H. Infiltration Behavior of Microplastic Particles with Different Densities, Sizes, and Shapes-From Glass Spheres to Natural Sediments. *Environmental Science and Technology*, v. 54, n. 15, p. 9366–9373, 2020. ISSN 15205851. 43
- Waskom, M. seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 60, p. 3021, apr 2021. ISSN 2475-9066. Disponível em: <<https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03021>>. 27
- Worm, B. et al. Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 42, p. 1–26, 2017. ISSN 15435938. 17, 18
- Wu, F. et al. Microplastic occurrences, transport, and quantification and associated effects on primary productivity and carbon cycling processes in freshwater ecosystems. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, Elsevier B.V., v. 172, n. November 2023, p. 117611, 2024. ISSN 18793142. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117611>>. 12, 16, 18
- Xi, B. et al. Environmental behaviors and degradation methods of microplastics in different environmental media. *Chemosphere*, Elsevier Ltd, v. 299, n. December 2021, p. 134354, 2022. ISSN 18791298. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134354>>. 17
- Yang, L. et al. Microplastics in drinking water: A review on methods, occurrence, sources, and potential risks assessment. *Environmental Pollution*, Elsevier Ltd, v. 348, n. March, p. 123857, 2024. ISSN 18736424. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123857>>. 16, 43
- Zaki, M. R. M. et al. Occurrence , abundance , and distribution of microplastics pollution : an evidence in surface tropical water of Klang River estuary , Malaysia Occurrence , abundance , and distribution of microplastics pollution : an evidence in surface tropical water of . *Environmental Geochemistry and Health*, Springer Netherlands, n. March, 2021. ISSN 1573-2983. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10653-021-00872-8>>. 44
- Zhang, X. et al. High salinity restrains microplastic transport and increases the risk of pollution in coastal wetlands. *Water Research*, v. 267, n. July, p. 122463, dec 2024. ISSN 00431354. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135424013629>>. 13, 44

APÊNDICES

APÊNDICE A – REGISTROS DE MICRO-FOTOGRAFICO DOS MICROPLÁSTICOS**(a) Fragmento azul****(b) Fragmento azul****(c) Fibras****(d) Fragmento verde****(e) Fibra Azul****(f) Fragmento azul e Fibra Preta****(g) Fibra preta****(h) Fibra transparente****Figura 10 – Imagens dos microplasticos observados nas amostras. Aumento de 40x.**

ANEXOS

ANEXO A – PLANO DE AULA

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE

Produto Técnico e Tecnológico

Projeto Pedagógico: Microplásticos no Rio Peroba - quantificação e percepção de estudantes do Ensino Fundamental sobre a poluição plástica em Balneário Camboriú (SC).

Roteiro de Aula

DADOS

Escola: CAIC Ayrton Senna
Nível de formação: Ensino Fundamental
Disciplina: Ciências
Data da coleta de amostras: 08/07/2025
Data das análises e resultados: 15/07/2025
Duração: 10 horas

Objetivos

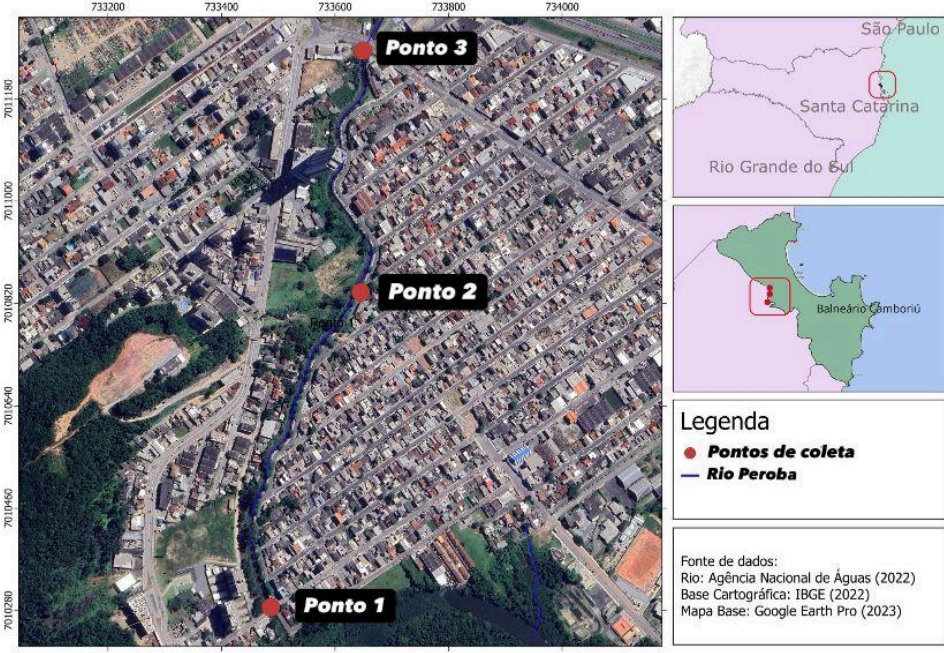
Objetivo Geral Investigar a presença de microplásticos no Rio Peroba, em Balneário Camboriú (SC), por meio de atividades de coleta, análise e reflexão crítica com estudantes do Ensino Fundamental, promovendo a conscientização ambiental acerca dos impactos da poluição plástica no ecossistema aquático local.
Objetivos específicos: - Compreender o que são microplásticos, suas origens e os efeitos ambientais e sociais relacionados à sua presença em corpos hídricos. - Realizar a coleta de amostras de água no Rio Peroba, aplicando procedimentos simples de investigação científica. - Observar e identificar a presença de microplásticos nas amostras coletadas, utilizando materiais de laboratório. - Estimular o pensamento crítico e a tomada de atitudes responsáveis frente à poluição por plásticos. - Produzir registros e relatório sobre o processo investigativo e os resultados obtidos. - Compartilhar os resultados com a comunidade escolar e local, promovendo ações de sensibilização e educação ambiental.

Conteúdos

• Poluição ambiental: tipos, causas e consequências. • Microplásticos: definição, origem, classificação (primários e secundários) e impactos ecológicos. • Atividades humanas e seus efeitos sobre os recursos hídricos. • Métodos de observação e análise científica. Consumo consciente e responsabilidade socioambiental.
--

Metodologia

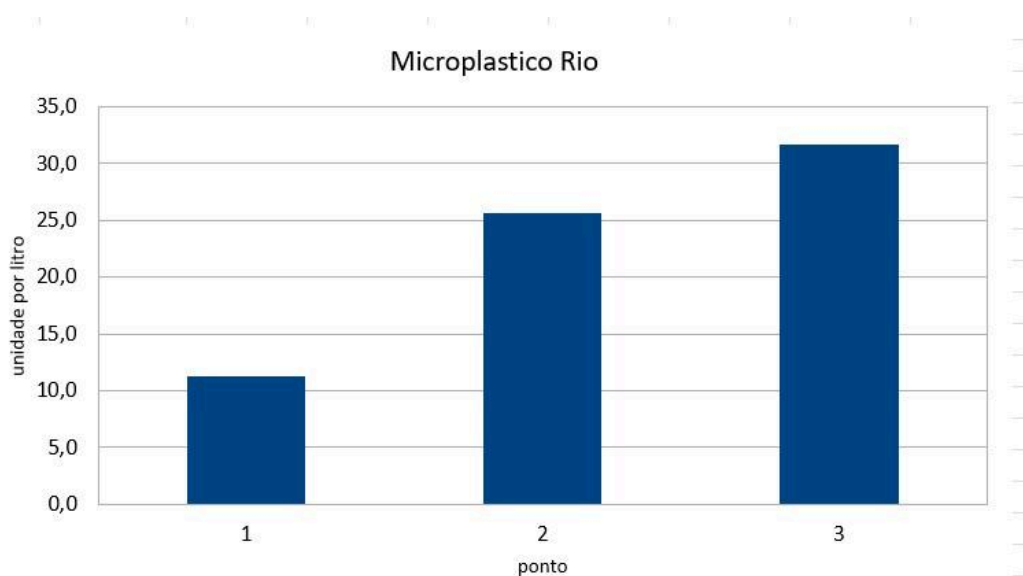
Tempo	Etapas
120'	Apresentação do projeto: O Projeto Pedagógico teve início no dia 5 de junho de 2025, com uma palestra introdutória sobre microplásticos, na qual os estudantes do Ensino Fundamental puderam compreender o conceito, as fontes de origem e os impactos ambientais dos microplásticos. Durante a atividade, também foi apresentado o projeto de pesquisa científica “Composição de Microplásticos nas Águas do Estuário do Rio Camboriú, Santa Catarina”, utilizado como base metodológica para a replicação da investigação aplicada ao Rio Peroba, no contexto escolar.
180'	Coleta de amostras: Essa etapa foi realizada no dia 8 de julho de 2025, das 8h30 às 11h45, em três pontos distintos ao longo do curso do Rio Peroba. Em cada ponto, foram coletados 4 litros de água, utilizando um balde de aço inoxidável, e as amostras foram transferidas para galões de vidro, com o auxílio de um funil de vidro, a fim de evitar contaminações externas e garantir a integridade do material coletado. A caracterização dos pontos de coleta foi definida da seguinte forma: Ponto 1 – Posicionado na foz do Rio Peroba, em área mais arborizada e menos urbanizada, com menor influência antrópica. Ponto 2 – Situado na 6ª Avenida, em uma região predominantemente urbanizada, com grande presença de estabelecimentos comerciais. Ponto 3 – Próximo da 5ª avenida, em área urbana com menor cobertura vegetal e maior impacto antrópico.

	 As amostras foram armazenadas no laboratório da escola, em local seguro e protegido de luz direta, até a realização das análises. Para facilitar a digestão da matéria orgânica presente na água, foi adicionado, um dia antes da análise, 100 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a cada galão.
240'	Análises Laboratoriais: As análises ocorreram no dia 15 de julho de 2025. As amostras foram homogeneizadas e submetidas à filtração sequencial, utilizando um conjunto de peneiras de aço inoxidável com malhas de 5 mm e 50 µm, respectivamente. O material retido na peneira de 50 µm foi transferido para o copo coletor de um sistema de filtração a vácuo, equipado com filtros de fibra de vidro Macherey-Nagel BF 85/90, com porosidade de 0,5 µm. A identificação e quantificação dos microplásticos retidos nos filtros foram realizadas por inspeção visual com o auxílio de um microscópio estereoscópico Even, com ampliação de 40x. Os fragmentos observados foram classificados e contados, e os dados foram registrados em planilhas eletrônicas. As médias de microplásticos encontradas em cada ponto de coleta foram representadas graficamente para permitir a análise comparativa entre os diferentes níveis de influência antrópica ao longo do rio.
60'	Análise de resultados: Os dados obtidos pelos estudantes durante a etapa de quantificação foram registrados em planilha do Excel, organizados conforme o ponto de coleta e quantidade de microplásticos observados. A partir desses registros, foram calculadas as médias de partículas por amostra em cada ponto, permitindo uma comparação quantitativa entre os locais amostrados. Com base nesses dados, foi elaborado um gráfico comparativo representando a concentração média de microplásticos em cada ponto

do Rio Peroba. O gráfico serviu como suporte visual para a realização de uma discussão coletiva, na qual os alunos refletiram sobre os diferentes níveis de poluição ao longo do rio e as possíveis relações com o grau de urbanização, cobertura vegetal e atividades humanas em cada área.

Resultados

Os resultados obtidos na análise das amostras de água do Rio Peroba revelam variações significativas na concentração de microplásticos entre os três pontos de coleta. A quantificação foi expressa em unidades de microplásticos por litro de água.



No Ponto 1, localizado em uma área mais arborizada e com menor interferência urbana, a média registrada foi de aproximadamente 12 microplásticos por litro. No Ponto 2, situado em uma região com maior urbanização e presença de áreas comerciais, observou-se um aumento expressivo, com média de 26 microplásticos por litro. Por fim, no Ponto 3, localizado na foz do rio, área com menor vegetação e maior influência antrópica, a média foi a mais elevada entre os três locais, totalizando cerca de 32 microplásticos por litro.

A média geral entre os três pontos foi de aproximadamente 23,3 microplásticos por litro, indicando um nível considerável de contaminação por microplásticos ao longo do rio. Os resultados evidenciam uma tendência de aumento da concentração dessas partículas em áreas sob maior pressão antrópica, sugerindo uma correlação com o grau de urbanização e o uso do solo nas proximidades do curso d'água.

Considerações Finais

A investigação realizada no Rio Peroba evidenciou a presença de microplásticos em todos os pontos analisados, com variação significativa entre áreas com diferentes graus de urbanização. A média geral de 23,3 microplásticos por litro reforça a preocupação com a poluição difusa que afeta corpos hídricos urbanos, mesmo em trechos aparentemente menos impactados.

A maior concentração foi registrada na foz do rio (Ponto 3), região com intensa influência antrópica e baixa cobertura vegetal, indicando que o uso e ocupação do solo, associado à ausência de barreiras naturais e ao escoamento superficial, contribui diretamente para o acúmulo desses poluentes. O Ponto 2, localizado em área comercial e densamente urbanizada, também apresentou valores elevados, confirmando a relação entre atividade humana e contaminação por microplásticos. Já o Ponto 1, em região mais arborizada e menos urbanizada, registrou os menores valores, reforçando a importância da vegetação ciliar e da menor intervenção urbana no controle da poluição.

Esses dados indicam a urgência de ações voltadas à educação ambiental, gestão adequada de resíduos e monitoramento contínuo da qualidade da água. Além disso, reforçam a necessidade de políticas públicas que considerem os impactos do crescimento urbano desordenado sobre os ecossistemas aquáticos, especialmente em municípios turísticos como Balneário Camboriú. Este projeto visou sensibilizar a comunidade escolar e contribuir para a construção de uma consciência crítica sobre os impactos da atividade humana no meio ambiente.

Avaliação da aprendizagem

Participação dos estudantes nas atividades de coleta de amostras e posterior análise em laboratório.
Apresentação do projeto da turma para professores e outros alunos da escola.

Registros Fotográficos







ANEXO B – SUMÁRIO EXECUTIVO

Sumário Executivo

LAURA TAGLIAPIETRA TELES

MICROPLÁSTICOS NO RIO CAMBORIÚ: DIAGNÓSTICO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM CAMBORIÚ E REGIÃO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós Graduação em Clima e Ambiente

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

Orientador: Profº Dr. Thiago Alves



Por que falar sobre microplásticos?

A contaminação por microplásticos emergiu, nas últimas décadas, como um problema ambiental global de grande preocupação, com implicações significativas para os ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. No contexto específico da Foz do Rio Camboriú, em Santa Catarina, essa questão se torna ainda mais relevante devido à sua localização em uma região densamente povoada, economicamente ativa e turística, que representa uma importante fonte de receita para a economia local e regional.

Neste sentido, a contaminação por microplásticos pode representar uma ameaça direta para o setor do turismo e lazer, afetando a qualidade das praias, dos recursos naturais e, consequentemente, da economia da região. Por outro lado, reconhecer e buscar soluções para lidar com essa problemática pode representar uma oportunidade para gestores públicos, permitindo a promoção de ações de controle e mitigação dos impactos negativos causados por essa contaminação ambiental. Tais medidas também contribuem para a melhoria da imagem da administração municipal frente às políticas ambientais.

Avaliar a influência ambiental, meteorológica e antrópica na contaminação por microplásticos na Foz do Rio Camboriú proporciona uma compreensão mais ampla dos fatores que contribuem para esse problema, proporcionando indicadores para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental e medidas de mitigação. Essas ações visam proteger não apenas o ambiente marinho e os recursos hídricos locais, mas também a economia e o bem-estar da sociedade.

Coleta de Dados

O estudo foi conduzido na foz do Rio Camboriú (SC) entre julho e dezembro de 2024, com o objetivo de avaliar a presença de microplásticos (MPs) sob diferentes condições de pluviosidade e densidade populacional. Foram realizadas três campanhas principais de amostragem, cada uma com quatro coletas semanais, distribuídas em períodos com diferentes características meteorológicas e fluxo turístico.

As coletas ocorreram em três pontos ao longo do estuário (Figura 1), representando gradientes de salinidade e diferentes pressões antrópicas. Amostras de água superficial foram coletadas com equipamentos livres de plástico e processadas em laboratório por filtração em filtros de fibra de vidro. A identificação e quantificação dos MPs foram feitas por análise visual em estereomicroscópio, considerando a forma (fibras, fragmentos, pellets e filmes) e a cor (sete categorias).

Foram coletados dados meteorológicos diários (temperatura, precipitação e umidade) e estimativas de população residente e turística. A análise estatística incluiu testes de variância, correlação de Spearman e análises multivariadas, com o intuito de avaliar as influências ambientais e antrópicas sobre a ocorrência e composição dos MPs.

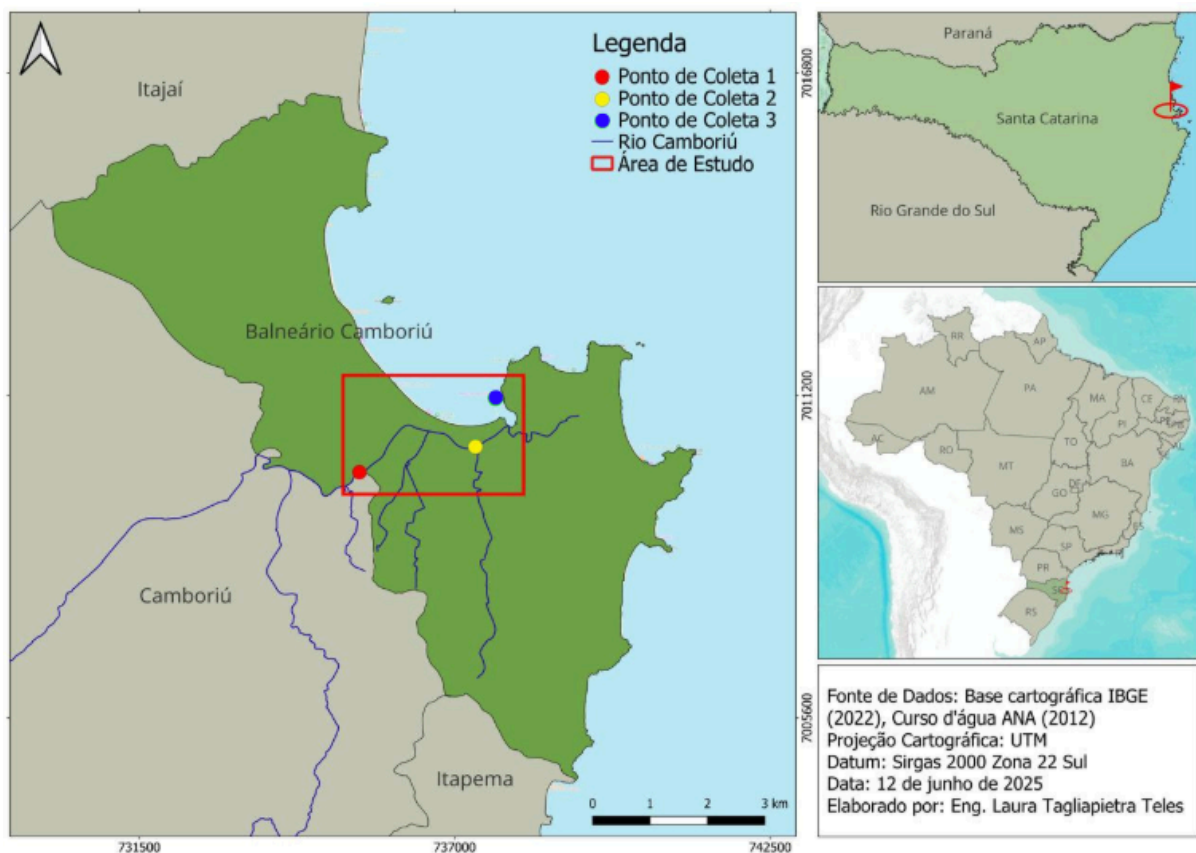


Figura 1 - Localização da área de estudo na foz do Rio Camboriú, Balneário Camboriú (SC), indicando os pontos de coleta e o curso do rio.

Principais Resultados

Em junho de 2024 foi realizada uma campanha piloto para testar a logística de coletas e o processamento amostral, com amostras em três pontos sem replicatas, demonstrando a eficácia da metodologia. A partir de julho de 2024, iniciaram-se coletas sistemáticas em três campanhas:

Primeira campanha: 18 amostras sob três condições meteorológicas — estabilidade atmosférica, instabilidade com chuvas e pós-chuva.

Segunda campanha (setembro–outubro): quatro coletas semanais; duas em clima estável e duas sob chuvas frequentes, incluindo o feriado da Independência, com possível aumento da carga de resíduos devido à maior população temporária.

Terceira campanha (novembro–dezembro): coletas após o feriado da Proclamação da República, coincidindo com o início da alta temporada turística.

Como se observa no Gráfico 1, ao longo do período, observou-se aumento gradual das temperaturas (transição inverno–verão) e precipitação média mensal de 180 mm, com picos mais intensos entre setembro e outubro (60–70 mm acumulados em 7 dias).

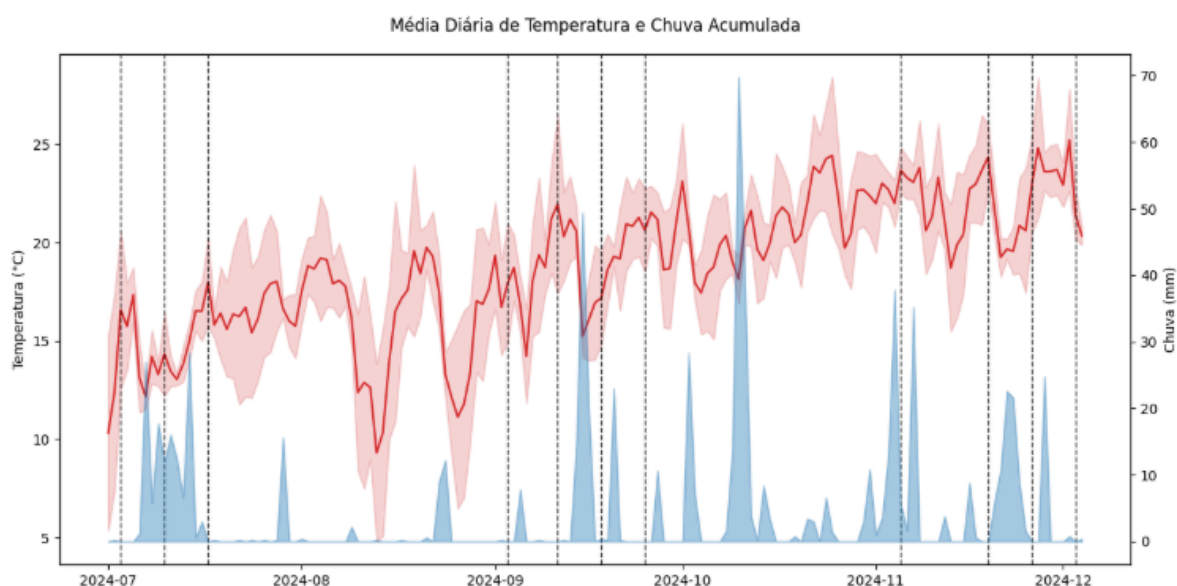


Gráfico 1 - Média diária da temperatura do ar (linha vermelha) com intervalo de variação (faixa vermelha) e precipitação acumulada (barras azuis) entre julho e dezembro de 2024, na região da foz do Rio Camboriú (SC). As linhas tracejadas verticais indicam os períodos de amostragem em campo.

O fluxo turístico em Balneário Camboriú apresenta pico em janeiro e fevereiro (mais de 600 mil visitantes), caracterizando a alta temporada de verão. Entre março e julho ocorre uma queda gradual, com mínimos em junho e julho (<150 mil pessoas), representando a baixa

temporada. A partir de agosto, o número de visitantes aumenta progressivamente, com destaque em dezembro (Gráfico 2), marcando o início da alta temporada. Setembro e outubro apresentam variação moderada, influenciada por feriados e eventos sazonais.

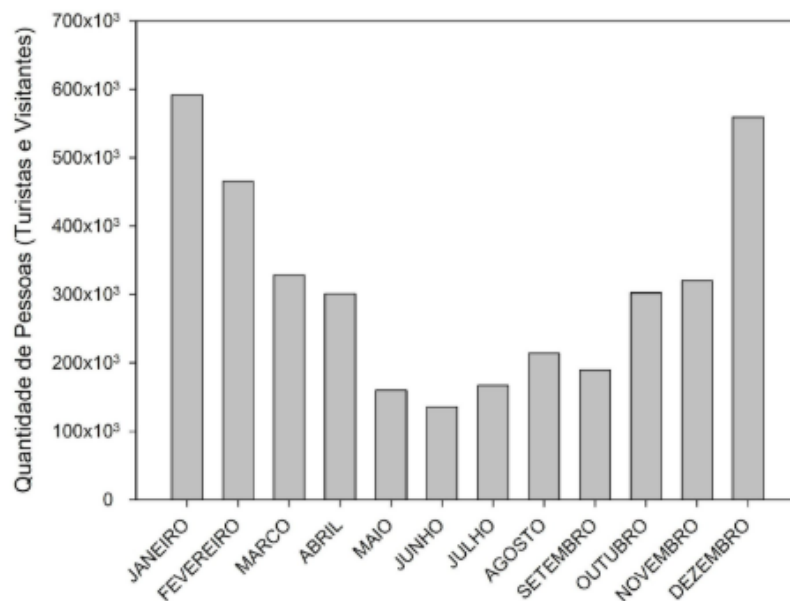


Gráfico 2 - Quantidade estimada de pessoas (turistas e visitantes) em Balneário Camboriú (SC) ao longo dos meses de 2024.

A quantidade por litro das diferentes formas de microplásticos (pellets, filmes, fibras e fragmentos) nas três campanhas de amostragem (C1, C2 e C3) revelou padrões distintos de abundância e variabilidade. De acordo com os gráficos Boxplot, as **fibras** foram a forma predominante em todas as campanhas, variando entre 2 e 14 partículas por litro. A campanha 2 (C2) apresentou a maior mediana e maior dispersão, indicando uma presença mais intensa e variabilidade elevada dessas partículas nesse período. Fragmentos também foram detectados com frequência, embora em menor quantidade, com a campanha 1 (C1) mostrando a maior mediana e ocorrência de alguns valores atípicos, enquanto C2 apresentou menor concentração geral. Pellets e filmes tiveram ocorrência muito baixa, geralmente próxima de zero, com poucos outliers, sugerindo que não representam fontes contínuas de microplásticos no estuário. A baixa presença desses tipos pode refletir ausência de fontes industriais diretas próximas ou rápida dispersão e sedimentação, mesmo em períodos de maior precipitação.

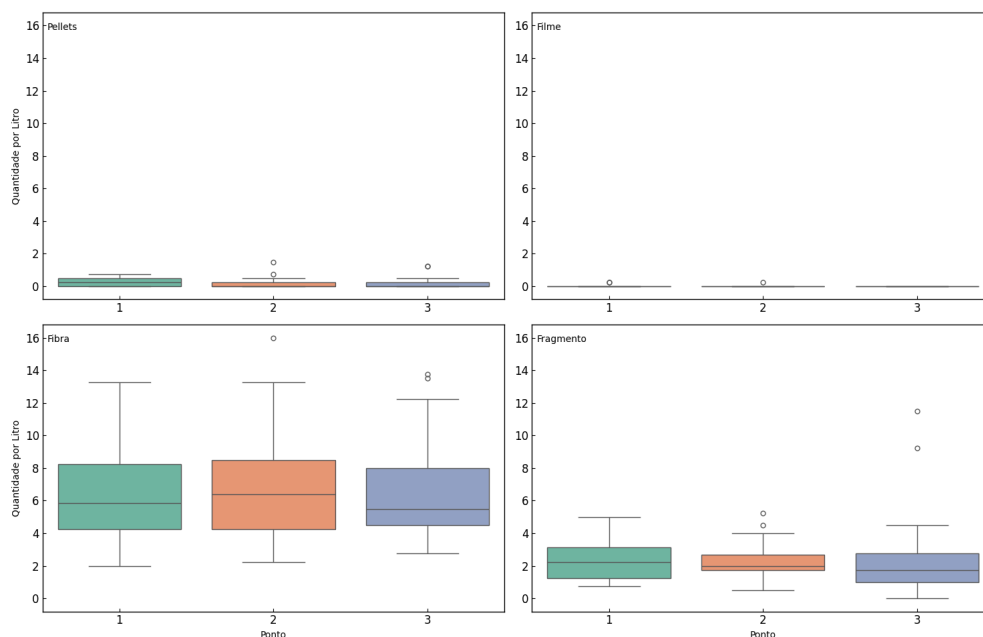


Gráfico 3 - Distribuição em Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à forma (pellets, filmes, fibras e fragmentos) nos três pontos amostrais.

Quanto à composição de cor (Gráfico 4), os MPs pretos foram uma das cores mais frequentes, com concentrações entre 1 e 6 partículas por litro. A campanha 3 (C3) apresentou valores médios mais altos, sugerindo acúmulo ao longo do tempo ou influência de fontes pontuais. A presença de outliers indica picos isolados de concentração, possivelmente associados a descargas pontuais, condições hidrológicas específicas ou atividades humanas próximas, como áreas urbanas ou industriais.

Os MPs azuis também se destacaram, com maior mediana em C2, seguida de queda na C3, possivelmente refletindo redução no aporte de materiais domésticos, como tecidos e produtos plásticos. Vermelhos apresentaram menores concentrações (0,5–2 partículas/L), com leve aumento em C2 e poucos outliers, indicando eventos de aporte mais raros e localizados. Verdes mantiveram distribuição relativamente constante em C1 e C2, com pico localizado no Ponto 3 em julho (>7 partículas/L), sugerindo influência de fontes específicas, como atividades náuticas ou efluentes urbanos. Já os MPs transparentes mantiveram baixa e uniforme ocorrência, derivando possivelmente da fragmentação de embalagens e sacolas plásticas.

Esses resultados indicam que fibras e fragmentos são as formas mais representativas de microplásticos na foz do Rio Camboriú, refletindo fontes difusas e contínuas, como esgoto doméstico e degradação de plásticos maiores. Pellets e filmes permanecem raros e provavelmente relacionados a fontes pontuais. A predominância das cores preta e azul sugere influência de fontes urbanas contínuas e contribuição marinha, enquanto os picos de verdes, vermelhos e transparentes indicam aportes localizados e sazonais.

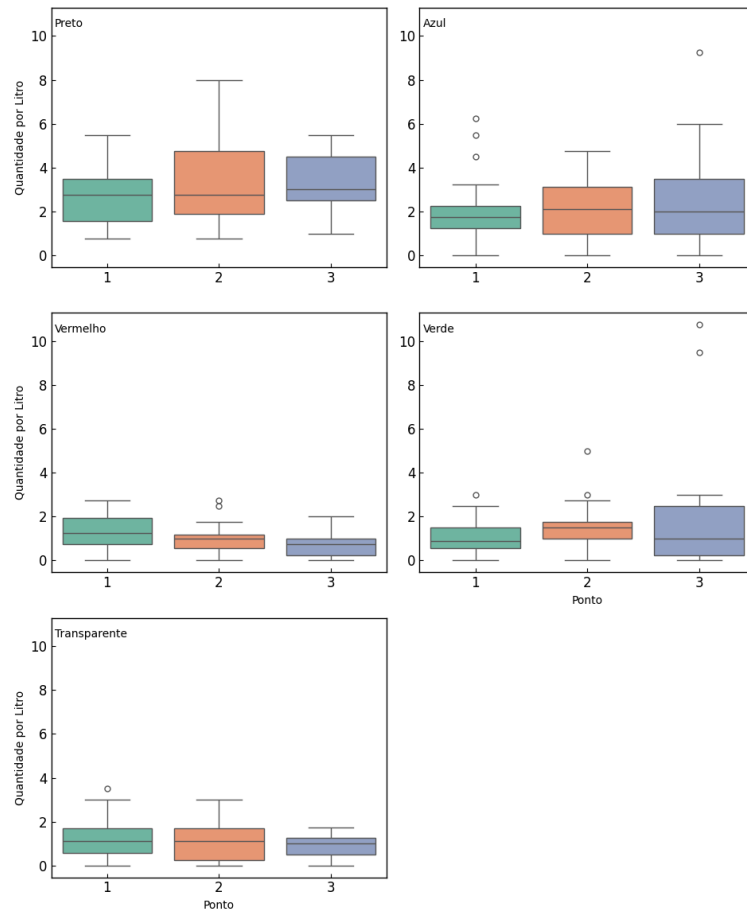


Gráfico 4 - Distribuição em Boxplot das concentrações de microplásticos (quantidade por litro) quanto à cor (preto, azul, vermelho, verde e transparente) nos três pontos amostrais.

Os MPs azuis estiveram amplamente presentes, com maior mediana em C2 e queda em C3, sugerindo redução pontual de materiais domésticos. C1 e C2 apresentaram ampla variabilidade, com outliers de até 9 partículas/L. Vermelhos registraram as menores concentrações (0,5–2 partículas/L), com leve aumento em C2 e poucos outliers, indicando aportes raros e localizados. Os Verdes mantiveram distribuição relativamente constante em C1 e C2, apresentando pico localizado, e reduziram em C3, refletindo menor aporte ou maior dispersão. Transparentes mantiveram baixa e uniforme ocorrência ao longo das campanhas, com leve queda em C3.

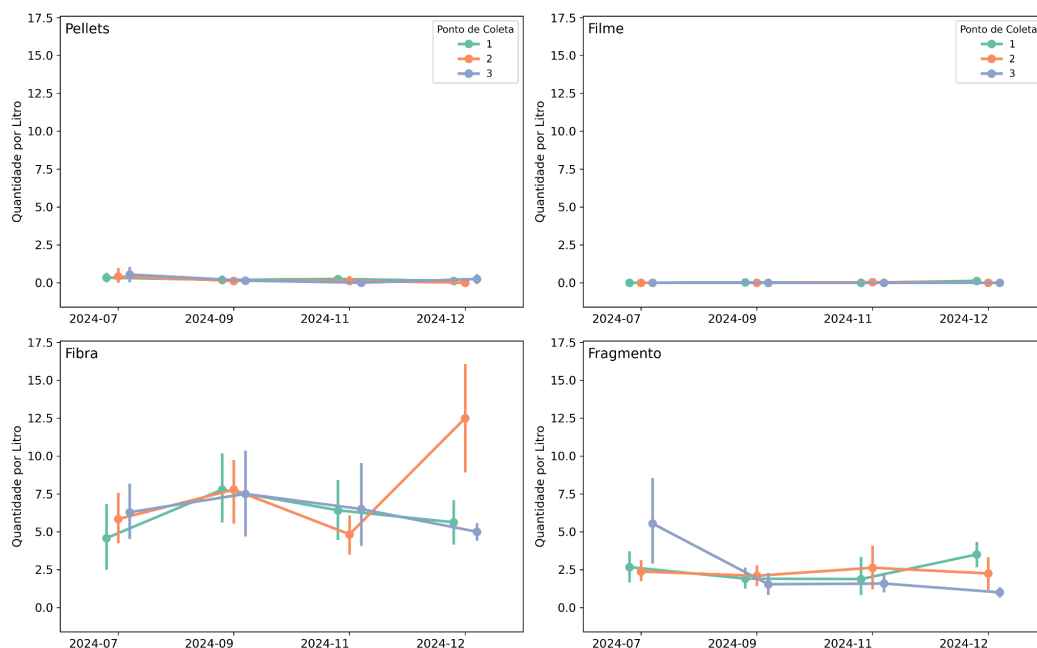


Gráfico 5 - Variação temporal da quantidade por litro de Pellets, Filme, Fibra e Fragmento entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta. As linhas representam a média observada e as barras indicam a dispersão dos dados (erro padrão).

De acordo com o Gráfico 5, pellets e filmes apresentaram baixa ocorrência ao longo de todo o período, com concentrações próximas de zero, indicando ausência de fontes industriais próximas ou rápida dispersão e sedimentação, sem aumento significativo mesmo em períodos de maior precipitação. Fibras foram as mais abundantes e variáveis, com pico em dezembro no Ponto 2 (>12 partículas/L), possivelmente associado ao aumento do fluxo turístico e ao escoamento de resíduos domésticos. Fragmentos mostraram distribuição mais homogênea; o Ponto 3 apresentou maiores valores em julho, devido a chuvas intensas, enquanto Pontos 1 e 2 mantiveram concentrações estáveis (~ 2 partículas/L), sugerindo fontes difusas e degradação contínua de plásticos maiores.

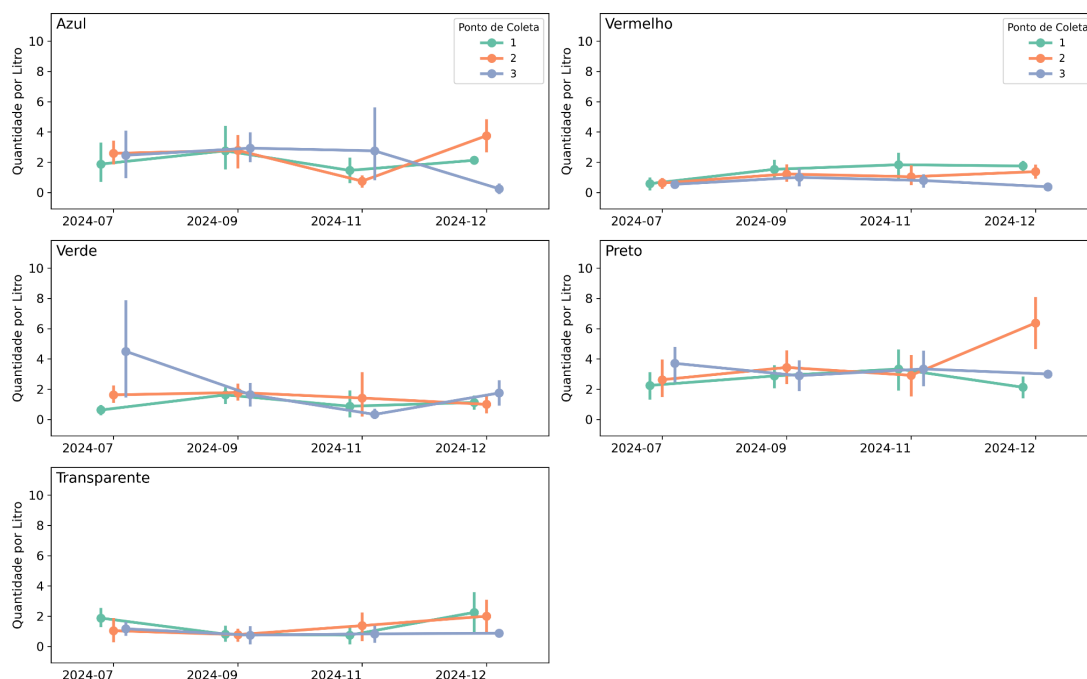


Gráfico 6 - Variação temporal da quantidade por litro de microplásticos das cores Azul, Vermelho, Verde, Preto e Transparente entre julho e dezembro de 2024, nos três pontos de coleta. As linhas indicam as médias observadas e as barras de erro representam a dispersão dos dados.

A variação temporal das cores de microplásticos, representados no gráfico 6, mostram que nos três pontos os pretos e azuis foram os mais predominantes e constantes, com picos em Ponto 2 (preto, dezembro) e Ponto 3 (azul, setembro–novembro), refletindo fontes urbanas contínuas e resíduos domésticos. Vermelhos apresentaram comportamento estável, com leve aumento ao longo do tempo (~2 partículas/L), possivelmente relacionados a cosméticos e roupas. Verdes exibiram alta variabilidade, com pico localizado no Ponto 3 em julho (>7 partículas/L), associado a aportes pontuais, como atividades náuticas ou efluentes urbanos. Transparentes mantiveram baixa concentração e distribuição uniforme, derivando de fragmentação de embalagens plásticas.

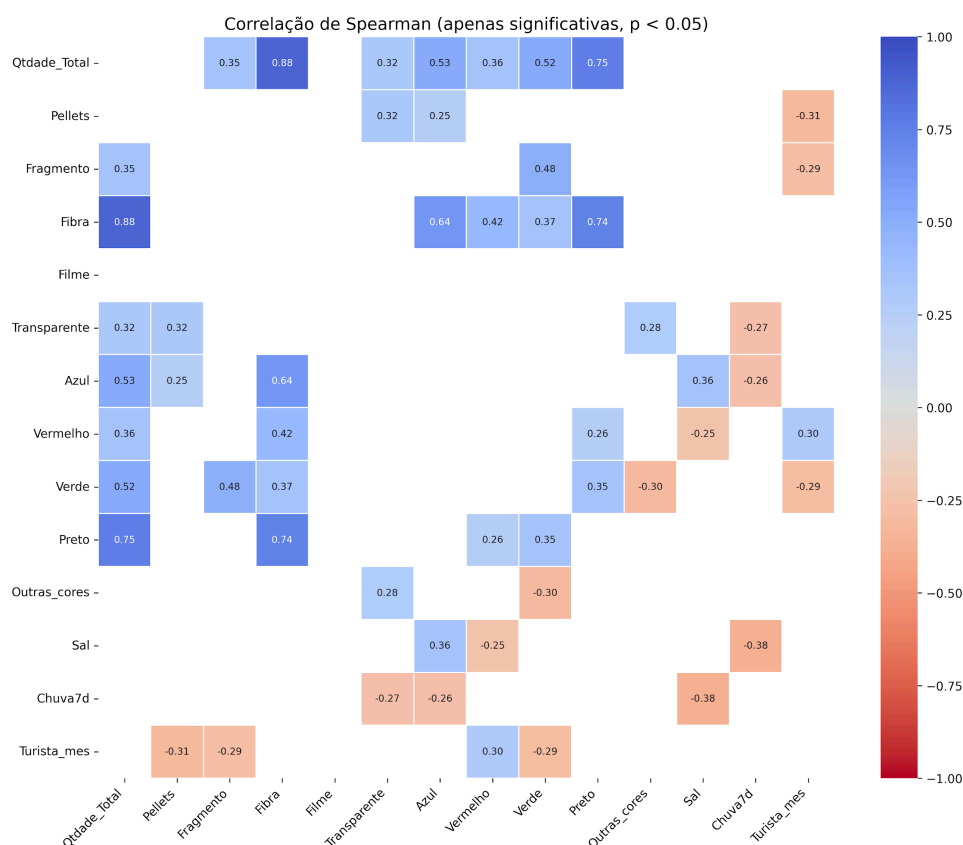


Gráfico 7 - Matriz de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre a quantidade total de microplásticos, suas diferentes formas e cores, e variáveis ambientais (salinidade, chuva e fluxo de turistas). Os valores em azul indicam correlações positivas e os valores em vermelho indicam correlações negativas, sendo a intensidade da cor proporcional à força da correlação.

A análise de correlação de Spearman representado no gráfico 7, revelou que a quantidade total de MPs está fortemente associada a fibras ($\rho = 0,88$) e positivamente relacionada a fragmentos e várias cores (preto, verde, vermelho, azul e transparente), indicando que essas formas e tonalidades predominam em amostras de maior abundância. Fibras se correlacionaram especialmente com MPs pretos, azuis, verdes e vermelhos, enquanto pellets se associaram a cores transparente e azul, e fragmentos a verdes.

Entre variáveis ambientais e antrópicas, o fluxo turístico apresentou correlação positiva com MPs vermelhos e negativa com pellets, fragmentos e verdes, sugerindo influência sazonal humana. A precipitação acumulada teve efeito negativo sobre MPs transparentes e azuis, indicando diluição ou dispersão, enquanto a salinidade correlacionou-se positivamente com azuis e negativamente com vermelhos, refletindo influência das águas marinhas e fluviais.

Esses padrões indicam que tanto as características dos MPs quanto fatores ambientais e pressão humana influenciam a distribuição espacial e temporal de microplásticos na foz do Rio Camboriú.

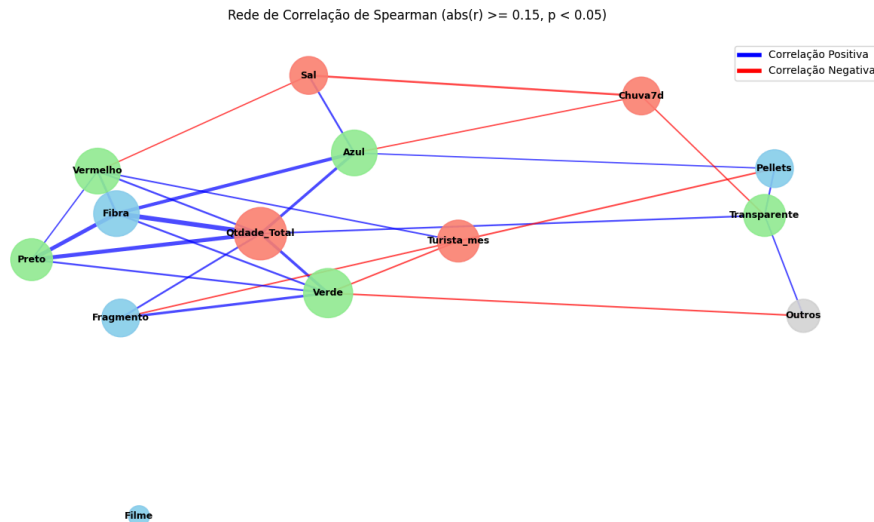


Gráfico 8 - Rede de correlação de Spearman entre variáveis ambientais e microplásticos. As linhas azuis representam correlações positivas e as linhas vermelhas, correlações negativas. O tamanho dos nós é proporcional ao número de conexões de cada variável.

O gráfico 8 apresenta a rede de correlação de Spearman ($r \geq 0,15$; $p < 0,05$), com a quantidade total de MPs e as fibras sendo nós centrais, correlacionando-se positivamente com várias cores (preto, vermelho, verde, azul, transparente). MPs pretos se associaram à vermelhos e verdes, enquanto pellets e fragmentos apresentaram correlações negativas com o fluxo de turistas. A cor azul se relacionou positivamente à salinidade e negativamente à precipitação, enquanto os vermelhos tiveram padrão inverso. O fluxo turístico influenciou o aporte de diferentes MPs, evidenciando que características físicas e cromáticas não se distribuem de forma independente, mas refletem múltiplas origens, transporte e pressões ambientais e humanas na foz do Rio Camboriú.

Recomendações

1. Fortalecimento do saneamento básico

- A predominância de fibras aponta para o esgoto doméstico como principal fonte de microplásticos. Assim, recomenda-se ampliar os investimentos em coleta e tratamento de efluentes sanitários, incluindo tecnologias específicas para retenção de microplásticos em estações de tratamento.

2. Gestão de drenagem urbana

- Considerando que eventos de chuva intensa favorecem a dispersão de MPs, é necessário implementar medidas de controle do carreamento de resíduos pela drenagem pluvial, como grades de contenção, filtros e sistemas de retenção em bocas de lobo.

3. Monitoramento contínuo

- Instituir programas de monitoramento ambiental que incluam microplásticos como parâmetro de qualidade da água em estuários e zonas costeiras. Isso permitirá acompanhar a evolução do problema e avaliar a efetividade das medidas de gestão implementadas.

4. Fiscalização e educação ambiental

- Intensificar ações de fiscalização e campanhas educativas junto a moradores, turistas e comerciantes, com foco na redução do uso de plásticos descartáveis, no descarte adequado de resíduos e no incentivo à substituição por materiais biodegradáveis.

5. Gestão do turismo sustentável

- Como o fluxo turístico se mostrou fator relevante no aporte sazonal de MPs, recomenda-se integrar estratégias de turismo sustentável à gestão ambiental do município, promovendo práticas de consumo responsável e reduzindo a geração de resíduos durante a alta temporada.

6. Integração interinstitucional

- Estimular a articulação entre órgãos ambientais, secretarias de turismo, saneamento e planejamento urbano, garantindo uma abordagem integrada

que considere as múltiplas fontes e vias de entrada dos microplásticos no sistema estuarino.

7. Apoio à pesquisa científica

- Destinar recursos para projetos que utilizem metodologias avançadas, como análises químicas de polímeros e modelagem hidrodinâmica, visando identificar com maior precisão as fontes e rotas de transporte dos microplásticos.

ANEXO C – POSTER



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

INTRODUÇÃO

Plásticos são polímeros sintéticos, versáteis e onipresentes na vida moderna, e os microplásticos são partículas ou detritos plásticos com tamanho inferior a 5 mm. A poluição por microplásticos representa uma grande ameaça ambiental contemporânea, com impactos significativos nos ecossistemas aquáticos e na saúde humana. Este trabalho buscou investigar a contaminação por microplásticos na foz do Rio Camboriú em Santa Catarina.

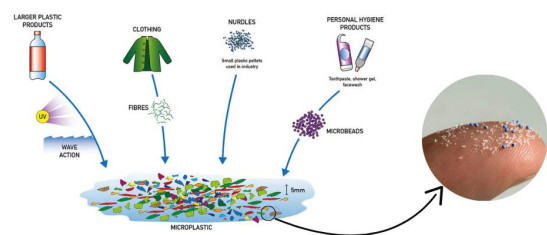


Figura 1: Fontes de microplásticos e exemplo de partículas (<5 mm).

METODOLOGIA

Amostras de água superficial do rio, em três pontos ao longo do gradiente estuarino, foram coletadas semanalmente por um período de seis meses. 4 litros de água passaram por uma sequência de peneira de (5 mm e 53 µm), com subsequente filtração em membrana (0,5 µm) do material retido. A identificação visual do microplástico por microscopia óptica (40x aumento), categorizou o microplástico quanto à forma e coloração.

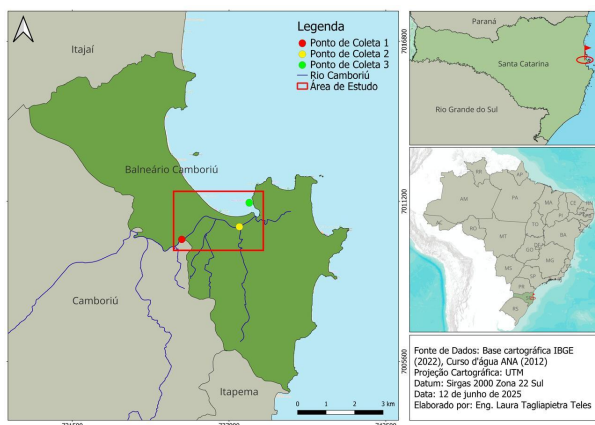


Figura 2: Localização da área de estudo com os pontos amostrais identificados.

Contaminação por Microplásticos na Água da Foz do Rio Camboriú, Santa Catarina

Laura Tagliapietra Teles^{*1}; Thiago Pereira Alves²

¹Mestranda, Mestrado Profissional em Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, laurataglia833@gmail.com

² Docente, Instituto Federal de Santa Catarina.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração média de microplásticos (MPs) foi de $9,0 \pm 3,6$ un.L⁻¹, sem diferenças significativas entre os pontos amostrados. Houve tendência de redução nos períodos de maior pluviosidade, sobretudo para as cores transparente e azul. As fibras predominaram ($6,6 \pm 3,2$ un.L⁻¹), seguidas pelos fragmentos ($2,4 \pm 1,7$ un.L⁻¹). As cores preta, azul, verde e vermelha representam 95% da ocorrência total. Fibras estiveram associadas principalmente às cores preta, azul e vermelha. Fragmentos foram, em sua maioria, verdes. O padrão cromático indica diferentes fontes para fibras e fragmentos. Fatores hidrodinâmicos e pluviométricos possivelmente influenciam o transporte e deposição dos MPs. As fibras podem estar ligadas a resíduos domésticos, industriais e turísticos. As variações sugerem relação direta com a origem e o comportamento ambiental desses poluentes.

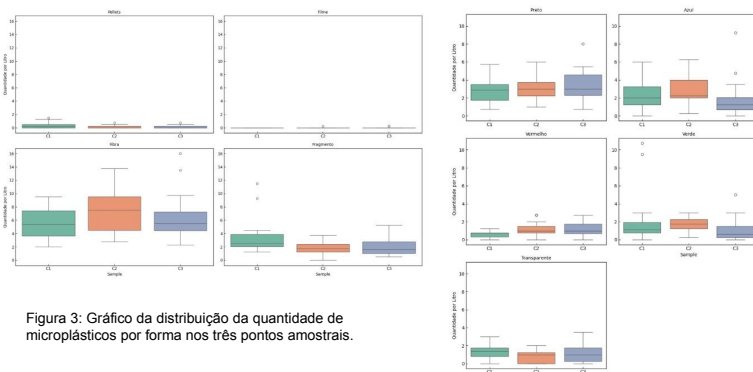


Figura 3: Gráfico da distribuição da quantidade de microplásticos por forma nos três pontos amostrais.

Figura 4: Gráfico da distribuição da quantidade de microplásticos por cor nos três pontos amostrais.

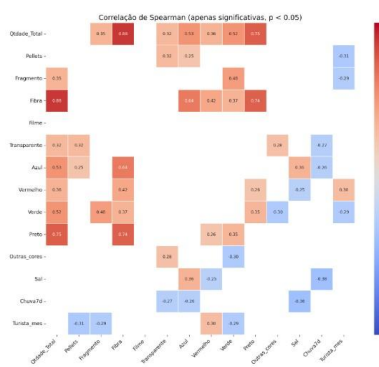
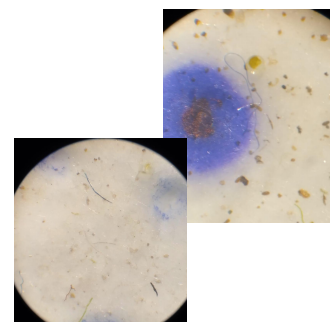


Figura 5: Matriz de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre abundância de microplásticos, morfologia, cores e variáveis ambientais.



Figuras 6: Microplásticos observados em amostras da foz do Rio Camboriú (SC).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSC pelo apoio e incentivo na realização deste projeto, que foi fundamental para o seu desenvolvimento. Também agradecemos ao CAIC Ayrton Senna pela parceria e colaboração na elaboração do Projeto Pedagógico. Estendemos nossa gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com a concretização deste trabalho.