



## **IMPLEMENTAÇÃO DO PILOTO DE MONITORAMENTO DE MICROPLÁSTICO NO LITORAL CENTRO-NORTE DE SANTA CATARINA: DOS USOS DA BACIA HIDROGRÁFICA À ELABORAÇÃO DAS DIRETRIZES PARA O PLANO DE COMBATE AO LIXO NO MAR**

### **Ana Carolina Moreira de Oliveira(1)**

Mestre em Geociências (Universidade Federal de Santa Catarina) e Pós Mestre em Oceanografia (Universidade Federal de Santa Catarina), tecnóloga em Gestão Ambiental (Universidade Leonardo da Vinci), coordenadora do projeto Our Blue Hands, monitoramento colaborativo de microplástico na zona costeira brasileira.

### **Ana Carolina Mazzuco de Azevedo(2)**

Bacharel em Ciências Biológicas e Gerenciamento Costeiro (Universidade Estadual Paulista), mestre em Biologia Marinha (Universidade Federal Fluminense) e doutora em Oceanografia (Universidade de São Paulo). Coordenadora de treinamento da COI/UNESCO-Flanders Marine Institute.

### **Bianca Reis Castaldi Tocci(3)**

Bacharel em Oceanografia e tecnóloga em Gestão Ambiental. Mestre em Ciências - Oceanografia Biológica (IO – USP). Doutoranda em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Vice-presidente e cofundadora da ONG Deep Blue Associação Ambiental. Analista ambiental, Consultora técnico-científica e especialista em ecologia e taxonomia do fitoplâncton.

### **Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca(4)**

Doutora em Oceanografia Química e Geológica, Professora Associada da Coordenadoria Especial em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina, vinculada aos Cursos de Graduação em Oceanografia e de Pós-Graduação em Geografia e Oceanografia.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Coruja Dourada, 829 - Campeche- Florianópolis – Santa Catarina - CEP: 88066035 - Brasil - Tel: +55 (48) 99937-2028- e-mail: gestorambiental.carolina@gmail.com

## **RESUMO**

A poluição marinha é um dos problemas mais desafiantes atualmente enfrentados no Oceano, para o qual não existe uma solução simples. Devido às inúmeras fontes, combater essa poluição requer sinergia entre os diversos setores da sociedade para a construção de um novo paradigma de sustentabilidade para os habitats marinhos e costeiros. Este trabalho apresenta os passos e resultados da implementação de um monitoramento de microplástico baseado em Ciência Cidadã no litoral centro-norte de Santa Catarina. O projeto utiliza uma metodologia padronizada unificada de baixo custo para coleta e análise dos dados visando quantificar a ocorrência e níveis de poluição por micro e mesoplástico em praias, associada à avaliação integrada de impacto, treinamento e educação ambiental. Durante as amostragens foram encontrados em abundância microplásticos primários principalmente no setor centro norte das praias pesquisadas e poliestireno expandido (Isopor) em praias próximas a atividades portuárias e pesqueiras. Os maiores índices de microplástico foram registrados durante os meses com maior índice pluviométricos seguidos de uma diminuição durante os eventos de alta energia de ondas. Os resultados obtidos demonstram a aplicabilidade do projeto como ferramenta de mobilização local e regional e a sua eficiência na geração de indicadores de qualidade ambiental para subsidiar políticas públicas .

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento; Microplástico; Co-design; Políticas-públicas.

## **INTRODUÇÃO**

A ocorrência de resíduos plásticos no oceano e nas zonas costeiras é frequente, generalizada e escandalosa. De acordo com um censo preliminar de lixo marinho (TURRA et al, 2020), cerca de 8 milhões de toneladas de plástico são lançadas anualmente em rios e mares, sendo a maior parte produzida por nações mais populosas,

como Brasil e China. O volumoso descarte do plástico como lixo ou resíduo tem enfrentado problemas de resolução por diversas nações, uma vez que as taxas de produção são muito maiores do que reciclagem, e uma parte significativa do que é descartado não chega aos aterros e acaba acumulada nos ambientes marinhos (SARAFRAZ et al., 2016). O Brasil, por exemplo, recicla anualmente apenas 4% do plástico descartado (ABRELPE; INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION), os Estados Unidos apenas 9% e a Europa 29% (WORLDWATCH INSTITUTE, 2015). Com isso, estima-se que atualmente existam de 75 a 200 milhões de toneladas de plástico entrem nos oceanos.

Resíduos plásticos são frequentemente vistos depositados nas praias ao longo da costa brasileira, desde áreas populosas até ambientes desertos e selvagens. Cenas alarmantes como essas evidenciam que, mesmo sem a presença de assentamentos humanos, suas pegadas em termos de lixo marinho estão presentes. A dispersão desse resíduo é potencializada por inúmeros fatores ambientais como correntes costeiras (e.g., KIM et al., 2015), tempestades e ciclones (e.g., LIUBARTSEVA et al., 2016; SADRI e THOMPSON, 2014;), regime de vento e ondas (BROWNE et al., 2010a; KUKULKA et al., 2012; THIEL et al., al., 2013) e hidrodinâmica de rios (BESSELING et al, 2017), responsáveis por regular a distribuição, abundância e ocorrência do plástico na zona costeira. Além do impacto visual, os resíduos plásticos podem acumular substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (PBTs) que estão presentes nos oceanos de outras fontes, como PCBs, PAHs, DDTs e HCHs (MATO et al., 2001; OGATA et al., 2009). Somados ao problema estão os componentes antropogênicos como a produção, descarte e atividades econômicas potencialmente poluidoras, que intensificam as pressões ambientais sobre os ecossistemas (FAUZIAH et al., 2015). Além da acumulação dos resíduos sólidos nos compartimentos costeiros e marinhos, a fragmentação em consequência do intemperismo é o que torna o microplástico, por exemplo, tão onipresente (GESAMP,2013), tornando o desafio da contenção, prevenção e limpeza ainda mais desafiador. Uma das qualidades do plástico é a durabilidade do material e também um dos maiores problemas, pois o comportamento do plástico em ambientes marinhos ainda é essencialmente desconhecido, porém experimentos controlados em laboratório demonstram que a fragmentação ocorre quando o plástico está em estágio avançado de degradação e fragilização (ANDRADY, 2011). A persistência do resíduo no ambiente marinho o expõe a condições climáticas que aceleram a sua fragmentação impactando a biodiversidade marinha e a saúde do ecossistema. Existe um conjunto de informações que podem ser recolhidas pelas inúmeras redes de voluntários e cientistas e podem contribuir para compor o diagnóstico na zona costeira, apoiando significativamente a gestão pública. Entende-se que a ampliação da rede global de monitoramento de plástico requer uma sinergia entre os diversos setores e populações envolvidas, com a construção colaborativa de planos locais e regionais.

Atualmente, diversas iniciativas globais e nacionais se dedicam a construir um sistema de informação sobre lixo marinho em grande escala, para compreender a magnitude dos seus impactos e orientar ações de mitigação (e.g. Parceria Global sobre Lixo Marinho, Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana Brasileira). Estas iniciativas destacam que a comunicação ambiental e a difusão científica são fundamentais para combater essa poluição, e, portanto, atingir as metas de um mundo mais sustentável conforme informa a Agenda 2030 da Década da Ciência Oceânica.

Projetos que atuam na divulgação do uso de protocolos de Ciência Cidadã como ferramentas de conscientização conseguem envolver a comunidade nos processos de geração de informação, além de estimular o senso de pertencimento e o empoderamento (OECD, 2017). Acessar e prever mudanças na saúde dos oceanos de escala local para global é uma alta prioridade de pesquisa e um pedido urgente das comunidades globais (IOC, 2020). Vários observatórios marinhos estão incorporando métricas de poluição marinha aos seus atuais programas de monitoramento ambiental para atender às necessidades de várias partes interessadas. Diante disso, a capacitação de redes e a disseminação de protocolos fáceis de replicação despontam como soluções eficientes para avaliar áreas costeiras em grande escala e com alta resolução temporal, como é o caso da Zona Costeira Brasileira. Espera-se que com o auxílio dessas redes de monitoramento possamos melhorar e agilizar a coleta de dados oceânicos e costeiros.

A ciência cidadã deu voz a um movimento que existe há décadas, em que grupos locais e tradicionais se responsabilizavam pela gestão sustentável dos ambientes em que vivem. São esses povos e comunidades tradicionais que conhecem profundamente os aspectos ambientais locais, o que tende a ser muito benéfico para a gestão e monitoramento da zona costeira (SILVA SOUZA et al., 2020). Dessa forma, a capacitação dessa rede é uma oportunidade de realocar as soluções baseadas na natureza, produzir um elo de engajamento entre

ciência e comunidade, além de representar uma inovação e ser passível de ser replicado por mais pessoas em qualquer ponto do mundo.

## ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO PILOTO PARA O MONITORAMENTO DE MICROPLÁSTICO (PROJETO OUR BLUE HANDS)

O projeto piloto Construindo as Bases para o Monitoramento Colaborativo de Microplástico (Projeto OUR BLUE HANDS) prevê três fases:

Primeira fase focada no eixo engajamento, comunicação e capacitação de uma rede de colaboradores; a segunda fase para aquisição e gerenciamento de dados; e a terceira fase na transformação da informação em indicadores e aplicação para diagnóstico ambiental e tomada de decisão. As iniciativas piloto implementadas sugerem três meses de monitoramentos quinzenais para fornecer uma quantidade adequada de dados para uma identificação inicial de fatores ambientais e antropogênicos e construção de uma linha de base para um monitoramento mais longo.

O projeto é construído sobre cinco planos de ações principais: 1) Treinamento – Rede de monitoramento que prevê a criação de espaço para troca de conhecimento e nivelamento do mesmo, por meio de cursos, momentos de compartilhamento de experiências teóricas e práticas e a construção de uma base segura para a implantação de um projeto piloto; 2) Aquisição de dados – monitoramento onde as equipes realizam a amostragem para medir abundância, ocorrência e distribuição de micro e meso plásticos em habitats marinhos durante um período determinado, a fim de fornecer informações suficientes para responder a perguntas básicas sobre poluição marinha em determinados ambientes.; 3) Curadoria e Controle de Qualidade – Atividades de apoio à gestão de dados, como organização, formatação, curadoria e controle de qualidade após a aquisição para criação de um banco de dados obtidos no monitoramento que alimenta procedimentos analíticos para geração de informações; 4- Transformação da Informação onde através de ferramentas estatísticas e de visualização baseadas na ciência há a transformação de dados em indicadores de poluição e qualidade ambiental que podem ser reproduzidas em ações ambientais, infográficos e relatorias, e ainda permitem a adaptação local e comparabilidade global; 5- Tomada de Decisões- Discussão dos resultados com a rede de colaboradores e representantes do poder público, com a aplicação das informações gerada pelo projeto para identificação de fonte, exposição e impacto potencial de micro e meso plásticos para criação colaborativa de uma linha de base a definir parâmetros-chaves para gerenciamento e conservação dos habitats e locais monitorados.

Dentre as ações importantes para a realização do monitoramento piloto está a articulação e capacitação da rede de colaboradores e demais setores interessados que representam um papel importante nos pontos de amostragem, seja na responsabilidade social, amparo a pesquisa, uso direto e indireto dos recursos fornecidos pelo ambiente costeiro marinho, desenvolvimento de atividades econômicas e órgãos de proteção ao meio ambiente. Todos esses atores interconectados possibilitam um canal de comunicação que consolidado se torna eficiente na divulgação de ações e informações. O objetivo principal das atividades de capacitação é garantir que a rede de colaboradores disponha do mínimo de informações sobre o projeto, seu histórico, a metodologia de monitoramento e os fluxos de dados. As atividades presenciais são otimizadas para aumentar a padronização dos protocolos e processos, criar uma base segura e confiável entre os pontos focais, garantir que os esforços voluntários forneçam dados confiáveis e aplicáveis, e que a rede esteja preparada para apoiar a futuras ações de gestão e formulação de políticas públicas, através das trocas e compartilhamentos entre os diferentes núcleos da sociedade.

O Projeto Our Blue Hands vem capacitando redes colaborativas e coletando dados sobre o microplástico na zona costeira sul e sudeste do Brasil e em ilhas desde 2020. Durante os últimos dois anos, o projeto alcançou resultados importantes em relação ao mapeamento de pressões ambientais por poluição plástica, parcerias e colaborações, expansão e aquisição de dados em diferentes pontos do litoral nacional ( Santa Catarina e São Paulo) e internacional (Cabo Verde, África). Suas ações promovem a disseminação de melhores práticas na observação do oceano focadas na obtenção de indicadores para subsidiar ações de manejo e conservação, além da elaboração de produtos técnico-científicos para compartilhamento amplo de informações e conhecimento com diversos setores da sociedade. O projeto foi contemplado com premiações de diferentes organizações como apoio ao trabalho desenvolvido (e.i., grants do Laboratório de Aceleração UNDP em 2021, do Global

Island Partnership em 2022 e Experiment em 2023), além do selo de Ação Oficial da Década dos Oceanos pela UNESCO.

## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a presença de micro e mesoplástico em praias arenosas de Florianópolis e Itajaí, e fundamentar a gestão de dados para uma rede de monitoramento de longo prazo e apresenta os resultados científicos parciais obtidos até final de junho de 2022.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O monitoramento foi realizado em seis praias do litoral centro-norte de Santa Catarina, região subtropical localizada na costa sudeste do Brasil (Fig. 1) entre 2021 e 2022. Os locais de amostragem foram distribuídos ao longo de uma grande ilha costeira na cidade de Florianópolis, totalizando três praias da Ilha de Santa Catarina (ISC) e três praias do município de Itajaí, distantes 99,3 km da capital. Esses pontos amostrais possuem variados níveis de urbanização, acessibilidade, paisagem do entorno e intensidade de ventos e correntes. Esta região experimenta muita variação nos regimes de ondas e ventos entre duas estações, com condições mais fortes no outono e inverno quando as frentes frias e ciclones extratropicais passam pela costa (MONTEIRO & FURTADO, 1995; PIANCA et al., 2010). Além disso, Itajaí é uma área altamente urbanizada com grandes instalações portuárias (2º maior do Brasil) localizada na foz de um importante estuário (Itajaí-Açu, 15 km<sup>2</sup> de drenagem, a maior bacia hidrográfica do Estado. Em ambas regiões existem várias comunidades tradicionais de pesca que contribuem para a vigilância ambiental e governança da área. Estas praias permanecem fechadas para a prática de desportos náuticos durante o período de pesca da Tainha (maio a julho), uma espécie migratória popular e de extrema importância para as tradições culturais e socioeconômicas locais.

**Tabela 1: Áreas amostradas na Ilha de Santa Catarina e Itajaí, extensão das praias em quilômetros, características morfológicas (RIBEIRO, 2014), ondulações significativas e exposição a ventos.**

Sítio Amostrado	Extensão da Praia (km)	Característica morfológica	Ondulações	Ventos
Praia do Moçambique (meio)	8,5	Intermediária	Todas ondulações, especialmente S/SE.	Exposto a todas direções
Praia do Moçambique (Canto das Aranhas)	8,5	Dissipativa	Ondulações de S/SE	Protegido do vento N/NE Exposto ao vento S/SE
Praia dos Ingleses	4,8	Refletiva	Leste	exposta ao vento N/NE
Praia do Santinho	2,0	Intermediária	S/SE	exposta ao vento S
Ilha do Campeche		Intermediária		
Praia do Atalaia		Dissipativa	Sul e Leste	

Praia Brava	3,0	Intermediária	Todas as ondulações, especialmente Leste
Praia de Cabeçudas	< 1,0	Refletiva	

### Amostragem de microplástico em sedimento arenoso

O protocolo de monitoramento realizado em praias arenosas de Florianópolis e Itajaí adquiriu dados por amostragem in situ, que consistiu em peneirar areia ao longo de uma área padronizada da praia (transecto de 25m) procurando fragmentos micro e mesoplásticos. Ao longo de cada transecção, áreas menores foram definidas como amostras de areia (1m<sup>2</sup>, n = 5). O protocolo foi replicado aproximadamente a cada 15 dias em diferentes locais costeiros, fornecendo [5 a 7 eventos] de amostragem (um teste em novembro de 2020 e monitoramento contínuo de fevereiro de 2021 a dezembro de 2021). Um dos locais (Atalaia) foi monitorado apenas uma vez. Os fragmentos encontrados em cada quadrante foram separados em micro ou mesoplásticos com base no tamanho, conforme malha da peneira e/ou medidas manuais. Os resíduos plásticos podem ser categorizados por tamanho como macrolásticos (>5 mm), microplásticos grandes (1–5 mm), microplásticos (1µm–1 mm) e nanoplásticos (<1 µm) (ISO/TR 21960:2020) e também podem ser classificados como primários ou secundários. Correspondendo então a nurdles (nurdles redondos/esféricos, nurdles cilíndricos, nurdles em forma de cubo, nurdles em forma de disco e outros nurdles) ou microplásticos secundários (poliestireno expandido EPS e outros). Os mesoplásticos foram divididos em EPS, fragmentos ou outros tipos. Outros, tanto para microplásticos secundários quanto para mesoplásticos, podem ser fibra, filme, espuma ou borracha. O protocolo de monitoramento completo está publicado em acesso aberto no repositório do Ocean Best Practices System (OBPS-UNESCO) (Our Blue Hands, 2021), e as referências correspondentes das quais foi adaptado são citadas no texto.

### Estratégia de gestão e análise de dados

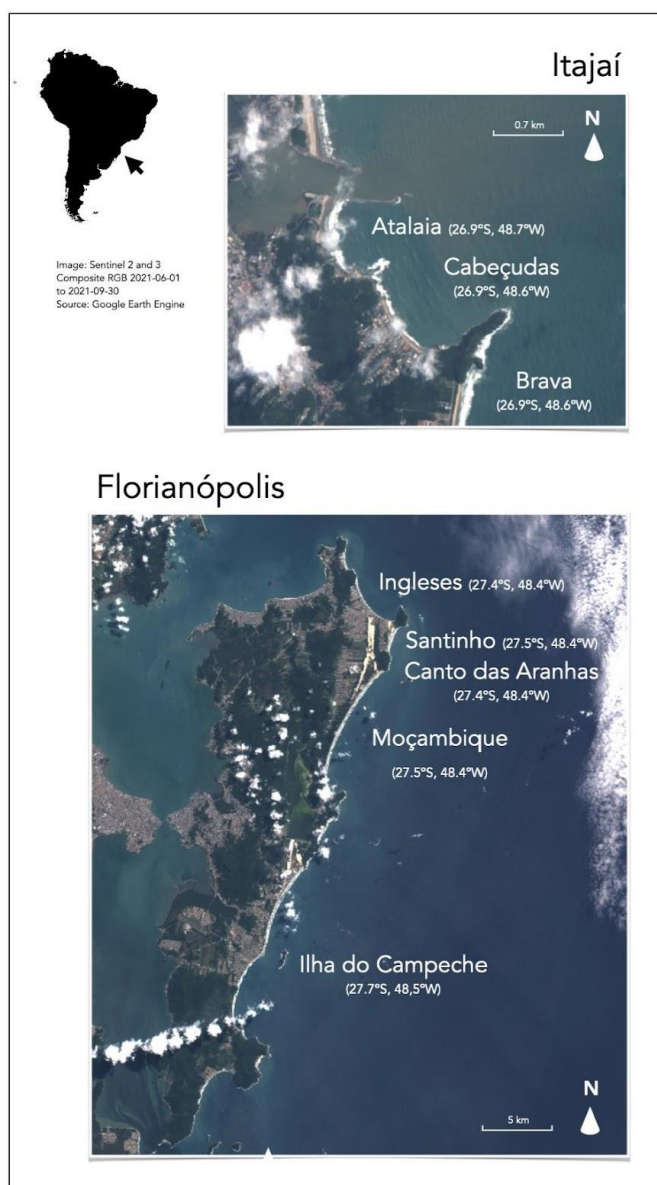
O fluxo de dados segue as seguintes etapas do “campo à nuvem”: (1) aquisição, através das amostragens em campo (plástico) e sensoriamento remoto (variáveis ambientais); (2) curadoria e controle de qualidade, com a organização adaptadas aos sistemas de análise e objetivos do projeto; (3) padronização, para o vocabulário e normas adequadas a cada variável; (4) armazenamento no repositório interno e compartilhamento entre os participantes através da plataforma Google; (5) análise e relatoria; (6) publicação dos resultados em mídias digitais e revistas científicas; (7) preparação e envio dos dados e documentação aos repositórios nacionais e globais de acesso aberto (Ocean Best Practices IOC-UNESCO; Global Partnership on Marine Litter).

Os dados obtidos nos monitoramentos de micro e mesoplástico forneceram as seguintes variáveis resposta: 1. Registro, o número de ocorrências observadas nos monitoramentos, consideradas como registros únicos para as diferentes categorizações (tipo, formato e cor); 2. Abundância, quantidade de fragmentos encontrados por transecto ou por quadrado dependendo de como foi realizada a amostragem; 3. Composição do resíduo, considerando a matriz multivariada da abundância para todas as categorias de forma conjunta. Utilizamos dois tipos de unidades amostrais transecto (um por campanha, n = 3 a 5 dependendo da praia) ou quadrado (n= 5, por transecto por campanha), sendo que as análises comparativas foram realizadas sempre incluindo a mesma unidade amostral.

As diferenças entre praias e entre campanhas foram avaliadas através análise de variância (ANOVA; Underwood, 1997) para registro e abundância, e por análise de variância permutacional multivariada (PERMANOVA; ANDERSON, 2014) para composição do resíduo. As análises testaram os fatores separadamente já que a diferença no número de unidades amostrais e replicações do monitoramento ainda não permite avaliações hierárquicas multinível para ANOVA e PERMANOVA. Os contrastes específicos foram identificados com testes à posteriori de Tukey (TUKEY, 1977) e PERMANOVA pareada (ANDERSON, 2014). Os dados foram transformados (log x+1; raiz quadrada) quando necessário para cumprir as premissas das análises (i.e., normalidade e homocedasticidade na ANOVA; linearidade e valores nulos na

PERMANOVA). O processamento gráfico e analítico foi realizado Numbers (Apple Inc.) para gráficos e ambiente R (R core team 2022) para estatísticas.

**Figura 1: Localização geográfica e coordenadas dos pontos amostrais das praias de Itajaí (Atalaia, Cabeçudas e Praia Brava) e da Ilha de Santa Catarina (Moçambique, Ingleses, Santinho e Ilha do Campeche).**



Fonte: Mapa Elaborado por Mazzuco, ACA, 2022.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## EVENTOS E OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICO NO LITORAL CENTRO-NORTE DE FLORIANÓPOLIS

Foram registradas 589 ocorrências de microplástico e mesoplástico em 28 campanhas de monitoramento no litoral centro norte. Um total de 2422 unidades desses plásticos foram encontradas nas 8 praias monitoradas, com uma média de 70 unidades por campanha amostral (Tabela 1).

A abundância total de micro e mesoplástico é distinta entre as praias monitoradas ( $F = 8.1$ ,  $p = 0.0002$ ; Fig. 2, Tabelas 2). Esta variabilidade é marcadamente maior nas praias de Florianópolis, principalmente Santinho e Canto das Aranhas onde foi encontrada maior quantidade de plástico se comparada às demais ( $p < 0.05$ ; Tabela 1 e S1). Não foi possível detectar diferenças significativas no número de registros entre os sítios ( $F = 2.1$ ,  $p = 0.104$ ; Fig. 2, Tabela 2). Em relação a Composição do micro e mesoplástico encontradas nas praias monitoradas, foram encontrados 88 % de microplástico primário (resina virgem do plástico = pellets), seguido pelo mesoplástico (82%) considerados fragmentos quebrados até 25mm de outros plásticos maiores.

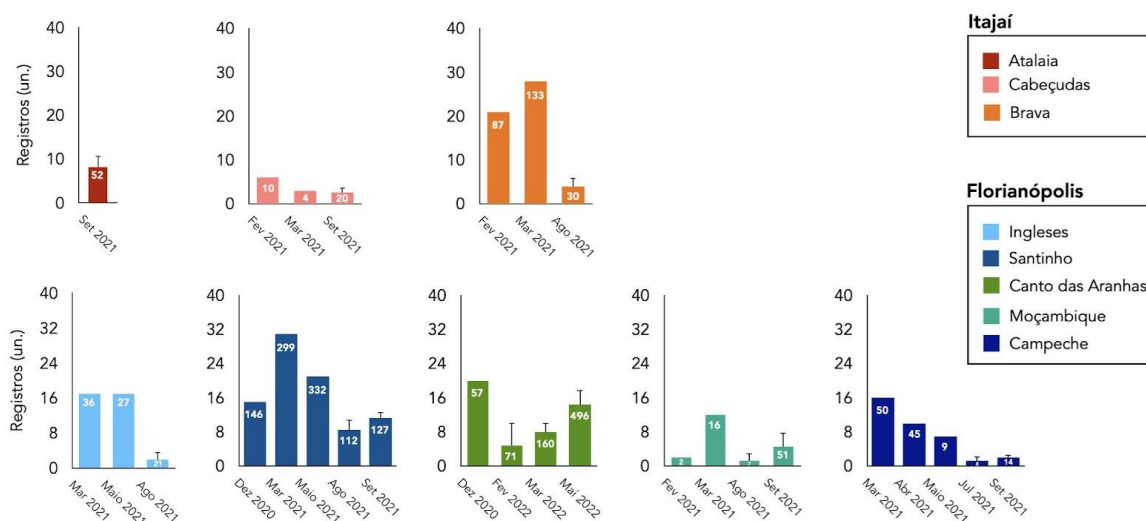
A categoria microplásticos secundários representou 80% do material encontrado de até 5mm. No total de coletas em 20% foram encontrados isopor e em menor escala filamentos, cordas e outros tipos de material como EVA. Na comparação da presença de plástico entre as campanhas, utilizando unidades amostrais menores (quadrados 10 cm), foram observados contrastes no número de registros e abundância em Canto das Aranhas e abundância em Moçambique ( $p < 0.05$ ; Tabela 3). Em Canto das Aranhas a maior diferença foi observada na campanha de maio de 2022 (vs. fevereiro e março de 2022), com alto registro de microplástico e quantidade total de aproximadamente 500 fragmentos. Em Moçambique, foi observada maior abundância de microplástico em setembro de 2021 (vs. agosto de 2021).

Nas campanhas por praia em Itajaí, as praias do Atalaia, Brava e Cabeçudas apresentaram 100% de mesoplástico (plásticos de 5 a 25 mm) durante as campanhas de amostragem. O microplástico primário foi encontrado em maior abundância na praia Brava (83%), seguidos por Atalaia e Cabeçudas com diferentes tipos de formatos de pellets (diferença de uso para formação de produtos com alta ou baixa densidade de plástico). Para materiais de Isopor, a praia de Cabeçudas registrou os maiores números com 74% enquanto a praia Brava registrou maior presença de múltiplos materiais, 93% de microplástico secundário ou fragmentos de múltiplos materiais plásticos.

**Tabela 1. Sumário dos registros de micro e mesoplástico obtidos nas campanhas de monitoramento do projeto Our Blue Hands, em Itajaí e Florianópolis 2020 e 2022. Nota: un. referência à unidade.**

País	Estado/Província	Praia	Campanhas (un.)	Registros (un.)	Fragmentos (un.)	Fragmentos por campanha (média)
Brasil	Santa Catarina	Santinho	5	165	1016	203,2
Brasil	Santa Catarina	Canto das Aranhas	4	156	784	196
Brasil	Santa Catarina	Moçambique	4	43	76	19
Brasil	Santa Catarina	Cabeçudas	3	22	34	11,3
Brasil	Santa Catarina	Praia Brava	3	69	250	83,3
Brasil	Santa Catarina	Ingleses	3	44	84	28,0
Brasil	Santa Catarina	Ilha do Campeche	5	49	126	25,2
Brasil	Santa Catarina	Atalaia	1	41	52	-

**Figura 2. Variação número de registros e abundância total (por transecto) de micro e mesoplástico encontrados nas praias durante as campanhas de amostragem.**



Fonte: Elaborado por Mazzuco, ACA.

**Tabela 2. Resultados das ANOVAs e PERMANOVAs comparando a variabilidade no registro, abundância e composição de micro e mesoplástico entre praias, utilizando campanha como unidade amostral. Nota: Atalaia não foi incluída nesta análise pela ausência de repetições das campanhas; gl para graus de liberdade; SQ para soma dos quadrados; QM para quadrado médio; F para estatística; abundância transformada para  $\log x+1$ . Os resultados significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados\*.**

Registro	gl	SQ	QM	F	p
Sítio	6	706.7	117.8	2.1	0.104
Resíduo	20	1143.0	57.5		
Abundância	gl	SQ	QM	F	p
Sítio	6	32.5	5.4	8.1	0.0002*
Resíduo	20	13.3	0.7		
Composição	gl	SQ	QM	F	p
Sítio	6	1.7	0.3	1.7	0.02*
Resíduo	20	3.4	0.2		
Total	26	5.1			

**Tabela 3. Resultados das ANOVAs e PERMANOVAs comparando a variabilidade no registro, abundância e composição de micro e mesoplástico entre campanhas de monitoramento, utilizando quadrado como unidade amostral para as praias Santinho, Canto das Aranhas, Moçambique e**





**Campeche.** Nota: gl para graus de liberdade; SQ para soma dos quadrados; QM para quadrado médio; F para estatística; abundância transformada para log x+1. Os resultados significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados\*.

Santinho						Canto das Aranhas					
registro	gl	SQ	QM	F	p	gl	SQ	QM	F	p	
Sítio	1	19.6	19.6	4.6	0.064	2	238.9	119.5	7.9	0.0063*	
Resíduo	8	34.0	4.25			12	180.0	15.0			

Moçambique						Campeche					
registro	gl	SQ	QM	F	p	gl	SQ	QM	F	p	
Sítio	1	28.9	28.9	4.3	0.0723	1	1.6	1.6	1.8	0.207	
Resíduo	8	54.0	6.8			8	6.8	0.8			

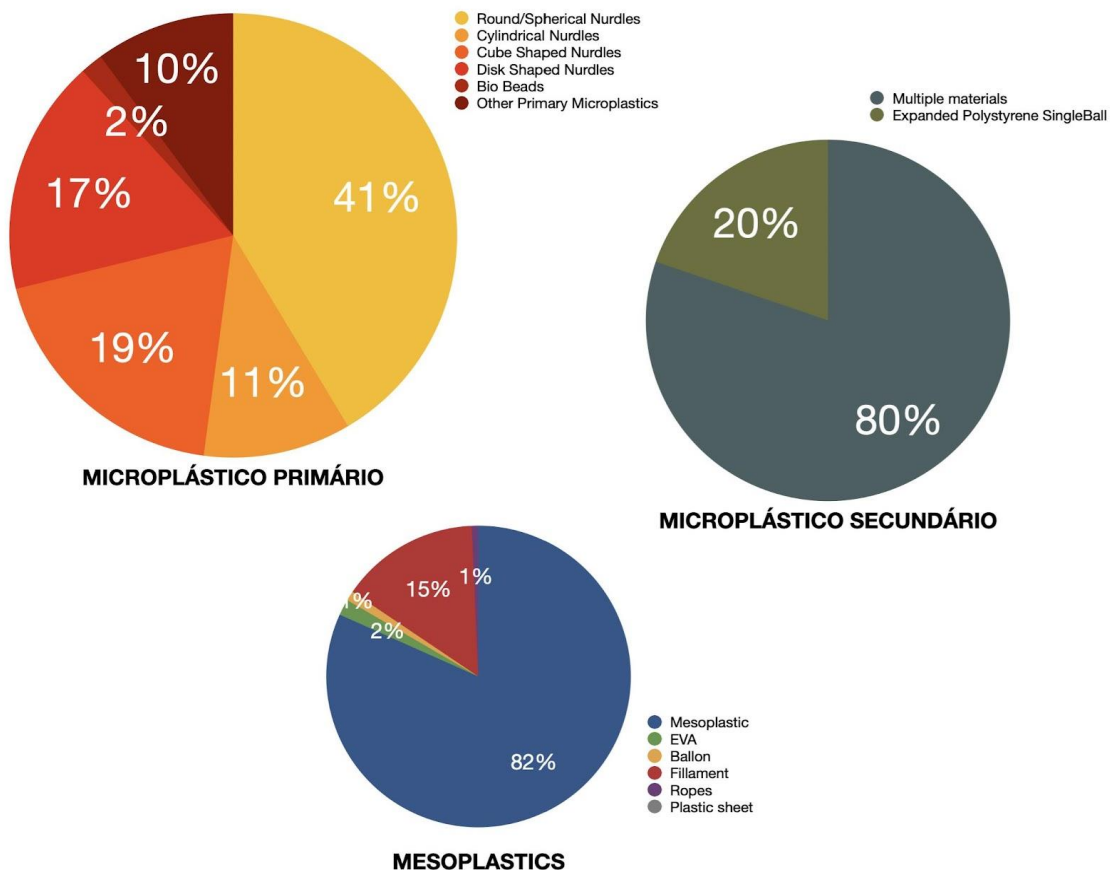
  

abundância						abundância					
registro	gl	SQ	QM	F	p	gl	SQ	QM	F	p	
Sítio	1	22.5	22.5	0.1	0.747	2	20096	10048	12.5	0.0012*	
Resíduo	8	1616.4	202.1			12	9646	804			

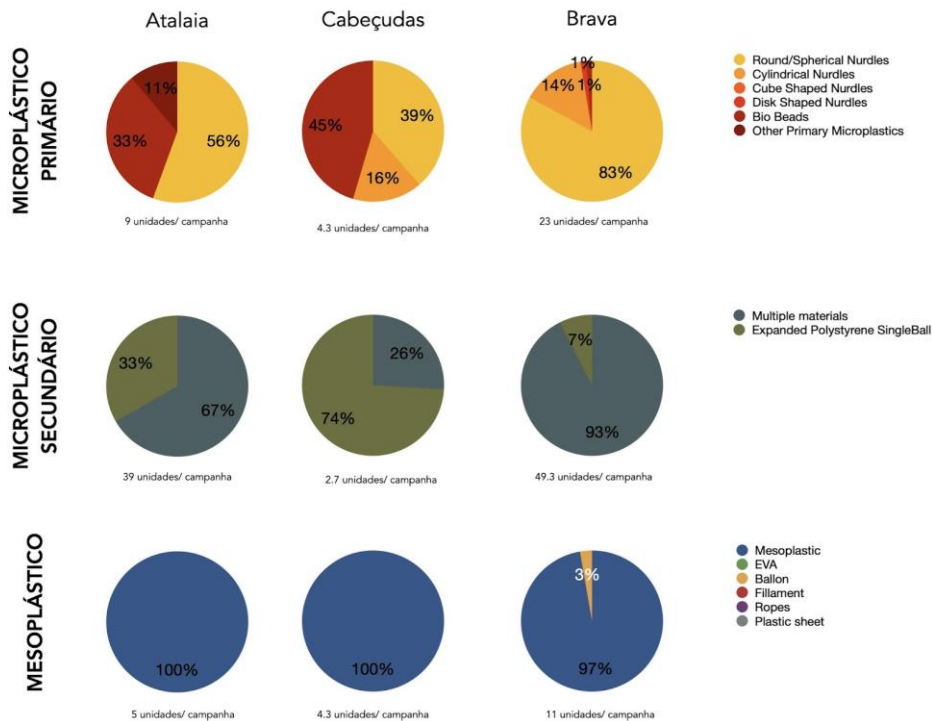
abundância						abundância					
registro	gl	SQ	QM	F	p	gl	SQ	QM	F	p	
Sítio	1	193.6	193.6	4.9	0.0501*	1	3.6	3.6	2.1	0.189	
Resíduo	8	310.0	38.7			8	14.0	1.7			

**Figura 3. Composição do micro e mesoplástico encontradas nas praias monitoradas. % relativas calculadas em relação do total encontrado somando todas as campanhas de monitoramento.**



Fonte: Elaborado por Mazzuco, ACA.

**Figura 4. Composição do micro e mesoplástico encontradas nas praias de Itajaí. % relativas referentes às médias por campanha. Valor destacado referente a médias por categoria por campanha.**



## ANÁLISE CRÍTICA

A maioria do microplástico registrado no ambiente costeiro na Ilha de Santa Catarina é classificado como microplástico primário, principalmente pelos pellets. O Estado de Santa Catarina é o segundo maior polo produtor de plástico do Brasil e responde por 11% da transformação do produto plástico. No ano de 2020 foram processadas até 1.078 mil toneladas de produtos plásticos processados. As sub-regiões do Estado dividem-se na sua especialidade, o Sul é responsável pelos descartáveis, o Oeste em embalagens e o Norte em construção civil e peças. Além da alta atividade no 1º setor, o Estado abriga 6 portos, sendo os mais próximos da região de amostragem, Itajaí, Imbituba e Navegantes, todos eles atuam com operações comerciais e equipados para receber todos os tipos de cargas. Portanto, a surpresa não foi tão grande quando registramos microplásticos primários amplamente abundantes na zona costeira do litoral catarinense. Apesar de não ser o produtor da resina em si, o estado opera em alta intensidade de atividades na transformação de plástico, recebendo o pellet via portos. O manuseio responsável e transporte são dois fatores chaves para conter grande parte da dispersão da resina no ambiente aquático e costeiro. As praias do Santinho e Canto das Aranhas apresentaram maior variabilidade de tipos de microplástico primário em relação às outras praias, ambas localizadas no canto norte, o que sugere uma dinâmica de corrente de deriva de sul e sudeste com padrão acumulativo nessas praias.

No município de Itajaí, o microplástico primário foi evidenciado nas três praias amostradas, porém percebemos uma diferença na composição dos resíduos entre praias expostas a todas as ondulações e praias mais protegidas. A Praia Brava registrou em abundância microplástico secundário (fragmentos e outros múltiplos materiais) enquanto que Cabeçudas registrou 80% de abundância em poliestireno expandido (isopor). Este material é muito utilizado em atividades pesqueiras, construção civil, pelas indústrias de embalagens, atualmente são consumidos no Brasil 36,6 mil toneladas por ano e o maior problema de reciclagem do mesmo é a variabilidade econômica, ocupar muito espaço e ser muito leve o que dificulta a recolha por cooperativas e catadores (AMBROSI, 2009).

O microplástico é consequência direta do aumento da presença do plástico nos ambientes marinho costeiros, seja pelos efeitos ambientais como pelos efeitos antropogênicos (descarte incorreto e má gestão de resíduos sólidos e até a falta dela). Free et al (2014) sugere em seu estudo que mesmo locais com baixa densidade populacional podem ser altamente poluidoras através do consumo de plástico e falta de manejo dos resíduos sólidos nessas regiões. A presença de plásticos maiores ou em processo de fragmentação nas praias podem estar relacionadas ao depósito via terrestre e via marítima, em qualquer das vias que esse resíduo chegue até a praia, os mecanismos de fragmentação são ativos e decompõe esse material ao longo dos meses.

A abundância de microplástico está relacionada com o aumento dos índices de precipitação sugerindo o aumento de vazão do fluxo dos rios e chegando até aos mares adjacentes, o depósito incorreto de resíduos nas proximidades de rios, estuários e até praias e manguezais também podem transportar resíduos que ao serem depositados nas areias da praia são fragmentados e ali persistem. A persistência desse material no ambiente praial aumenta a disponibilidade para a biota e torna a biodiversidade vulnerável.

O ambiente praial é um ambiente altamente dinâmico, pois está constantemente sofrendo variações morfológicas resultantes das variações no regime energético, da variação do nível d'água e desequilíbrios do suprimento sedimentar local (SHORT, 1999), portanto a investigação e levantamento de dados sistemáticos e as longas séries temporais auxiliam a compreensão dos reais índices de poluição plástica na zona costeira e suas variações. O monitoramento da poluição plástica e do microplástico é um importante instrumento de gestão para acompanhar a evolução da implementação de políticas públicas de combate ao lixo no mar como a regulamentação, banimento e fiscalização do uso do plástico em todos os seus ciclos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A geração de dados sazonais e sistemáticos do ambiente praial é uma lacuna para a gestão de municípios costeiros e no gerenciamento de resíduos sólidos. São projetos como o Our Blue Hands, que além de incluir a ciência cidadã, capacita redes de monitoramento com metodologia unificadas, que demonstram a necessidade da sinergia de atores sociais interessados e recurso para a implementação de planos e programas, assim como mão de obra especializada no tema.

Através dos dados coletados notou-se que a composição de resíduos está intimamente ligada às atividades econômicas que ocorrem na região adjacente aos pontos monitorados. Além da influência dos fatores ambientais que têm a tendência a acumular mais microplásticos em praias dissipativas e praias intermediárias, que recebem diversas ondulações e estão mais expostas às correntes do que as praias protegidas. Porém a sazonalidade pronunciada da região amostrada demonstra que em quase todas as condições de tempo e clima é possível receber microplástico do mar para a praia, ou de rios para as praias a depender da precipitação ou de grandes ondulações.

Com isso, o projeto prevê que a continuidade do diagnóstico das pressões ambientais concomitante com o monitoramento de microplástico pode auxiliar nas medidas mitigatórias, como compreender o caminho deste resíduo, zonas de acumulação, tipos de plásticos mais encontrados, e qualidade da areia em relação aos tipos de polímeros mais encontrados. As implementações dos planos de combate ao lixo no mar também dependem

da regulamentação da produção e transformação do plástico nos polos industriais, além do incentivo de mercado para a substituição de matéria prima e instalação de programas de economia circular a nível regional e nacional.

O monitoramento é parte importante dentro deste processo, pois facilita o levantamento dos indicadores de eficiência das políticas públicas implementadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBOTT, M.R. (2013). *From the President: The era of big data comes to oceanography*. *Oceanography* 26(3):7–8, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.68>.
2. ANDERSON, M. J. *Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA)*. (2014). *Wiley statsref: Statistics reference online*, p. 1-15. Anderson, M.J. and Walsh, D.C.I. (2013), *PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: What null hypothesis are you testing?*. *Ecological Monographs*, 83: 557-574. <https://doi.org/10.1890/12-2010.1>
3. ANDRADY, A. L., (2011). *Microplastics in the marine environment*, *Marine Pollution Bulletin*, 62 (8), 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
4. BALTHAZAR-SILVA D, TURRA A, MOREIRA FT, CAMARGO RM, OLIVEIRA AL, BARBOSA L and GORMAN D (2020) *Rainfall and Tidal Cycle Regulate Seasonal Inputs of Microplastic Pellets to Sandy Beaches*. *Front. Environ. Sci.* 8:123. doi: 10.3389/fenvs.2020.00123
5. BROWNE MA, DISSANAYAKE A, GALLOWAY TS, et al. (2010a) *Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.)*. *Environmental Science & Technology* 42: 5026–5031.
6. FAUZIAH SH, LIYANA IA, AGAMUTHU P (2015) *Plastic debris in the coastal environment: The invincible threat? Abundance of buried plastic debris on Malaysian beaches*. *Waste Management and Research* 33: 812–821.
7. FREE CM, JENSEN OP, MASON SA, et al. (2014) *High levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*. *Marine Pollution Bulletin* 85: 156–163.
8. FRÈRE L, PAUL-PONT I, RINNERT E, et al. (2017) *Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France)*. *Environmental Pollution* 225: 211–222.
9. LIUBARTSEVA S, COPPINI G, LECCI R, et al. (2016) *Regional approach to modelling the transport of floating plastic debris in the Adriatic Sea*. *Marine Pollution Bulletin* 103: 115–127.
10. KIM I-S, CHAE D-H, KIM S-K, et al. (2015) *Factors influencing the spatial variation of microplastics on high-tidal coastal beaches in Korea*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69: 299–309.
11. KUKULKA T, PROSKUROWSKI G, MORET-FERGUSON S, et al. (2012) *The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris*. *Geophysical Research Letters* 39: L07601.
12. MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. *O clima do trecho Florianópolis - Porto Alegre: Uma abordagem dinâmica*. *Geosul*, v.10, p.117-133, 1995.
13. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Open research agenda setting, 21 Dec. 2017*. Disponível em: Acesso em: 23 ago. 2018.
14. OUR BLUE HANDS (2021) *Redes Colaborativas para o Monitoramento - Microplástico - Guia de práticas para o monitoramento de microplástico em praias arenosas*. Brazil, *Our Blue Hands*, 15pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1677>.
15. R core team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Acesso: <https://www.R-project.org/>
16. RIBEIRO, R.S. (2014). *Caracterização morfodinâmica de praias do Estado de Santa Catarina com vistas à avaliação de perigo ao banhista*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
17. SADRI SS, THOMPSON RC (2014) *On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar estuary, Southwest England*. *Marine Pollution Bulletin* 81: 55–60.

18. SHORT, A. D. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. England: John Wiley & Sons Ltd, 1999.
19. THIEL M, HINOJOSA IA, MIRANDA L, et al. (2013) Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. *Marine Pollution Bulletin* 71: 307–316.