



Amazônia Oriental



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

LUANA FRANCY OLIVEIRA SANTOS

**CONTAMINAÇÃO DE CANAIS URBANOS POR MICROPLÁSTICO EM UMA  
CAPITAL DA AMAZÔNIA**

**BELÉM – PA  
2024**

LUANA FRANCY OLIVEIRA SANTOS

**CONTAMINAÇÃO DE CANAIS URBANOS POR MICROPLÁSTICO EM UMA  
CAPITAL DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socioambiental

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho

**BELÉM - PA**

**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S237c Santos, Luana Francy Oliveira.  
Contaminação de canais urbanos por microplástico em uma capital da Amazônia / Luana Francy Oliveira Santos. — 2024.  
57 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2024.

1. Saneamento básico. 2. Resíduos sólidos. 3. Região amazônica.  
4. Macapá. 5. Amapá. I. Título.

CDD 363.728509811

---

LUANA FRANCY OLIVEIRA SANTOS

CONTAMINAÇÃO DE CANAIS URBANOS POR MICROPLÁSTICO EM UMA  
CAPITAL DA AMAZÔNIA

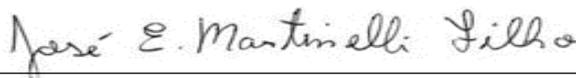
Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

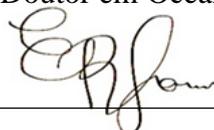
Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socioambiental

Data da defesa: 22/04/2024

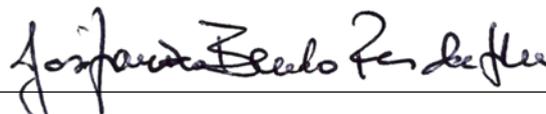
Banca Examinadora:



Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho -  
Orientador - Doutor em Oceanografia



Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro  
Interno (UFPA) - Doutor em Meteorologia



Prof. Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva -  
Membro Interno (MPEG) - Doutor em Geologia e  
Geoquímica



Prof. Dr. Décio Luis Semensatto Junior – Membro  
Externo (UNIFESP) - Doutor em Geociências e  
Meio Ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, força, coragem e sabedoria para conseguir terminar essa jornada. Toda honra seja dada a Ele, por ser a minha força nos momentos difíceis.

A minha família, especialmente meus pais Álvaro Kamara e Arlete Vilhena, por todo amor, conselhos, ensinamentos e por serem os meus maiores incentivadores na realização dos meus projetos, por todo apoio e suporte para a minha formação. Ao meu esposo André Sena, por todo apoio e companherismo ao longo dessa jornada.

A Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pelo conhecimento repassado para a minha formação.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de pesquisa.

Ao meu orientador Dr. José Eduardo Martinelli Filho, pela oportunidade e por todos os ensinamentos repassados durante esses anos que estive trabalhando no laboratório. E por sua compreensão e por suas orientações neste trabalho.

Ao meu amigo de laboratório Marcos Pereira, por toda a sua contribuição neste trabalho e principalmente por sua força para realizar as coletas em Macapá, e por todas as conversas que tivemos na pausa do trabalho no laboratório.

Agradeço, aos Professores e colegas do prédio de estudos de Aracnologia do Museu Paraense Emilio Goeldi, por disponibilizarem o equipamento para as análises dos MPs no estereomicroscópio e por toda contribuição durante as análises.

Aos Professores José Francisco Berredo Reis da Silva, Décio Luis Semensatto Junior, Everaldo Barreiro de Souza, por participarem da banca, por suas correções e contribuições sugeridas.

Ao laboratório de oceanografia biológica (LOB) e ao Laboratório de Ecossistemas Pelágicos, no centro de Estudos Avançados de Biodiversidade (CEABIO), por fornecer os materiais e equipamentos utilizados para a realização desta pesquisa. E aos meus amigos de trabalho no laboratório Marcos, Mayara, Gabriel por toda ajuda e conversas durante os intervalos no almoço.

À amiga Heloise que o mestrado me presenteou nessa jornada, por nossas conversas e por toda ajuda fora e dentro da sala de aula.

Aos demais amigos e familiares, por compreenderem minha ausência em muitas ocasiões especiais. Gratidão a todos!

## RESUMO

Os problemas socioambientais enfrentados em várias cidades da região Amazônica são, em parte, resultantes da precariedade ou ausência dos serviços de saneamento básico. A cidade de Macapá, estado do Amapá, apresenta os piores índices nacionais no fornecimento do conjunto de serviços ligados ao saneamento básico, dentre tais serviços a coleta e o tratamento de esgoto e a destinação adequada de resíduos sólidos como o material plástico. Com isso surge o objetivo deste estudo, que é avaliar a presença, a quantidade e os tipos de microplásticos em canais urbanos do município, assim como analisar a importância das variáveis ambientais em relação à quantidade e distribuição de tais partículas. Para isso foram coletadas amostras de água com garrafa Van Dorn e sedimento com a draga Van Veen de cinco canais urbanos. Os resultados obtidos mostraram que foram encontrados microplástico em todas as amostras. A quantidade média de  $17 \pm 13$  MPs/L para água e de  $453 \pm 345$  MPs/Kg para os sedimentos foram registradas. Os MPs predominantes foram as fibras nas amostras de água, com predominância no tamanhos menores que  $300 \mu\text{m}$  e nas cores azul e preto. Para os sedimentos, os fragmentos foram o formato dominante, com maior proporção nas cores transparente, azul e preto. A localização em área urbana, baixos níveis no atendimento de serviços de saneamento básico na cidade e o nível de ocupação das proximidades são considerados potenciais fontes de MPs para os canais de Macapá. Os dados obtidos mostraram o estado atual do nível de contaminação dos canais urbanos de Macapá, indicando a necessidade de políticas públicas efetivas para as cidades Amazônicas.

**Palavras-chave:** Saneamento básico; resíduos sólidos; região amazônica; Macapá-Amapá.

## ABSTRACT

The socio-environmental problems faced in several cities in the Amazon region are, in part the result of the precariousness or absence of basic sanitation services. The city of Macapá, state of Amapá, has the national indexes in the provision of set of services linked to basic sanitation, among such services the collection and treatment of sewage and the adequate disposal of solid waste such as plastic material. With this comes the objective of this study, which is to evaluate the presence, quantity and types of microplastics in urban canals in the municipality, as well as to analyze the importance of environmental variables in relation to the quantity and distribution of such particles. For this purpose, water samples were collected with a Van Dorn bottle and sediment with a Van Veen dredger from five urban canals. The results obtained showed that microplastics were found in all samples. An average amount of  $17 \pm 13$ MPs/L for water and of  $453 \pm 345$  MPs/Kg for sediments were recorded. The predominant MPs were the fibers in the water samples, with a predominance of sizes smaller than  $300 \mu\text{m}$  and in the colors blue and black. For sediments, fragments were the dominant format, with a greater proportion of transparent, blue and black colors. The data obtained showed the current state of the level of contamination of Macapá's urban canals, indicating the need for effective public policies for Amazonian cities.

**Keywords:** basic sanitation; solid waste; Amazon Region; Macapá-Amapá.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da área de estudo dos quatro canais urbanos de Macapá e um igarapé (Jandiá, Mendonça Júnior, Perpétuo Socorro, Pedrinhas e Fortaleza). .....	23
Figura 2 - Caracterização dos MPs com relação aos formatos amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial-vazante, (b) Água Superficial-enchente, (c) Água de Fundo-vazante e (d) Água de Fundo-enchente .....	28
Figura 3 - Caracterização da proporção dos MPs com relação as cores amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial-vazante, (b) Água Superficial-enchente, (c) Água de Fundo- vazante e (d) Água de Fundo. ....	29
Figura 4 -Caracterização dos MPs conforme as classes de tamanho amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial- vazante, (b) Água Superficial- enchente, (c) Água de Fundo- vazante e (d) Água de Fundo- enchente. ....	29
Figura 5 - Caracterização dos MPs com relação ao formato amostras de sedimento; J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta. ....	31
Figura 6 - Caracterização dos MPs com relação as cores amostras de sedimento; J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta. ....	31
Figura 7 - Caracterização dos MPs com relação conforme as classes de tamanho amostras de sedimento; J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta.....	31
Figura 8 - Quantidade de Mps (a) água entre os canais: Mendonça, Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro .....	35
Figura 9 - O Mapa de uso e coupação do solo representando a localiação dos pontos de coleta em Macapá nos canais: Mendonça, Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro e Fortaleza. O município apresenta áreas de vegetação, agropecuária e urbanizada. ....	36

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>1.1 O Saneamento básico e a relação com a contaminação plástica</b> .....	13
<b>1.2 O Aspecto socioambiental da cidade de Macapá</b> .....	14
<b>1.3 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa</b> .....	16
<b>1.4 Objetivos</b> .....	17
1.4.1 Objetivo Geral .....	17
1.4.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>1.5 Estrutura de Dissertação</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 2 MICROPLÁSTICOS EM CANAIS URBANOS DE UMA CAPITAL NA AMAZÔNIA</b> .....	20
<b>2.1 Introdução</b> .....	21
<b>2.2 Material e Métodos</b> .....	22
2.2.1 Área de Estudo.....	22
2.2.2 Amostragem .....	25
2.2.3 Análise Laboratorial .....	26
2.2.4 Análise de Dados .....	27
<b>2.3 Resultados</b> .....	27
2.3.1 Água .....	28
2.3.2 Sedimento.....	30
2.3.3 Quantidade e variação entre as profundidades.....	32
2.3.4 Quantidade entre os Pontos Amostrais e as Marés.....	32
2.3.5 Quantidade entre os canais .....	34
2.3.6 Uso e Cobertura do Solo .....	35
<b>2.4 Discussão</b> .....	36
2.4.1 Características Morfológicas dos MPs .....	36
2.4.2 Sedimento.....	38

2.4.3	Quantidade e Distribuição de MPs nos Canais Urbanos .....	40
2.5	<b>Conclusão</b> .....	42
	<b>CAPÍTULO 3 CONCLUSÃO GERAL</b> .....	49
3.1	<b>Resultados Chave: impactos e implicações</b> .....	49
3.2	<b>Sugestões para pesquisas Futuras</b> .....	49
3.3	<b>Considerações Finais</b> .....	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51
	<b>APÊNDICE A - QUADRO COM DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA - P1: MONTANTE, P2: PORÇÃO CENTRAL E P3: FOZ; E A MARÉ, E A PROFUNDIDADE DAS ESTAÇÕES DE COLETA DOS CANAIS URBANOS DE MACAPÁ.</b> .....	57

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

A maioria das cidades brasileiras concentram problemas socioambientais semelhantes resultantes do desenvolvimento, causado pela ausência ou ineficácia do planejamento urbano (Leoneti *et al.*, 2011). Dentre os principais problemas enfrentados pela população, pode-se destacar a ineficiência do serviço de saneamento básico e a poluição por resíduos sólidos, como os resíduos plásticos.

Devido a produção e o consumo ter crescido de forma exponencial nas últimas décadas, é evidente o descarte desses materiais em locais inadequados. A poluição advinda dos resíduos plásticos tem ganhado destaque na literatura científica, pois o material tornou-se presente em todos os locais, tornando-se um marcador geológico do Antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2018).

O plástico tradicional é um composto orgânico sintético, que apresenta origem do petróleo, de onde são extraídos vários monômeros (Güven *et al.*, 2017). Em 2021, produção mundial de plásticos alcançou 390 milhões de toneladas (Europe, 2022). As vantagens que tornam o plástico tão atrativo e um dos mais utilizados mundialmente é a durabilidade, flexibilidade, impermeabilidade, leveza, baixo custo e resistência (Andrady; Neal, 2009; Xia *et al.*, 2020).

A utilização de materiais plásticos possui um campo amplo de aplicações, indo das embalagens, indústrias, construção civil, medicina, agricultura e fabricação de itens utilizados no cotidiano (Geyer *et al.*, 2017). Dentre os polímeros amplamente produzidos, destacam-se o polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PBD), polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC), tereftalato de polietileno (PET) e o poliestireno (PS) (Andrady; Neal, 2009; Güven *et al.* 2017).

O plástico descartado no meio ambiente acaba se acumulando no meio marinho e pode ter origem em atividades com processos de emissões do meio terrestre (Lebreton *et al.*, 2017; Talbot; Chang, 2022). Os rios são o principal meio de transporte no escoamento de microplásticos de sistemas terrestres para os oceanos (Yuan *et al.*, 2022). Segundo Meijer *et al.* (2021), mais de 1.000 rios seriam responsáveis por 80% das emissões globais, sendo que os pequenos rios urbanos estariam entre os mais poluentes.

O plástico representa um risco eminente, pois esses contaminantes podem ser danosos ao meio ambiente e a cadeia trófica (Barboza *et al.*, 2018). O plástico em meio natural sofre o processo de fragmentação, que ocorre devido a ação de variáveis ambientais como a radiação, oscilação da temperatura, umidade, ação das ondas, fragmentação mecânica e biodegradação (Bergmann *et al.*, 2019).

Os detritos plásticos são classificados conforme o seu tamanho, desde os de grande porte como o megaplástico (>1 m), aos microscópicos como micro- (<5 mm) e nanoplásticos (<1 µm) (Gesamp, 2019). Os microplásticos (MPs) podem ser classificados de acordo com sua origem (primário ou secundário). Os MPs primários são produzidos em tamanho microscópico, são amplamente utilizados nas indústrias de plástico como os *pellets*, além de cosméticos e itens de higiene pessoal como as microesferas (*microbeads*) (Güven *et al.*, 2017). Os secundários, são gerados da degradação de plásticos maiores, devido a ação das variáveis ambientais que ocorre em meio natural (Eerkes-Medrano, Thompson; Aldridge, 2015).

Devido ao tamanho microscópico, partículas plásticas tornam-se biodisponíveis para uma ampla variedade de organismos, podendo ser facilmente ingeridos ou assimilados (Eerkes-Medrano, Thompson; Aldridge, 2015). Ainda, tais resíduos podem adsorver e acumular metais tóxicos e poluentes orgânicos persistentes (POPs) (Whight *et al.*, 2013). Os impactos observados em organismos na cadeia trófica marinha podem ocorrer de maneira replicada nos organismos dos ecossistemas de água doce (Tibbets *et al.*, 2018) e atingir da base ao topo da cadeia trófica.

Os MPs já foram encontrados em alimentos consumidos pelo homem como o sal (Kim *et al.*, 2018), em bebidas (Mason; Welch; Neratho, 2018; Shruti *et al.*, 2020), mariscos (Van Cauwenberghe; Janssen, 2014; Li *et al.*, 2021) e alimentos enlatados como sardinhas (Karami *et al.*, 2018). Atualmente, foram detectados no corpo humano, nos pulmões (Amanto-Lourenço *et al.*, 2021) e na placenta (RAGUSA *et al.*, 2021), além de encontrados em fezes (Yan *et al.*, 2022) e no leite materno (Ragusa *et al.*, 2022). Os humanos estão sendo expostos a tais partículas desde sua fase embrionária. Segundo estimativas, uma média semanal de 0,1- 5g de MPs são ingeridos por pessoa (Senathirajah *et al.*, 2021). A poluição por MPs tornou-se uma preocupação urgente global, devido aos potenciais riscos que representam à saúde humana.

Para entender melhor os efeitos ambientais ocasionados pela poluição oriunda dos resíduos plásticos, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos para detectar, quantificar e monitorar estes poluentes em diversas matrizes ambientais (Van Cauwenberghe *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2023). Apesar dos avanços no estudo sobre MPs, o Brasil apresenta lacunas na literatura científica, principalmente no que se refere a região amazônica, onde esse assunto tem sido pouco abordado por pesquisadores até esse momento (Morais *et al.*, 2024).

A região Amazônica é um ambiente único e distinto; onde encontra-se a bacia hidrográfica do rio Amazonas, o rio mais volumoso do mundo, que despeja grande volume de sedimentos e água (Nittrouer *et al.*, 2021), com uma vazão média de água doce de 200 mil m<sup>3</sup>/s (Calléde *et al.*, 2010), para o oceano Atlântico. As bacias hidrográficas atuam também como

potenciais fontes da poluição plástica (do macropástico ao micropástico) para as águas costeiras (Giarrizzo *et al.*, 2019).

Apesar da importância do transporte de plásticos e MPs pela bacia hidrográfica amazônica, os estudos são escassos, sendo um único estudo desenvolvido até o momento para MPs em amostras de água no rio Amazonas (Rico *et al.*, 2023) e em um trecho do delta amazônico (Santos *et al.*, 2023). A maioria das pesquisas investigaram a contaminação por peixes e crustáceos (camarão), oriunda da ingestão de detritos de plástico em distintas sub-bacias da Amazônia brasileira (Andrade *et al.*, 2019; Ribeiro-Brasil *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2023 e Guimarães *et al.*, 2023).

Além desses, as pesquisas desenvolvidas até o momento em matrizes ambientais buscaram investigar a contaminação oriunda de MPs, em amostras de sedimento da região foram em praias por Martinelli Filho e Monteiro (2019); Novaes *et al.* (2020) e sedimento de fundo do rio Amazonas por Gerolin *et al.* (2020) e em sedimentos de áreas de recreação por Oliveira *et al.* (2023).

Na região Amazônica encontramos ao longo dos cursos de água os principais centros urbanos. A região tem sofrido ao longo de décadas com a pressão antrópica, trazida pelo incentivo do desenvolvimento urbano (Rico *et al.*, 2022). O desenvolvimento das metrópoles concentrou-se próximo as margens ou foz de rios, como Belém na foz da bacia hidrográfica do Tocantins- Araguaia), Manaus (margens do rio Amazonas) e Macapá (foz do rio Amazonas).

A cidade de Macapá teve o seu desenvolvimento sem qualquer planejamento, com as construções de inúmeras moradias em locais inapropriados como áreas úmidas ou planície de alagamento, que são conectadas ao rio Amazonas (Damasceno *et al.*, 2015; Costa; Silveira Júnior, 2020). Os inúmeros canais que cortam a cidade são utilizados como "lixões a céu aberto", onde os moradores despejam diretamente resíduos sólidos. Além disso, o plástico descartado nas cidades amazônicas é transportado por canais que cortam a região urbana (Rico *et al.*, 2023), ações como essas contribuem para a poluição dos corpos hídricos, comprometendo a qualidade ambiental e consequentemente atingindo a biota.

Com isso, há uma crescente preocupação em conhecer atual cenário da contaminação por MPs na cidade de Macapá, uma vez que tal região é uma potencial fonte emissora de MPs para a calha Norte do complexo estuarino do delta amazônico e, consequentemente, para o oceano adjacente. São necessários estudos que mostrem a dimensão da contaminação, principalmente compreender o papel das forçantes, tanto antrópicas como ambientais. Neste sentido, propomos investigar a quantidade de MPs em canais urbanos de Macapá, sua potencial contribuição para a calha norte do rio Amazonas e como fatores ambientais interferem na

distribuição e quantidade de partículas.

### **1.1 O Saneamento básico e a relação com a contaminação plástica**

Um dos maiores desafios da atualidade, para as cidades brasileiras está relacionado com a produção de resíduos sólidos e a ausência de gestão adequada desses materiais (Aguilar *et al.*, 2021), assim como do tratamento do esgoto (Leonetti *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2023), ocasionado pela precariedade ou ineficácia de serviços essenciais para a população como o saneamento básico. Para a Organização Mundial da Saúde (OMS) o saneamento seria o controle dos fatores do meio físico que podem atingir o ser humano, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos em três áreas do bem-estar, podendo ser físico, mental e/ou social. O saneamento básico seria um conjunto de ações que asseguram o bem-estar humano, que garantem uma melhor qualidade de vida da população e a tornando mais digna.

O saneamento básico no Brasil constitui um conjunto de medidas que são asseguradas pela Constituição Federal através da Lei das Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico (LDNSB), Lei nº 11.445/2007, que estabelece as orientações para a garantia de serviços de saneamento e define sua política nacional no país (Snis, 2021). Os serviços garantidos na lei são abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais de forma adequada. A lei assegura a universalização dos serviços de saneamento básico, garantido o acesso à sociedade, para que todos tenham acesso a água de qualidade, aos serviços de coleta e o tratamento adequado do esgoto e do lixo e o manejo correto da água da chuva (Snis, 2021).

A escassez do tratamento de esgoto é um dos maiores obstáculos na manutenção do meio aquático natural, pois diariamente rios brasileiros recebem esgoto *in natura*. Segundo o Instituto Trata Brasil (2023), a média nacional do tratamento de esgoto é de 51,2% do total produzido no país. Outro problema relacionado ao saneamento é a coleta ineficiente de resíduos sólidos e a destinação correta do material produzido, ocasionando em poluição nas cidades.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, em 2022 foram coletados em torno de 81.811.506 toneladas de resíduos, com média de produção de 1,043 kg/habitante/dia (Abrelpe, 2022). Os resíduos sólidos produzidos, quando não destinados adequadamente, acumulam nas cidades e/ou no meio ambiente. O despejo de lixo em local inadequado pode provocar enchentes, assoreamento e a proliferação de doenças por espécies transmissoras como ratos, moscas e outros. Ocasionalmente ainda a poluição visual, o mau cheiro e a contaminação do meio ambiente, através de substâncias químicas (Mucelin; Bellini, 2008).

O saneamento apresenta uma importância em nível global, tendo em vista sua necessidade para a qualidade de vida, por isso, foi inserido na lista dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), no âmbito da Agenda 2030 para desenvolvimento sustentável (ODS, 2022). A agenda 2030 foi ratificada em 2015 por 193 países pela ONU (Organização das Nações Unidas) que apresenta 17 objetivos e 169 metas com um plano de ações global, abrangem as dimensões ambiental, social e econômica para o desenvolvimento de maneira sustentável (ONU, 2015).

As metas globais estabelecidas para agenda são objetivos interconectados e apresentam perspectivas para serem atingidas até 2030 (ODS, 2022). Destacam-se três ODS relacionados ao saneamento e resíduos sólidos, como o ODS 6, que assegura a disponibilidade de forma universal e sustentável do abastecimento de água e saneamento para todos; o ODS 11 que apresenta cidades e comunidades Sustentáveis, apresenta como meta tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros e resiliente e sustentáveis (ODS, 2022).

Entretanto, a aplicabilidade do saneamento para a população é muito desigual, ou mesmo ausente em diferentes localidades do país (Leoneti *et al.*, 2011). A região Amazônica está distante do acesso aos serviços básicos, garantidos na Constituição Federal para a qualidade de vida e dignidade da população. Os dados nacionais de saneamento básico são alarmantes, principalmente em relação a precariedade desse serviço em muitas cidades da região norte (Silva *et al.*, 2023, Morais *et al.*, 2024).

Na região Amazônica poucas pessoas têm acesso a aterros sanitários e o lixo produzido é geralmente descartado nos rios e cursos de água (Giarizzo *et al.*, 2019). Por meio da coleta de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis) do ano de 2021, o Instituto Trata Brasil (ITB) fez o ranking do saneamento básico para 2023. Apresentam três municípios da região Norte, além da cidade de Macapá, na lista das 100 piores cidades do país, que estiveram ao longo de dez anos ocupando as 10 últimas colocações. Os municípios da região Norte apresentaram investimento reduzido em saneamento básico como no atendimento de água, coleta e tratamento de esgoto e eficiência na alocação dos investimentos. Destaca-se que a cidade de Macapá, ocupou a última posição do ranking no ano de 2023 (ITB, 2023).

## **1.2 O Aspecto socioambiental da cidade de Macapá**

O Amapá é um estado relativamente novo, pois pertencia territorialmente ao estado do Pará. Em 1943 teve início o seu processo de independência federativa, mas somente em 1988, que foi transformado em estado (Tostes; Tavares, 2023). O estado teve um processo de

urbanização tardia, que se intensificou nas últimas três décadas e apresentou como resultado um alto grau de deficiência nos projetos políticos, pois tais projetos não levaram em conta a realidade local (Tostes *et al.*, 2015).

A região amazônica apresenta características comuns no processo de urbanização. As cidades da região tiveram um crescimento sem qualquer planejamento do uso e ocupação do solo. A urbanização na região Norte, apresenta similaridades seguindo um padrão de desigualdade (Costa *et al.*, 2021). Têm sofrido ao longo de décadas com a pressão antrópica, trazida pelo incentivo do desenvolvimento urbano (Rico *et al.*, 2022), contudo a rápida urbanização alterou os padrões de uso da terra, como o desmatamento, e o uso de agrotóxicos somados ao descarte de resíduos sólidos e a falta de saneamento contribuem para a degradação dos corpos hídricos (Barleta *et al.*, 2019; Rico *et al.*, 2022).

A cidade de Macapá, capital do estado do Amapá, possui uma população estimada de 522.357 habitantes e uma área territorial estimada de 6.563,849 Km<sup>2</sup> (Ibge, 2022). O estado do Amapá está inserido na zona costeira Amazônica (ZCA), que é composta também pelos estados Pará e Maranhão (Pereira, 2009). A zona costeira amazônica brasileira está compreendida entre o rio Oiapoque (Amapá) e a baía de São Marcos (Maranhão) (Pereira *et al.*, 2009). A região apresenta características únicas, como altos níveis de energia hidrodinâmica, sendo influenciados por processos oceanográficos (Pereira *et al.*, 2009; Torres; El-Robrini, 2015).

A região é de grande interesse nacional e global, do ponto de vista econômico, social e ambiental, pois apresenta características e condições hidrodinâmicas únicas. É uma área altamente dinâmica, que apresenta processos costeiros como ventos alísios, regime de marés e transporte e deposição de sedimentos (Pereira *et al.*, 2009).

Nas regiões adjacentes à Macapá, o rio Amazonas é utilizado para diversos fins, como navegação e abastecimento de água para o sistema de captação de Saneamento do Amapá (CSA) (Damasceno *et al.*, 2015). Além disso, na margem esquerda do rio Amazonas, próximo a sua foz, encontra-se o porto de Santana. O município de Santana, distante a 17 km da região metropolitana de Macapá, possui uma posição estratégica para escoamento dos produtos por meio dos corredores de exportação, através atividade portuária (Sardinha, 2022). O porto do Amapá, apresenta localização geográfica favorável e estratégica para navegação marítima como o estabelecimento de ligações com grandes portos do mundo, além de estar localizado na porta de entrada e saída da região Amazônica (Rabelo *et al.*, 2021).

A cidade de Macapá se desenvolveu sem planejamento adequado, que foram pouco favoráveis ao desenvolvimento urbano, social e ambiental que não levaram em conta o contexto local, que desencadeou em um processo de expansão urbana conturbado e desordenado da

cidade (Tostes; Tavares, 2023). O crescimento nas últimas décadas foi resultante de invasões e ocupações ilegais realizada por migrantes que vieram de outros estados (Weiser *et al.*, 2015), que realizaram a construção de moradias, em áreas inadequadas como as planícies de alagamento (Bastos, 2010; Weiser *et al.*, 2015).

As planícies de alagamento são conhecidas localmente como áreas de ressacas, locais que sofrem periódicas inundações e abrigam canais ou cursos de água perenes, que ocorrem no espaço urbano de Macapá e são influenciados pela ação marés (Takiyama *et al.*, 2003) e conectadas aos rios e canais (Damasceno *et al.*, 2015; Costa; Silveira Júnior, 2020). Essas áreas apresentam importância ambiental e social, pois acumulam as águas fluviais. Apesar da importância desses espaços, tais ambientes vêm sendo impactados, devido à ausência de políticas públicas voltadas à qualidade habitacional. As problemáticas geradas pela ocupação dessas áreas, somadas com os alagamentos e enchentes, acúmulo de lixo, aterramento, contaminação da água, doenças de vinculação hídrica e carência de infraestrutura adequada geram problemas socioambientais (Weiser *et al.*, 2015) e são déficits resultantes da falta de saneamento.

O saneamento básico na cidade não foi acompanhado pela rápida expansão urbana (Damasceno *et al.*, 2015). Os índices de coleta e tratamento de esgoto são preocupantes, cerca de 62,4% dos habitantes não têm acesso à água tratada e 89,2% não possuem coleta de esgoto (ITB, 2022). Somados a isso, a propagação de doenças de vinculação hídrica, ocasionadas pela contaminação do meio aquático ameaçam a saúde da população (Bastos, 2010; Weiser *et al.*, 2015).

A urbanização não planejada do entorno das áreas úmidas gera consequências como o aumento dos resíduos sólidos (Cardoso *et al.*, 2015). As áreas do entorno dos canais não são adequadamente limpas pela empresa responsável pela coleta de lixo e captação (Cardoso *et al.*, 2015). Durante o período chuvoso é comum que os canais em Macapá transbordem, resultante, entre outros motivos, das práticas de descarte de lixo e de aterros realizado pelo poder público e privado nessa área, que acabam por comprometer a função natural desses canais como drenagem (Weiser *et al.*, 2015; Santos; Santos, 2023).

### **1.3 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa**

Estudos que investigam a contaminação oriunda dos microplásticos estão se tornando cada vez mais crescente na comunidade científica de forma global. Tais micropartículas estão presentes em todos os ambientes, gerando impactos ainda desconhecidos para a saúde (Fiore *et*

*al.*, 2023). Com isso, surge a necessidade de investigar a contribuição dos canais urbanos, como fonte de MPs, uma vez que os sistemas continentais são fontes de plástico para os oceanos (Lebreton *et al.*, 2017; Meijer *et al.*, 2021). Monitorar as principais fontes de MPs para os oceanos é fundamental, sendo importante destacar que este estudo tem como objetivo conhecer o estado atual da poluição por MPs em canais urbanos de Macapá e busca compreender as possíveis implicações socioambientais ocasionadas por essa poluição.

É comum na região Amazônica a utilização de corpos hídricos naturais como destino do esgoto não tratado e no despejo de resíduos sólidos. A região apresenta inúmeros problemas (ambientais, sociais e econômicos), que foram gerados devido à ausência de políticas públicas básicas. A cidade de Macapá apresenta precariedade e ausência no abastecimento de serviços essenciais, como saneamento básico (Cardoso *et al.*, 2015). As fontes emissoras estão ligadas as ações antrópicas, ao comportamento humano como descarte em local inadequado de material plástico, resultante da precariedade de informação socioambiental, aliado a ausência de políticas públicas, somados a isso a própria condição hidrodinâmica da região, como a ação das marés.

Permitindo que essa região tenha condições únicas e favoráveis como fonte de contaminação ambiental.

O presente trabalho justifica-se devido a urgência em descrever os níveis de base da contaminação de ambientes aquáticos na Amazônia por microplásticos (e.g. Santos *et al.*, 2023), a partir disso, investigar e monitorar cinco canais urbanos de Macapá, em relação à variabilidade de MPs, sendo este o primeiro estudo na literatura que investiga a contribuição de MPs em distintas matrizes ambientais na cidade de Macapá. A área está localizada em um perímetro urbano, que recebem grande contribuição antropogênica, tais sistemas fluviais desaguam no rio Amazonas através da calha Norte do rio, importante contribuidor da pluma estuarina amazônica.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Avaliar a presença, quantidade e tipos de microplásticos em canais urbanos, assim como analisar a influência do uso e ocupação do solo em relação á quantidade de MPs nos canais urbanos do município de Macapá, estado do Amapá, Amazônia brasileira.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Investigar a presença, quantidade e tipos de MPs presentes nas amostras de água superficial e fundo e amostras de sedimento de fundo em cinco canais urbanos;
- Caracterizar os MPs quanto ao tamanho, formato e coloração;
- Verificar se existem diferenças espaciais na quantidade de MPs;
- Investigar se existe diferença na quantidade de MPs entre a maré enchente e vazante;
- Analisar se o uso e ocupação do solo como um fator relevante na quantidade de MPs;

### **1.5 Estrutura de Dissertação**

Essa dissertação está organizada em capítulos, como descrito a seguir: capítulo 1 introdução ao tema; capítulo 2 referente ao manuscrito científico em preparação, intitulado: Microplásticos em canais urbanos de uma capital na Amazônia, que traz os resultados encontrados para a pesquisa de microplástico em rios urbanos de Macapá; capítulo 3 é conclusão geral da pesquisa. A estrutura desta dissertação foi redigida seguindo as normas de elaboração e Teses/Dissertações em forma de artigo do PPGCA/ UFPA.



## **CAPÍTULO 2 MICROPLÁSTICOS EM CANAIS URBANOS DE UMA CAPITAL NA AMAZÔNIA**

### **Resumo**

Os microplásticos (MPs) são considerados uma ameaça potencial à biota e a saúde humana. Apesar dos avanços na literatura científica, a região Amazônica ainda apresenta lacunas nesse campo do conhecimento, pois a maioria dos estudos publicados investigaram a ingestão de MPs por peixes. Ainda não existem estudos que investigaram a contaminação em rios urbanos de Macapá, em distintas matrizes ambientais. O desenho amostral deste estudo selecionou cinco rios urbanos, localizados em diferentes áreas da cidade (zona norte, central e sul). Foram coletadas amostras de água superficial, água de fundo e sedimento de fundo, nos três compartimentos dos canais: montante, meio e jusante, durante a maré enchente e vazante. A quantidade média de  $19 \pm 14$  MPs/L para água e  $453 \pm 345$  MPs/Kg para os sedimentos foram estimados. Houve diferença significativa para as amostras de água superficial, com maiores quantidades de MPs do que as água de fundo. Nos canais Perpétuo Socorro e Pedrinhas, a quantidade de MPs foi significativamente maior, enquanto o Fortaleza apresentou as menores quantidades em comparação com os demais. No geral, os canais que apresentaram a maior quantidade de MPs foram os que apresentam ocupações mais intensas em suas margens. Este estudo indica a dimensão da contaminação de MPs como possível fonte de tais contaminantes para a calha norte do rio Amazonas.

**Palavras-chave:** microplástico; Amazônia; canais urbanos; resíduos.

### **Abstract**

Microplastics (MPs) are considered a potential threat to biota and human health. Despite international advances in scientific literature, the Amazon region still presents gaps in this field of knowledge, most published studies investing the ingestion of MPs by fishes. There are still no studies that have investigated contamination in urban rivers in Macapá, in different environmental matrices. The sampling design of this study selected five urban rivers which are located in different areas of the city (north, central and South). Samples of surface water, of bottom water and bottom sediment were collected in the three compartments of the channels: upstream, middle and downstream, during the high and low tide. An average amount of  $17 \pm 13$  MPs/L for water and  $453 \pm 345$  MPs/Kg for sediments, were estimated. There was a significant difference for the surface water samples, which displayed higher quantities of MPs than the

bottom water. In the Perpétuo Socorro and Pedrinhas channels, the number of MPs was significantly higher, while Fortaleza had the lowest quantities compared to the others. In general, the channels that had the highest number of MPs were those with the most intense occupations on both banks. The location in an urban area and low levels of basic sanitation services in the city, and the level of occupancy in the vicinity are considered potential sources of MPs for the Macapá canals. This study indicates the extent of MPs contamination as a possible source of such contaminants for the north channel of the Amazon river.

**Keywords:** microplastic; Amazon; urban canals; litter; Brazil.

## 2.1 Introdução

A poluição plástica tem ganhado destaque na literatura global, essa problemática ocasionada principalmente pela gestão inadequada dos resíduos sólidos no continente. A produção do plástico remonta a 1950, contudo, o uso em larga escala dos plásticos pela sociedade ganhou maior impulso a partir de 1950 (Geyer *et al.*, 2017). O sucesso desse material no mercado consumidor é possível devido as vantagens trazidas por esse material apresentam destaque, pois são economicamente atrativos e resistentes (Geyer *et al.*, 2017).

Contudo, esse material tem sido descartado de maneira inadequada no meio ambiente, esse material pode dar origem aos microplásticos (MPs), que são micropartículas de plástico com tamanho (<5 mm). Uma parte desses detritos chegam aos oceanos, através do sistema fluvial. E tendem a entrar na cadeia trófica ou serem depositados no sedimento (Wang *et al.*, 2018). Os rios, que atravessam grandes centros urbanos tendem a receber mais MPs (Eekes-Medrano *et al.*, 2015).

Em áreas úmidas, a quantidade de microplástico depende de algumas variáveis (Camargo *et al.*, 2020) como a densidade populacional (Towsend *et al.*, 2019), e/ou o grau de industrialização (Scheurer; Bigalke, 2018). As cidades na região Amazônica concentram-se nas margens de rios, como as maiores capitais da região como Belém (PA), Manaus (AM), Macapá (AP), dentre outras. Os rios e seus afluentes localizados no entorno das cidades, são utilizados como o destino final para o despejo do esgoto *in natura* doméstico (Homma, 2005; Giarizzo *et al.*, 2019), agrotóxicos (Rico *et al.*, 2022) e rejeitos da exploração mineral (Gomes *et al.*, 2023).

Os estudos sobre MPs são fundamentais para uma melhor compreensão dos sistemas fluviais, no processo de transporte e armazenamento dos MPs, desde o processo de captação nos rios até o transporte oceânico (Xia *et al.*, 2023). No caso de rios localizados no perímetro urbano, atuam como sistema de retenção de microplástico mais elevados, tanto na coluna de água como no sedimento (Yan *et al.*, 2019; He *et al.*, 2021; Xia *et al.*, 2023). Apesar da

importância do monitoramento do transporte de plásticos e MPs em sistemas fluviais, os estudos são escassos para a região Amazônica (Morais *et al.*, 2024).

Na região Amazônica os estudos sobre poluição plástica em áreas úmidas são praticamente inexistente para amostras de água e sedimento. Atualmente, a maioria dos estudos desenvolvidos em sistemas fluviais na região amazônica investigaram a contaminação oriunda da ingestão de MPs (Morais *et al.*, 2024). Contudo, ainda não existem estudos que investigaram a ocorrência e distribuição de MPs nas águas e sedimentos em sistemas fluviais urbanos de Macapá, sendo este o primeiro estudo a investigar a ocorrência e quantidade de MPs nestes sistemas especificamente nos canais urbanos: Jandiá, Perpétuo Socorro, Mendonça Júnior, Pedrinhas e Fortaleza.

É importante destacar e dimensionar que os canais e riachos urbanos amazônicos possam ser fontes significativas de MPs para o rio Amazonas, e contribuidores para o oceano Atlântico, uma vez que cidades de médio e grande porte, da região Amazônica estão localizadas nas suas margens. Com tais informações é possível dimensionar a contribuição de tais canais urbanos na calha Norte do rio Amazonas, importante contribuidor para formação da pluma estuarina amazônica.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Área de Estudo**

A área de estudo está inserida no estado do Amapá, que apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 142.814,585 km<sup>2</sup> (Tavares, 2014). O Amapá está localizado no extremo norte do Brasil, entre as desembocaduras dos rios Oiapoque, Jari e Amazonas (Torres; El-Robrini, 2006). O rio Amazonas apresenta vazão de água doce, que varia conforme o período sazonal (Nittrouer *et al.*, 2021).

O estado do Amapá está situado na região tropical, recebe anualmente uma grande quantidade energia solar, que influencia no clima do local, denominado de quente e úmido (Melo, Cavalcanti; Souza, 2009). A temperatura na região apresenta baixas variações ao longo do ano, em virtude da sua localização próximo à linha do equador, com média anual em torno de 27 °C (Tavares, 2014). A região apresenta estações distintas de precipitação, o período de transição de janeiro a março, o chuvoso ocorrendo nos meses de abril a junho, período de transição para o período menos chuvoso sendo os meses de julho a setembro e o período menos chuvosa de outubro a dezembro (Valério *et al.*, 2018).

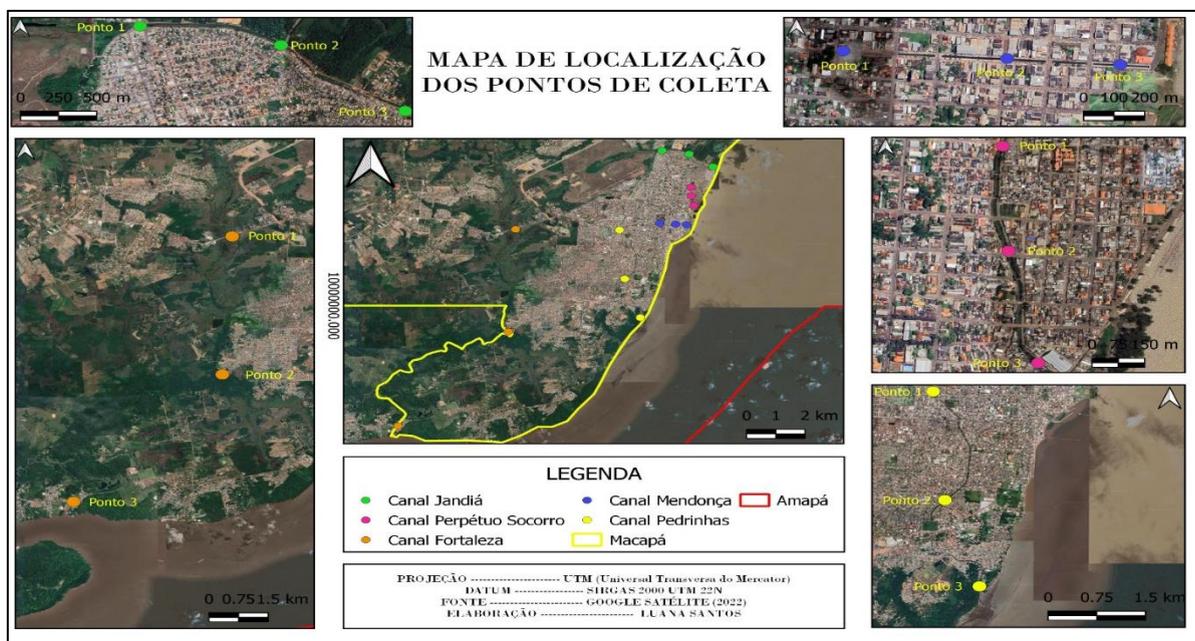
A cidade de Macapá está localizada no setor costeiro estuarino ou estuário Amazônico (Damasceno *et al.*, 2015) e apresenta grandes influências do regime fluvial, variação sazonal e

das marés (Torres; El-Robrini, 2006). A capital do estado localiza-se na margem esquerda do rio Amazonas, chamado também como calha norte do rio Amazonas (Damasceno *et al.*, 2015). O município é cortado por inúmeros canais de drenagem (Weiser *et al.*, 2015).

A cidade de Macapá apresenta topografia com uma complexa rede de drenagem, onde a região urbana enquadra-se nas áreas úmidas e locais de ressaca, como são conhecidas localmente (Bastos, 2010; Santos, 2016). As áreas de ressacas, são região de áreas úmidas ou zonas entremarés como são conhecidas também, são terrenos de campos inundáveis ou alagáveis que apresentam riscos para a população, principalmente nas áreas que são densamente ocupadas (Santos, 2016), que sofrem a pressão antrópica da urbanização e construções em áreas inadequadas.

A área de estudo compreende cinco canais, localizados no perímetro urbano de Macapá: Jandiá, Perpétuo Socorro, rio Fortaleza, Pedrinhas e Mendonça Júnior (Figura 1). Tais canais localizados nas áreas úmidas, são sistemas fluviais responsáveis pela drenagem das águas pluviais e são conectados ao rio Amazonas, além de sofrer influência do referido rio a jusante, também sofrem ação das marés (Tavares, 2014; Damasceno *et al.*, 2015). Os canais estão localizados no setor costeiro estuarino e interagem diretamente com o rio Amazonas e com as áreas úmidas e consequentemente influenciados por ação das marés (Takiyama *et al.*, 2005; Damasceno *et al.*, 2015).

Figura 1 - Mapa da área de estudo dos quatro canais urbanos de Macapá e um igarapé (Jandiá, Mendonça Júnior, Perpétuo Socorro, Pedrinhas e Fortaleza).



Fonte: Autoria própria.

Os canais Perpétuo Socorro, Mendonça Júnior e Pedrinhas estão localizados em áreas

com ocupação urbana intensa ao redor de ambas as margens, enquanto o canal Jandiá, apresenta ocupações na sua margem direita e na margem oposta possui a presença de áreas vegetadas. Já o canal Fortaleza está inserido em uma área de preservação ambiental (APA) com pouca ocupação antrópica. Os cinco canais de estudo apresentam estado de conservação distinto ao longo de suas margens, com isso o uso da terra se diferencia, devido a ocupação da população que residem nas margens desses corpos hídricos.

O igarapé Fortaleza destaca-se por não ser um canal como os demais, devido ao seu estado de conservação e sua extensão, onde localiza-se entre os municípios de Macapá e Santana e atravessa a capital do estado e desagua no rio Amazonas (Takiyama *et al.*, 2005; Torres; Oliveira, 2004). A bacia hidrográfica do rio Fortaleza apresenta uma área em torno 126 km<sup>2</sup> e faz parte de uma sub-bacias do rio Amazonas (Nascimento; Santos, 2023), com uma largura média em torno de 29,08m. Na margem direita existe uma área portuária que pertence ao município de Santana e na margem esquerda localiza-se a área de Preservação Ambiental da Fazendinha (APA), uma unidade de conservação (Torres; Oliveira, 2004).

O Fortaleza é uma unidade hidrográfica urbana, que apresentam ligação com o rio Amazonas, tal sistema fluvial apresenta diversas finalidades de uso, ocupação e contemplação (Nascimento; Santos, 2023). Os pontos de coleta no referido canal estão localizados nos bairros de Macapá: Alvorada, Cabralzinho, Universidade, Fazendinha, na sua foz localiza-se a área Portuária do igarapé Fortaleza, na margem oposta localiza-se o município de Santana e o bairro Fortaleza. Em 2010 conforme o censo, residiam em torno do igarapé 29.858 moradores.

O canal Jandiá, localiza-se na zona norte de Macapá, apresenta uma extensão de aproximadamente 4,2 km e corta os bairros de Pacoval, São Lázaro, Pantanal e cidade Nova de Macapá (Guedes; Valverde, 2023), além disso, está localizado em uma área periférica (Barreto *et al.*, 2024), o canal apresenta uma largura média de aproximadamente 12,05m. Apresenta uma densidade populacional de aproximadamente 49.375 população total com base nos dados do Sidra (2010). Em quase toda a sua extensão apresenta ocupações irregulares que utilizam tal canal para o despejo de resíduos sólidos (Cardoso *et al.*, 2015).

O canal Perpétuo Socorro, localizado também na zona norte da capital, inserido no bairro Perpétuo Socorro e apresentava no ano de 2010 em torno de 13.082 população total (SIDRA, 2010), tal curso hidrico apresenta uma largura média em torno de 7,52m. O bairro é considerado periférico, com grande densidade demográfica (Nascimento; Rempel, 2022). Na sua foz localiza-se o igarapé das Mulheres, que se expandiu em direção ao norte sofrendo aterramento das docas até o centro do bairro, e com ocupações ao longo de suas margens, por moradias e comércios (Costa, 2015), na sua foz localiza-se um porto e uma feira.

O canal Mendonça Júnior, está inserido na área central de Macapá, na região comercial apresentando uma extensão em torno de 1 Km, e apresenta uma largura de uma margem a outra em torno de 6, 69m. A obra de canalização, durante as fortes chuvas típicas da região somada aos fatores marés e urbanização, contribuem para inundação do canal, trazendo transtornos para os moradores locais, resultando em problemáticas ambientais e socioeconômicas (Santos; Santos, 2023).

O canal Pedrinhas, está inserido na zona sul da cidade de Macapá, com uma extensão territorial em torno de 5km, sendo considerado o maior corpo hídrico que atravessa a cidade e os bairros de Buritizal, Central, Trem, Muca, Jardim Equatorial, Beírol, Jardim Marco Zero e Pedrinhas (Queiroz, 2019), com uma população estimada no censo de 2010 com entorno de 87.108 habitantes (Sidra, 2010), esse canal apresenta uma largura média de 17,87m. É comum a intensa interferência da população que reside ao longo de suas margens, onde o canal é utilizado como o destino dos resíduos e do esgoto doméstico *in natura* (Guedes; Valverde, 2023).

Foi investigado nesse estudo os canais urbanos de Macapá, caracterizados por cursos hídricos que apresentam nas suas margens dois ambientes distintos: i) Margem urbanizada, ii) Margem vegetada.

### 2.2.2 Amostragem

A amostragem foi realizada durante o os dias 06 a 08 de novembro de 2021, durante o período transicional entre a estação seca para chuvosa, sendo coletado água de superfície e fundo (Anexo A), além de sedimento de fundo. A amostragem foi realizada em cinco canais: Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro, Fortaleza e Mendonça Júnior. As amostras utilizadas nesse estudo foram coletadas em três pontos amostrais, distribuídos ao longo de cada canal, denominados de montante, porção central e jusante (próximo a foz) totalizando 15 estações, com coleta durante a maré vazante e maré enchente.

Para amostragem de água foi utilizada uma garrafa Van Dorn de aço inox, sendo coletados 1L de água em cada estação amostral. A garrafa foi lançada duas vezes, a primeira para coletar 1L de água superficial, e a segunda vez para coletar 1L de água de fundo. As amostras de água foram armazenadas em garrafas previamente esterilizadas, identificadas externamente e armazenados até posterior análise laboratorial. As amostras de água ainda foram preservadas com solução de formaldeído purificado e previamente filtrado, em concentração final de 1%. O sedimento de fundo foi coletado por meio de uma draga Van Veen de aço inoxidável, coleta única em cada ponto amostral. As amostras coletadas foram transferidas para potes de vidros, de maneira semelhante com que foi realizado para as amostras de água, as

amostras de sedimento passaram pelo mesmo processamento de identificação externa e armazenamento em ambiente adequado, sob temperatura ambiente sem exposição direta a luz, até processamento laboratorial.

### 2.2.3 Análise Laboratorial

As amostras de água totais foram submetidas a digestão química, para dissolver a matéria orgânica presente na amostra. As amostras foram filtradas em filtros de aço inox com abertura de malha de 20  $\mu\text{m}$  e em seguida foi adicionado peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), em concentração final de 17,5% (Yan *et al.*, 2019). Para evitar a contaminação durante o processo de digestão, diversos procedimentos foram adotados, conforme Prata *et al.* (2020) e Queiroz *et al.* (2022).

Para as amostras de sedimento, foram processados 50g de sedimento seco, através de uma etapa de digestão da matéria orgânica adaptada de Gerolin *et al.* (2020), utilizou-se peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) para a digestão durante cinco dias. Houve a flotação em solução hipersalina (modificado de BESLEY, 2017) e a recuperação do líquido supernatante. Houve a repetição do processo de flotação por três vezes, o líquido sobrenatante foi filtrado na bomba vácuo. Os filtros de microfibras de vidro, tanto das amostras de água e sedimento foram armazenados em placas de petri, identificados externamente.

Os filtros foram analisados em estereomicroscópio modelo Leica M205C, onde foi realizada a quantificação dos possíveis MPs. Os MPs foram classificados conforme seu formato (Gesamp, 2019) e a sua cor conforme Wendt-Potthoff *et al.* (2020). Além disso, ocorreu a classificação conforme o tamanho, as partículas foram medidas utilizando o software Image J, onde foram medidos o maior diâmetro de cada partícula. A classificação dos MPs de acordo com o tamanho para as amostras de água, considerou cinco faixas de tamanho (50-250  $\mu\text{m}$ , 251-350  $\mu\text{m}$ , 351-500  $\mu\text{m}$ , 501-1000  $\mu\text{m}$  e 1000-5000  $\mu\text{m}$ , assim como para amostras de sedimento (63-250  $\mu\text{m}$ , 251-350  $\mu\text{m}$ , 351-500  $\mu\text{m}$ , 501 -1000  $\mu\text{m}$  e 1000- 5000  $\mu\text{m}$ ).

É necessário a confirmação e identificação da natureza químicas dos possíveis MPs, pois a identificação visual que ocorre pela observação pelo microscópio pode apresentar erros. Para complementar as análises e identificar a origem química, as amostras serão submetidas a espectroscopia Raman. A Espectroscopia Raman é uma técnica de espectroscopia vibracional, que fornece informações de um complexo amostral na forma de um espectro vibracional (Araújo *et al.*, 2018), além disso, o Raman apresenta vantagens como maior cobertura espectral, e menor interferência da água possui bandas mais estreitas que facilitam a identificação química

(e.g. Araújo *et al.*, 2018; Montagner *et al.*, 2021).

#### 2.2.4 Análise de Dados

A quantidade de MPs foi determinada para cada ponto amostral. A estimativa da quantidade para as amostras de água foi calculada com base no volume de água coletada (MPs/L). Para as amostras de sedimento foram investigados quatro canais, onde foi calculado a quantidade de MPs/Kg e calculada a proporção de cada categoria (fibras, fragmentos, filmes, espumas e microesferas) para cada estação de coleta.

Para aplicação dos testes estatísticos utilizou-se o programa SigmaPlot (Systat software). Foram realizados testes para verificar diferenças significativas entre os tratamentos (canais, estações de coleta, marés, profundidade). Previamente a escolha dos testes, os dados foram analisados quanto à normalidade e homoscedasticidade. Para aplicar comparações entre dois grupos foi empregado o teste de Mann-Whitney e entre três ou mais grupos, o teste de Kruskal-Wallis, seguido do método de Dunn para comparação par-a-par.

Para avaliar o uso e ocupação do solo utilizou-se para o processamento e análise de imagens no software Qgis, que é um sistema de informação Geográfica. Seguindo o objetivo de estudo, foi utilizado uma coleção de dados do mapa de cobertura e uso da terra que foi adquirido do site MapBiomas Brasil, a partir dos mosaicos Landsat, todos os dados estão no formato Geotiff e possuem compressão LZW. Os dados de busca foram os mais atualizados, referentes ao ano de 2021<sup>1</sup>.

Afim de delimitar a área de estudo e amostragem foi utilizado a malha municipal de Macapá e Santana, no estado do Amapá, sendo que a malha municipal no formato shapefile está disponíveis no site do IBGE. Para tal, o processamento no software Qgis, estabeleceu-se um recorte do raster pela camada de máscara dos municípios de interesse e a paletização dos valores, onde foram adaptados com base no código das legendas, sendo os valores de pixel da coleção 8 do MapBioma.

### 2.3 Resultados

A precipitação não apresentou variação uma semana antes da coleta das amostras desse

---

<sup>1</sup>O código está disponível em:

<[https://storage.googleapis.com/mapbiomaspublic/initiatives/brasil/collection\\_8/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_2022.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomaspublic/initiatives/brasil/collection_8/lclu/coverage/brasil_coverage_2022.tif)>. Acesso em 21 jun, 2024.

estudo, sendo característico do período transicional do período chuvoso para o menos chuvoso, referente aos dias 26 de outubro até dia 05 de novembro de 2021. O período analisado apresentou menor índice na precipitação nos dias 27, 28 e 30 de outubro (0 mm) e máximo no dia 29 (19 mm); a média encontrada para a semana foi de 3,6 mm no ano de 2021 (INMET, 2021).

### 2.3.1 Água

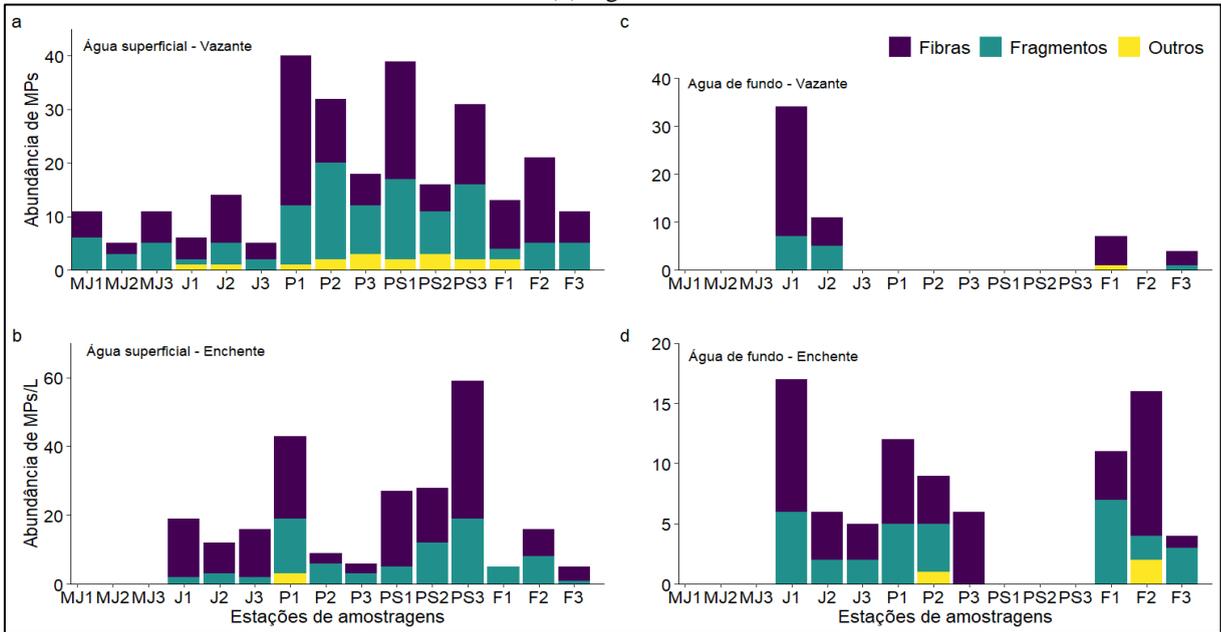
Foram encontrados potenciais microplásticos em todas as amostras de água. A quantidade média foi de  $17 \pm 13$  MPs/L, sendo que para a superfície a média foi de  $19 \pm 14$  MPs/L e  $11 \pm 8$  MPs/L na água de fundo. Foram encontrados possíveis MPs de diferentes formatos como fibras, fragmentos, filmes, espumas, microesferas (*microbeads*) com diferentes cores e tamanhos.

As formas predominantes nas amostras de água foram fibras (61%), seguido dos fragmentos (36%). Os formatos que tiveram a menor proporção foram filmes, espumas e microesferas que representam juntos 3% dos MPs encontrados (Figura 3). As fibras foram azuis (51%), seguidas de preto (22%), transparente (21%) e outras cores como vermelha, violeta, amarela representaram a menor proporção (6%). Para os fragmentos, a maior proporção foi de azul (37%), preto (16%), transparente (13%), verde (11%), branco (10%), amarelo (7%) e as demais cores representam juntas 6% como marrom, rosa (Figura 3).

As fibras variaram de tamanho entre 50 a 5mm, com maior proporção na classe de tamanho 55-250  $\mu\text{m}$  (66%), seguido por 251-350  $\mu\text{m}$  (18%), 351- 500  $\mu\text{m}$  (8%) e com menor proporção nas classes de 501- 1mm (5%) e 1-5mm (3%). Os fragmentos variaram 64 a 3mm, com maior proporção no tamanho 55-250  $\mu\text{m}$  (37%), seguidos por 501-1mm (24%), 251- 350  $\mu\text{m}$  (18%), 1-5mm (4%). Os filmes tiveram variação no tamanho 240 a 4mm, com predominância na classe 55-250  $\mu\text{m}$  (42%), seguido por 351- 500  $\mu\text{m}$  (25%), 501-1mm (17%), 251- 350 (9%) e 1-13mm (7%) (Figura 4).

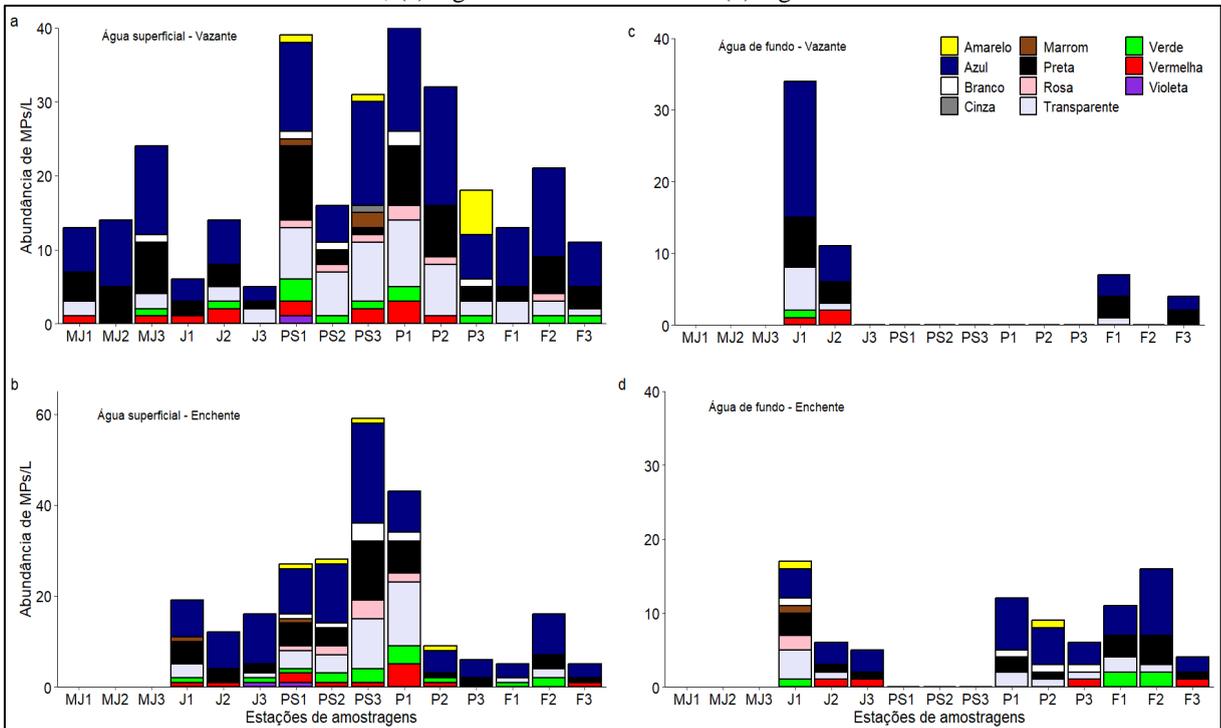
Figura 2 -Caracterização dos MPs com relação aos formatos amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial- vazante, (b) Água Superficial- enchente, (c) Água de

Fundo- vazante e (d) Água de Fundo- enchente



Fonte: Autoria própria.

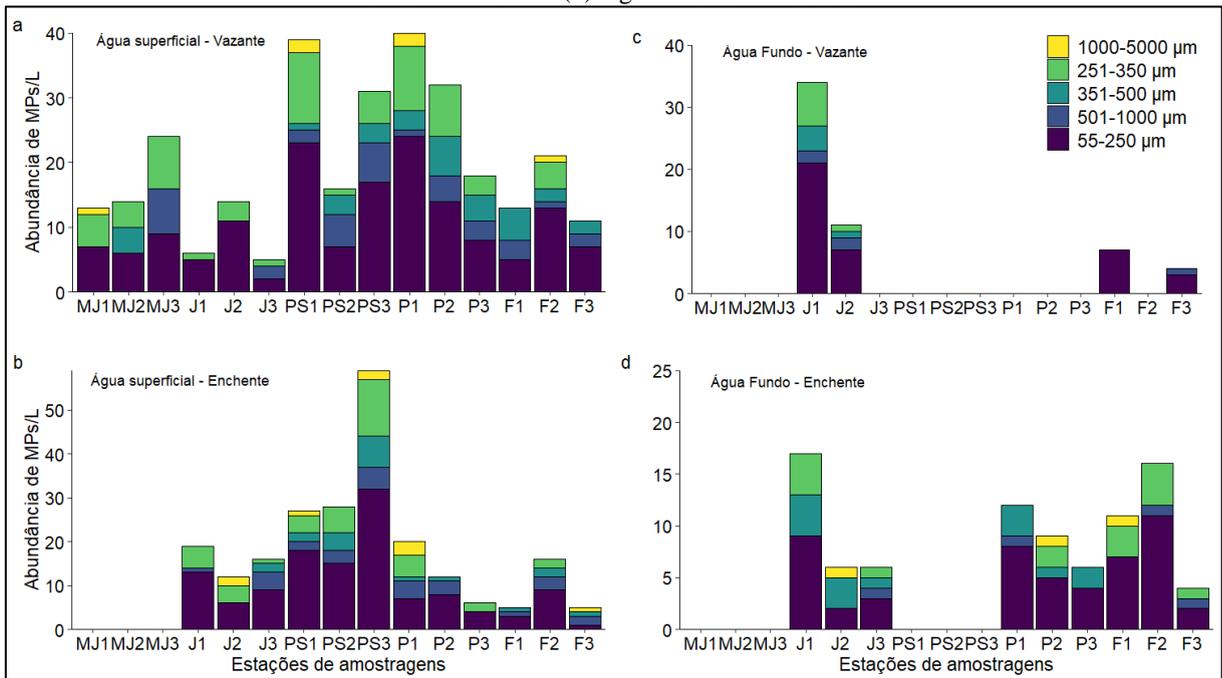
Figura 3 - Caracterização da proporção dos MPs com relação as cores amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial- vazante, (b) Água Superficial- enchente, (c) Água de Fundo- vazante e (d) Água de Fundo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 -Caracterização dos MPs conforme as classes de tamanho amostras de água- J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza). (a) Água Superficial- vazante, (b) Água Superficial- enchente, (c) Água

de Fundo- vazante e (d) Água de Fundo- enchente.



Fonte: Autoria própria.

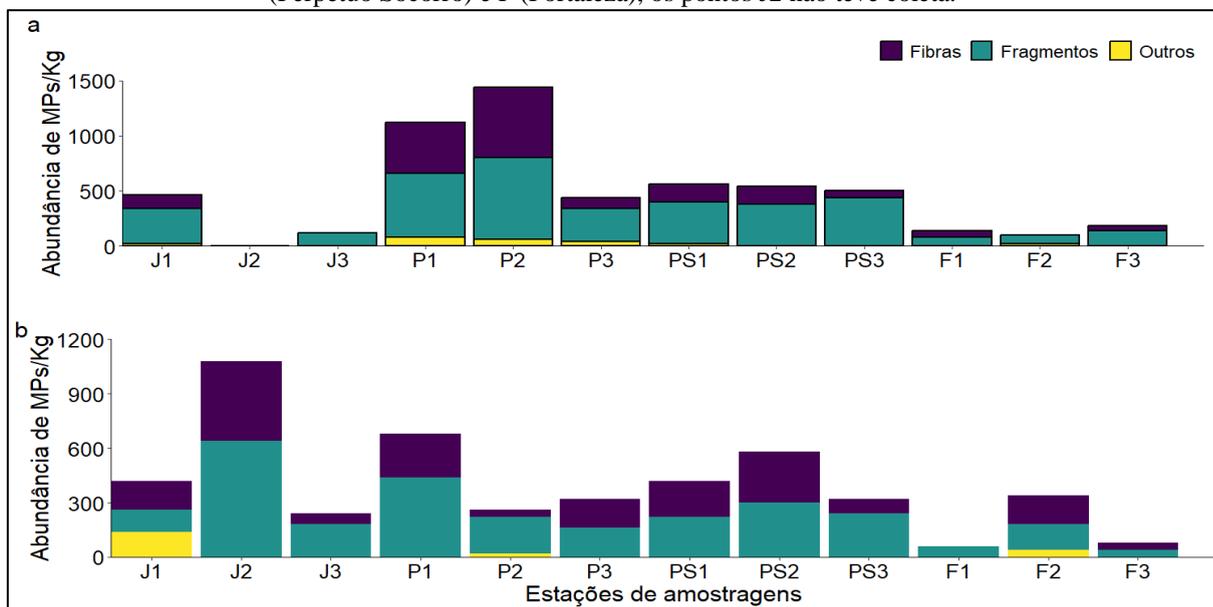
### 2.3.2 Sedimento

Em todas as amostras de sedimento foram encontrados possíveis MPs com uma quantidade média de  $453 \pm 345$  MPs/Kg. Os fragmentos foram o formato predominante (61%), seguidos por fibras (35%), enquanto o formato com menor quantidade foram os filmes e microesferas que representam 4% (Figura 5).

A coloração encontrada para os fragmentos foi transparente (23%), azul (22%), preto (16%), branco (11%), amarelo (9%), verde (8%) e vermelho (5%), as demais cores como cinza, laranja, marrom e violeta representaram juntos menos do que 7%. A coloração encontrada para as fibras apresentou a maior proporção na cor transparente (28%), azul (26%), preta (19%), amarela (9%), vermelha (8%), verde (7%) e o rosa 3%. As demais categorias como filmes foram encontradas na coloração transparente (88%), branco e amarela com 6% cada. As microesferas foram encontradas somente em duas cores, na coloração transparente (57%) e branca (43%). As espumas foram encontradas somente na cor branca (Figura 6).

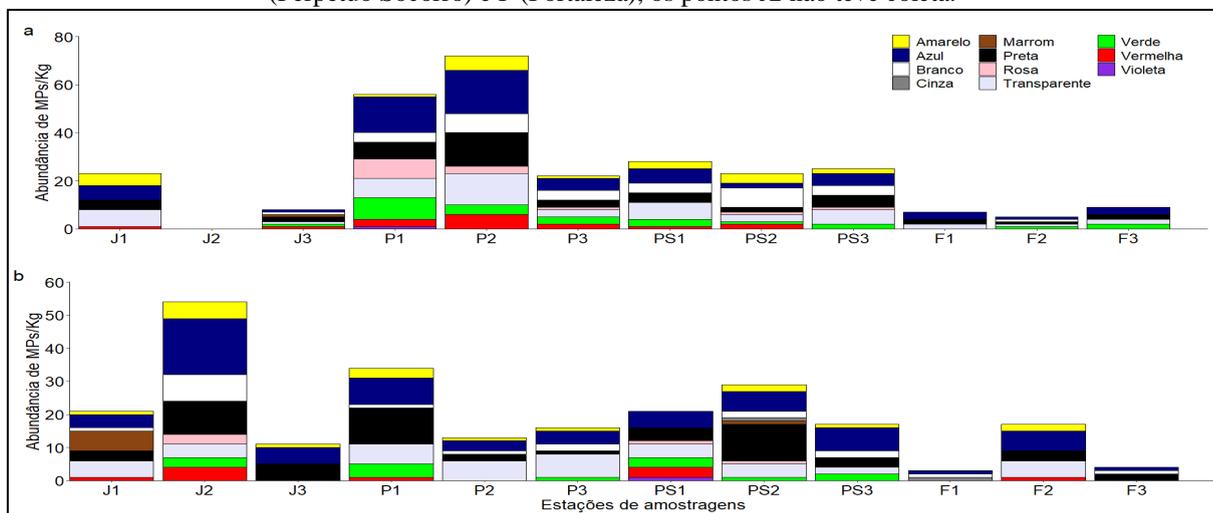
Os fragmentos variaram de tamanho entre 100 a 4mm, com maior proporção na faixa 63-250 µm (40%), seguido 501- 1 mm (21%), a faixa 301-500 µm (13%), 1-5 mm (15%) e com menor proporção 251-350 µm (11%). A categoria das fibras foi encontrada entre tamanhos de 100 a 3mm, com maior proporção na faixa 63-250 µm (41%), 351-500 µm (26%), seguido do tamanho 501-1mm (17%), 251- 350 µm (14%) e com menor proporção (2%) 1-5 mm (Figura 7).

Figura 5 - Caracterização dos MPs com relação ao formato amostras de sedimento; J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta.



Fonte: Autoria própria.

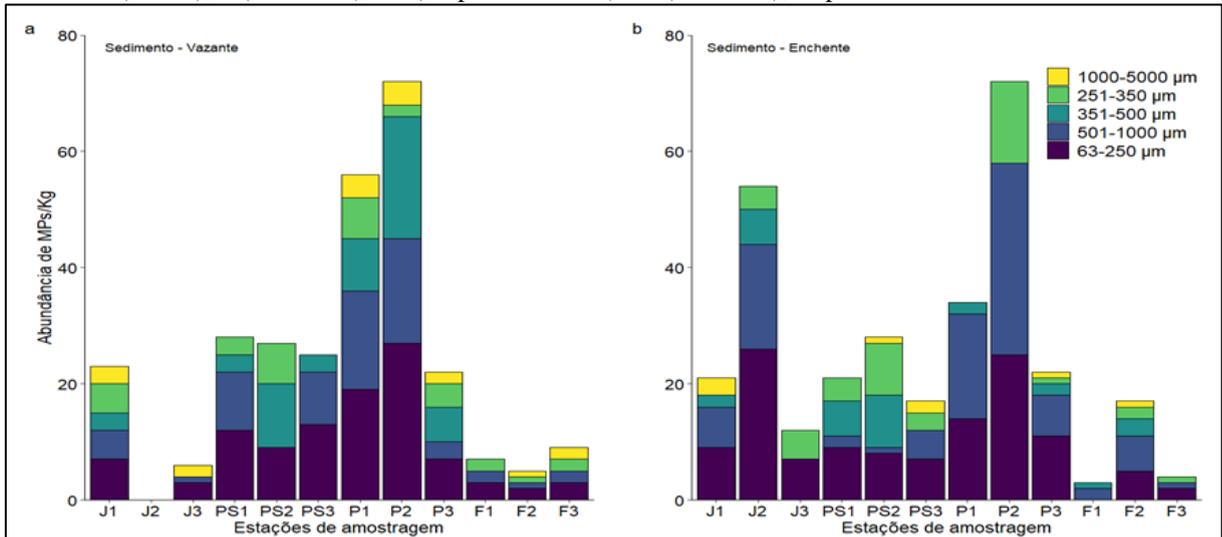
Figura 6 - Caracterização dos MPs com relação as cores amostras de sedimento; J (Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Caracterização dos MPs com relação conforme as classes de tamanho amostras de sedimento; J

(Jandiá), P (Pedrinhas), PS (Perpétuo Socorro) e F (Fortaleza), os pontos J2 não teve coleta.



Fonte: Autoria própria.

### 2.3.3 Quantidade e variação entre as profundidades

Maiores quantidades de MPs ocorreram para as amostras de superfície, em relação ao fundo ( $p = 0,043$ ). Para as amostras de água de superfície, o formato predominante foi das fibras com 64%, seguido por fragmentos (33%), enquanto filmes, espumas e microesferas juntas representaram (3%). A categoria das fibras teve proporção predominante na coloração azul (46%), preta (24%), transparente (19%) e as demais cores representaram 11%. O formato dos fragmentos apresentou a maior proporção na coloração azul (37%), preto (19%), verde (14%), transparente (8%), amarelo (7%) e as demais cores representaram 7%.

Para as amostras de água de fundo, as fibras também foram predominantes (72%), seguidas por fragmentos (26%) e as demais formas como filmes e microesferas foram pouco representativas (2%). As fibras tiveram proporção maior na coloração azul (50%), preto (21%), transparente (20%) e as demais cores como vermelho, verde e rosa somadas tiveram proporção de 9%. Assim como as fibras, os fragmentos tiveram predomínio na coloração azul (41%), seguidos por transparente (14%) enquanto as cores verde e branco tiveram a mesma proporção (9%).

### 2.3.4 Quantidade entre os Pontos Amostrais e as Marés

Durante a maré vazante para área urbanizada, encontrou-se na água superficial para o canal Jandiá quantidade 6 MPs/L (P1), 14 MPs/L (P2) e 5 MPs/L na estação P3. O Mendonça Júnior na estação amostral P1 apresentou 11 MPs/L, 5 MPs/L no P2 e 11 MPs/L no ponto de coleta P3. Para o canal Pedrinhas na estação amostral P1 foram encontrados 40 MPs/L, 32 MPs/L na estação P2 e 18 MPs/L no ponto P3. O Perpétuo Socorro a quantidade de 39 MPs/L no P1,

16 MP/L na estação P2 e 31 MP/L em P3. No canal Jandiá para a amostra de água de fundo na estação amostral P1 encontrou-se 34 MP/L e 11MP/L na estação (P2). Enquanto na área vergetada no Fortaleza, encontrou-se uma quantidade em P1 de 13 MP/L, 21MP/L em P2 e 11 MP/L na estação P3. E para água de fundo do Fortaleza encontrou-se quantidade 7 MP/L no P1 e 4 MP/L na estação P3.

Na maré enchente na área urbanizada nas amotras de água superficial, o canal Jandiá apresentou quantidade de 19 MP/L no P1, 12 MP/L na estação P2 e 16 MP/L na estação P3. O Pedrinhas 43 MP/L quantidade encontrada no P1, enquanto no P2 foram encontrados 9 MP/L e 6 MP/L no ponto P3. O Perpétuo Socorro na estação P1 encontrou-se quantidade 27 MP/L, na estação P2 foi de 28 MP/L e 59 MP/L na jusante (P3). Para amostras de água de fundo, encontrou-se quantidade no Jandiá no P1 de 17 MP/L, e uma quantidade no P2 de 6 MP/L e 5 MP/L na jusante na estação de coleta P3. A quantidade encotrada no Pedrinhas no primeiro ponto de coleta no P1 foram 12 MP/L, enquanto no P2 a quantidade foi de 9 MP/L e 6 MP/L no P3. Contudo, a área vegetada no Fortaleza apresentou quantidade no P1 de 5 MP/L, o P2 foram encontrados 16 MP/L e 5 MP/L na última estação de coleta no P3. E para água de fundo, o Fortaleza teve quantidade no P1 de 11 MP/L, P2 de 16 MP/L e na última estação no P3 de 4 MP/L.

Durante a vazante os canais apresentaram quantidade média de 9 MP/L para o Mendonça, o Jandiá 14 MP/L, Pedrinhas 30 MP/L, Perpétuo Socorro 29 MP/L e o Fortaleza 10 MP/L. Com relação a maré enchente encontrou-se maior quantidade no Perpétuo socorro 38 MP/L, Pedrinhas com 14 MP/L, Jandiá 9 MP/L e o Fortaleza apresentou a menor quantidade de 11MP/L. A quantidade média de todos os canais de estudo durante a maré vazante foi de 17 MP/L, enquanto na enchente foi de 16 MP/L. Não houve diferença significativa para a quantidade de MPs entre as amostras de água coletadas na maré enchente e na vazante ( $p= 0,55$ ). Para as amostras de água coletadas nos diferentes compartimentos, encontrou-se uma quantidade média de  $20 \pm 13$  MP/L em P1 (montante),  $15 \pm 8$  MP/L em P2 (meio) e  $14 \pm 15$  MP/L em P3 (jusante). Não houve diferença significante entre os compartimentos ( $p= 0,119$ ).

Para as coletas realizadas na maré vazante na área urbanizada, o Pedrinhas apresentou a maior quantidade encontrada para as estação P1 e P2, onde foi encontrada na estação P1 uma quantidade de 1120 MP/Kg, no P2 de 1440 MP/Kg e de 440 MP/Kg no P3. Para o Jandiá foi encontrada uma quantidade na estação P1 de 460 MP/Kg e 120 MP/Kg no (P3). O Perpétuo Socorro na estação P1 com uma quantidade de 560 MP/Kg, 540 MP/Kg no P2 e 500 MP/Kg

na estação P3. E na área vegetada, o Fortaleza apresentou a menor quantidade em todas as estações, no P1 encontrou-se 140 MPs/Kg, 100 MPs/Kg no P2 e 180 MPs/Kg na estação de coleta P3.

Durante a maré enchente, o Pedrinhas teve a maior quantidade para estação (P1) de 680 MPs/Kg, os demais pontos de coletas apresentaram 260 MPs/Kg para P2 e 320 MPs/Kg no P3. O Jandiá encontrou-se quantidade no P1 de 420 MPs/Kg, o P2 de 1080 MPs/Kg e 240 MPs/Kg para o P3. Para o Perpétuo Socorro as estações de coleta P1, P2 e P3 apresentaram uma quantidade de 420 MPs/Kg, 580 MPs/Kg e 340 MPs/Kg. O Fortaleza na área vegetada com uma quantidade de 60 MPs/Kg no P1, 340 MPs/Kg para o P2 e 80 MPs/Kg no P3. No que refere-se a quantidade média encontrada na Montante (P1) foi de  $483 \pm 307$  MPs/kg, enquanto para o meio (P2) foi de  $620 \pm 442$  MPs/kg e para a jusante (P3) foi de  $280 \pm 136$  MPs/kg. Não houve diferença estatisticamente significativa ( $p= 0,17$ ).

Para a quantidade encontrada na maré vazante o canal Pedrinhas apresentou a maior quantidade de 1000 MPs/Kg, os demais apresentaram quantidade média de 533 MPs/Kg no Perpétuo Socorro, Jandiá 290 MPs/Kg e a menor quantidade no Fortaleza de 140 MPs/Kg. Durante a maré enchente o canal Jandiá teve a maior quantidade de 580 MPs/Kg, o Perpétuo Socorro com 447 MPs/Kg, Pedrinhas com 420 MPs/Kg e a menor quantidade de 160 MPs/Kg. A quantidade média encontradas para todos os canais durante a maré vazante foi de 509 MPs/Kg, enquanto, para a maré enchente foi de 401 MPs/Kg. Não houve diferença significativa ( $p=0,498$ ), para a quantidade de MPs em sedimentos em relação às marés.

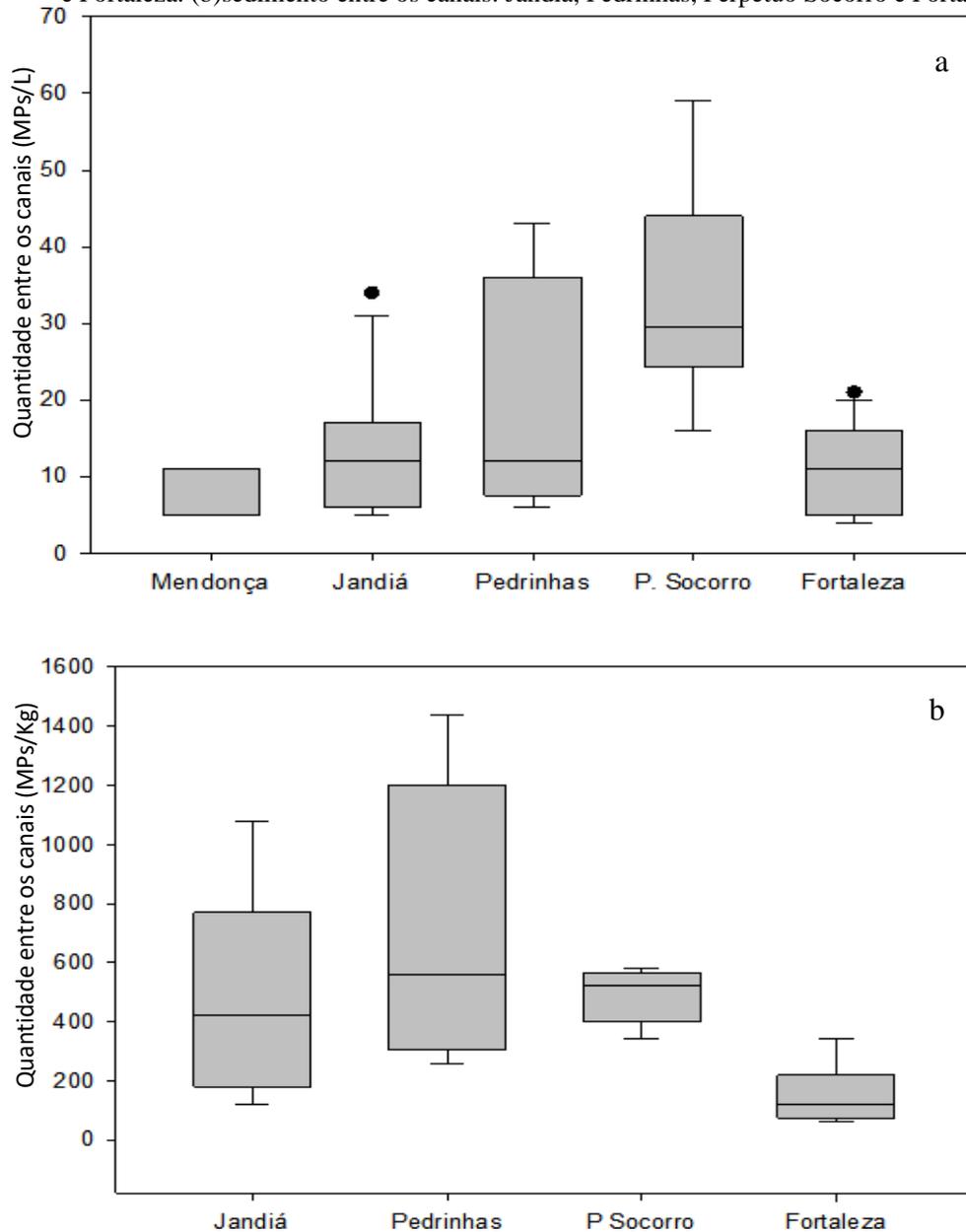
### 2.3.5 Quantidade entre os canais

O canal Perpétuo Socorro apresentou a maior quantidade de MPs em comparação com os outros canais, com uma média de 33MPs/L, enquanto que a menor quantidade foi registrada no igarapé Fortaleza, com 10 MPs/L (Figura 8A). O canal Mendonça Júnior teve uma quantidade média 9 MPs/L, contudo, foi desconsiderado devido o número amostral, enquanto, o Pedrinhas com 19 MPs/L e o Jandiá de 13 MPs/L. Verificou-se que existe variação significativa, com relação aos valores medianos entre os canais (Perpétuo Socorro x Fortaleza), onde  $p= 0,009$ .

Para o sedimento, o canal Pedrinhas apresentou a maior quantidade média em comparação com outros canais de 710 MPs/Kg, enquanto o Fortaleza apresentou a menor quantidade encontrada 150 MPs/Kg, (Figura 8B). A quantidade encontrada no Perpétuo Socorro foi de 490 MPs/Kg, o Jandiá com 464 MPs/Kg. Verificou-se uma diferença

significativa entre os canais, principalmente entre os canais Pedrinhas x Fortaleza, onde  $p=0,021$  e entre os canais Perpétuo Socorro x Fortaleza onde  $p=0,032$ .

Figura 8 - Quantidade de Mps (a) água entre os canais: Mendonça, Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro e Fortaleza. (b) sedimento entre os canais: Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro e Fortaleza.



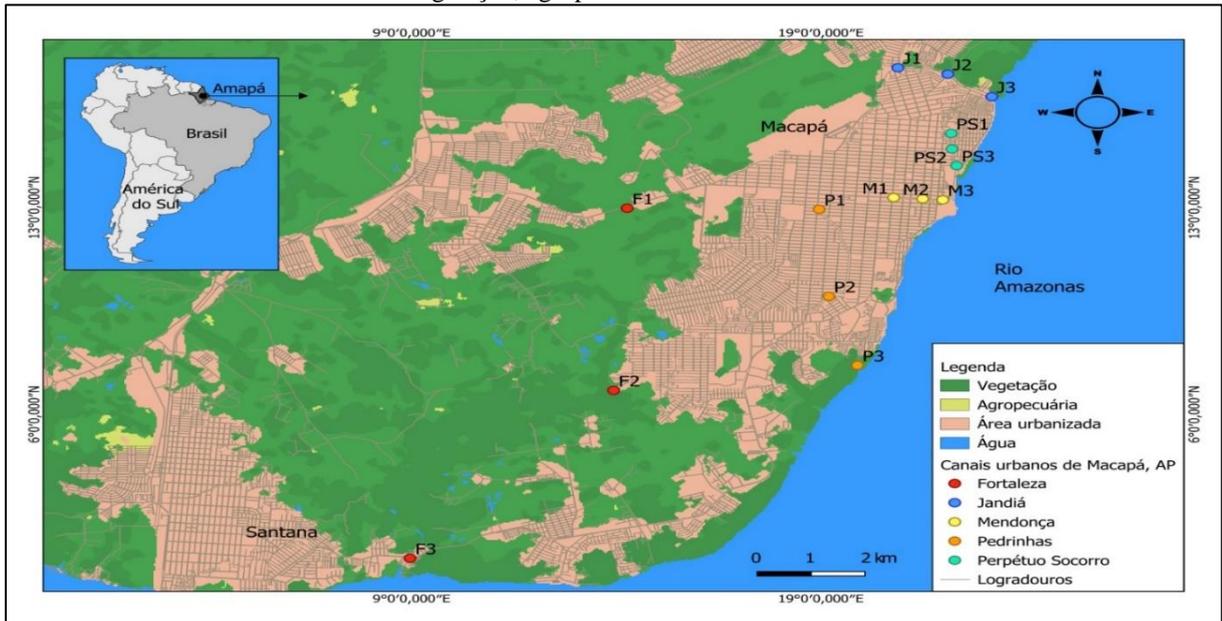
Fonte: Autoria própria.

### 2.3.6 Uso e Cobertura do Solo

Através da imagem do uso e cobertura do solo da cidade de Macapá, foi possível observar que os pontos de coleta nos canais Perpétuo Socorro, Pedrinhas, Mendonça Júnior e Jandiá estão localizados em área fortemente urbanizadas. Já o canal Fortaleza está inserido em uma área de vegetação. A quantidade de MPs foi maior nos canais Pedrinhas, Perpétuo Socorro,

Mendonça Júnior e Jandiá que estão localizados em área urbanizada, enquanto a menor quantidade foi encontrada no Fortaleza, onde localiza-se uma área de APA nas margens do Fortaleza.

Figura 9 - O Mapa de uso e ocupação do solo representando a localização dos pontos de coleta em Macapá nos canais: Mendonça, Jandiá, Pedrinhas, Perpétuo Socorro e Fortaleza. O município apresenta áreas de vegetação, agropecuária e urbanizada.



Fonte: Autoria própria.

## 2.4 Discussão

### 2.4.1 Características Morfológicas dos MPs

O presente estudo fornece as primeiras evidências da contaminação por MPs nas águas e sedimentos dos canais urbanos de Macapá e para ambientes aquáticos continentais em geral para o estado. A área de estudo apresentou quantidade média para água superficial de 19 MPs/L, quantidade maior quando comparado com estudos realizados na região Amazônica. Até o presente momento, foram investigados MPs nas águas superficiais, onde encontram uma quantidade menor nos córregos e rios (0,005- 0,152 MPs/L, Rico *et al.*, 2023), e na baía do Guajará e rio Guamá (0,218- 5,53 MPs/L, Santos *et al.*, 2023). O estudo realizado por Rico *et al.* (2023) não considerou as fibras, enquanto o presente estudo considerou esse formato.

Além disso, no estudo de Rico *et al.* (2023) foi utilizado bomba e o material foi filtrado através da rede de plâncton de 55  $\mu\text{m}$ . Em Santos *et al.* (2023) utilizou-se balde que coletou 100L e rede de plâncton com abertura de malha de 50  $\mu\text{m}$  para filtração, enquanto o presente estudo empregou garrafa de Van Dorn que coletou 1L de água em cada estação amostral. O estudo realizado por Rico *et al.* (2023) coletou e analisou amostras coletadas em cidades de grandes porte da região Amazônica (Belém, Manaus, Santarém e Macapá), onde teria a ter a

maior quantidade de microplásticos, indicando uma maior poluição por esses detritos.

A falta de padronização pode ser uma das possíveis causas para as diferenças encontradas com dados da literatura para a região Amazônica, devido aos diferentes métodos empregados durante a amostragem, extração e identificação (Morais *et al.*, 2024). Além disso, o nível de urbanização e a densidade populacional são fatores que influenciam a quantidade de MPs em ambientes de água doce (Talbot; Chang, 2022).

O formato dominante dos MPs nas amostras de água dos canais urbanos de Macapá foram das fibras. Estudos publicados para a região Amazônica mostraram as fibras como a categoria dominante em amostras de água nos rios e córregos da região (Rico *et al.*, 2023), resultado semelhante foi encontrado na baía do Guajará e no rio Guamá (Santos *et al.*, 2023), assim como na plataforma Continental Amazônica (Queiroz *et al.*, 2022).

As fibras são abundantes nos cursos hídricos que não recebem tratamento (Schell *et al.*, 2021), quando são levados em consideração uma cidade com milhares de habitantes, a frequência desse material no curso hídrico é maior, sendo que são despejados diretamente nos canais urbanos de Macapá. Segundo dados nacionais em torno de 66,95% dos brasileiros são atendidos com serviços de esgotamento sanitário, enquanto, a cidade de macapá apresenta os piores índices no oferecimento desse serviço, em torno de 89,45% da população de Macapá não são atendidos com a prestação desse serviço básico (Snis, 2021). Somados a isso, a pressão demográfica gera o despejo direto de resíduos sólidos nos canais ou no entorno dos cursos hídricos. A deficiente coleta de entulhos e os maus hábitos da população que despeja os resíduos sólidos no entorno dos canais (margens) (Cardoso *et al.*, 2015), também devem influenciar na quantidade de resíduos plásticos no local.

As fibras liberadas do processo realizado por máquinas de lavar, de tecidos sintéticos chegam a até 1900 fibras por peça de roupa (Horton *et al.*, 2017). Em Macapá existe um elevado número de residências localizadas no entorno dos canais, que utilizam a máquina de lavar. Os detritos gerados do processo da lavagem de roupa são descartados diretamente nos afluentes domésticos, que são despejados diretamente sem qualquer tratamento nos canais que cortam a cidade. Tal atividade pode configurar com uma das possíveis origem das fibras nos canais de drenagem, sendo importante destacar que Macapá, assim como outras cidades da região norte, não possuem tratamento de esgoto (ITB, 2022). Somados a isso, existe na região a atividade pesqueira, onde uma prática comum é o abandono dos artefatos utilizados como redes, cordas e linhas no meio aquático e em praias (Martinelli Filho; Monteiro, 2019).

A presença de fragmentos pode estar relacionada ao descarte de material plástico em local inadequado como nas ruas e nos canais urbanos. Os fragmentos podem ter origem da

degradação de plásticos maiores em meio natural, de materiais que são utilizados no cotidiano (Barnes *et al.*, 2009). A maioria dos formatos encontrados podem ser classificados como MPs secundários. Neste estudo, também foram encontrados com menor proporção filmes, espumas e pellets.

Das cinco categorias utilizadas na classificação para os MPs encontrados na água com base no tamanho, destacou-se a classe de 50 – 250  $\mu\text{m}$  como mais abundante, faixa de tamanho semelhante ao encontrado no estudo de Rico *et al.* (2023) que encontrou como mais abundantes MPs menores de 300  $\mu\text{m}$  para rios da Amazônia. A preocupação mundial em relação aos riscos do microplástico, vai além da quantidade, mas principalmente em relação ao tamanho e formato, pois quanto menor o tamanho, mais biodisponível se torna aos organismos presentes no meio (Yan *et al.*, 2019). Além disso, tais partículas podem adsorver poluentes orgânicos e metais pesados (Branco *et al.*, 2023), produtos químicos nocivos que podem existir no ambiente aquático circundante, resultando em impactos aos organismos do ambiente (Ding *et al.*, 2021) e podem ser transferidos ao longo da cadeia trófica, a níveis mais elevados.

Os MPs apresentaram uma diversidade de cores neste estudo como: azul, transparente, verde, vermelho, violeta, preto e dentre outras. Em uma região próxima a Manaus, Guimarães *et al.* (2023) documentou a presença principalmente de fibras na coloração azul no camarão *Macrobrachium amazonicum* no rio Amazonas. Para as águas superficiais da Plataforma continental amazônica, a cor azul destacou-se nos fragmentos, as fibras azuis já foram predominantes para essa área durante a estação seca (Queiroz *et al.*, 2022). Estas observações podem estar ligadas a maior disponibilidade dessas cores no ambiente, tendo origem de diversos tipos de materiais plásticos, que são gerados da fragmentação de linhas de pesca, cordas, garrafas e dentre outros materiais (Andrade *et al.*, 2019).

#### 2.4.2 Sedimento

Neste estudo para o sedimento foi encontrada uma quantidade média de 453 Mps/Kg, a máxima quantidade média encontrada foi no Pedrinhas de 100 MPs/Kg e o mínimo de 140 MPs/Kg no Fortaleza. Encontrou-se uma quantidade superior para sedimento de rios Amazônicos (417- 8178 MPs/Kg, Gerolin *et al.*, 2020). A diferença encontrada deste estudo com estudo de Gerolin *et al.* (2020), seja principalmente devido ao nível de urbanização da área fonte, a cidade de Manaus é uma metrópole da Amazônia, que apresenta mais de 2 milhões de pessoas, além disso na cidade localiza-se mais de 500 indústrias (Suframa, 2021).

É sugerido que quanto maior o grau de urbanização e industrialização, é esperando um maior nível de poluição dos corpos hídricos devido à proximidade com a fonte de plásticos

(Yang *et al.*, 2021). Além disso, os canais urbanos de Macapá apresentam um porte menor em comparação com rio Negro, o porte dos rios e o processos hidrodinâmicos como maior processo deposicional ou erosivo são características que influenciam na quantidade encontrada por Gerolin *et al.* (2020). Segundo Gerolin *et al.* (2020) os processos hidráulicos combinados com a proximidade da área urbana de Manaus são fatores que influenciaram para a maior quantidade de MPs no rio Negro, resultando no acúmulo de MPs nos sedimentos (Gerolin *et al.*, 2020).

A categoria predominante nas amostras de sedimentos foram fragmentos (61%), resultado semelhante ao estudo realizado no rio Antuã, Portugal (Rodrigues *et al.*, 2018). Essa diferença se deve, provavelmente, às características morfológicas do material como densidade, tamanho e forma (Bessiling *et al.*, 2019). Os fragmentos possivelmente apresentem uma densidade maior que água e tendem a depositar-se no fundo, onde os MPs de alta densidade podem se acumular (Kye *et al.*, 2023).

A deposição pode ocorrer também devido a agregação de biofilmes e poluentes, o que permite alterar a densidade da partícula presente na coluna de água (Yang *et al.*, 2021). Além disso, a bioincrustação, que é a agregação de algas/microrganismos na superfície dos MPs, pode aumentar a densidade e acelerar a deposição (Nkosi *et al.*, 2023). Segundo Santos *et al.* (2014) os canais de estudo Jandiá e Fortaleza apresentaram altas concentrações de metais (Mg, Pb e Zn), ultrapassando os valores de referência do CONAMA nº344/2004, sendo encontrados nos sedimentos e nas plantas localizados nos respectivos cursos hídricos, sendo resultante de resíduos poluentes como do vazamento de motor dos barcos, o descarte direto de sucatas metálicas e o aporte de esgoto nos respectivos cursos hídricos, são práticas bastante utilizadas pela população do entorno. Assim, os MPs presentes nos canais possivelmente já apresentam contaminantes adsorvidos presentes no meio.

Dentre as faixas de tamanho analisadas neste estudo, as mais frequentes foram 63-250 µm (40%) e 501-1mm (21%). No rio Negro e Solimões houve a dominância de partículas menores que 1mm (Gerolin *et al.*, 2020). Segundo Yang *et al.* (2021) geralmente os MPs mais abundantes em sedimentos de água doce apresentam tamanho inferior a 1mm, e conforme o tamanho da partícula aumenta a frequência tende a diminuir no sedimento.

Os fragmentos encontrados nos canais foram constituídos principalmente das cores transparente, azul e preto. Essa mesma coloração foi observada no estudo realizado no rio Crocodilo, África do Sul (Nkosi *et al.*, 2023). A cor transparente está dentre as mais observadas em MPs de sedimentos de água doce (Yang *et al.*, 2021), atualmente existe uma ampla diversidade de materiais com essa coloração indo dos plásticos descartáveis como talheres e copos, passando por utensílios cotidianos. De maneira semelhante, são observados inúmeros

materiais plásticos com as cores azul e preto, o que pode ser devido ao descarte de plásticos como garrafas, tampas, potes, utensílios domésticos e eletrodoméstico, dentre outros itens amplamente utilizados. A coloração preta pode ser resultante também da fragmentação e também do desgaste dos pneus dos veículos (Yang *et al.*, 2021).

#### 2.4.3 Quantidade e Distribuição de MPs nos Canais Urbanos

A ocupação de áreas úmidas é um problema visível, que somado ao descarte inadequado que ocorre ao longo dos canais, o despejo do esgoto não tratado e o descarte de resíduos sólidos diretamente nos cursos de água, resulta em graves problemas ambientais em Macapá (Weiser *et al.*, 2015; Cardoso *et al.*, 2015).

A quantidade de MPs encontrada na coluna de água variou entre a superfície e fundo, sendo que a maior quantidade foi encontrada nas amostras de água superficial. A diferença pode ser relacionada a vários fatores como forma, tamanho e densidade do material de origem (Ballet *et al.*, 2012; Montagner *et al.*, 2021). Além disso, as forças ambientais que podem influenciar na distribuição de MPs nos canais de estudo, podemos destacar a ação das marés somado a profundidade no momento da coleta, podendo interferir na quantidade em escala vertical.

O Fortaleza está inserido em uma área de vegetação, onde apresenta nas suas margens mata ciliar e banco de macrófitas, os canais Pedrinhas, Perpétuo Socorro e Jandiá apresentam banco de macrófitas. As margens vegetadas podem ser trechos de retenção dos microplásticos (Guimarães *et al.*, 2024), além disso, durante a maré vazante pode surgir áreas de aprisionamento no curso hídrico (Lotcheris *et al.*, 2024). Segundo experimentos e observações, materiais plásticos podem ficar parados e aprisionados em vegetação, infraestrutura ou sofrer o processo de deposição nas margens, devido a ação das marés (Guimarães *et al.*, 2024; Lotcheris *et al.*, 2024; Gonçalves *et al.*, 2022).

A entrada de MPs também ocorre através das águas pluviais que não recebem tratamento (Kumar *et al.*, 2021). Nas margens dos canais, podem ser encontradas inúmeras tubulações, que despejam diariamente águas residuais, além de tubos maiores que drenam bairros da cidade de Macapá. O derrame de esgoto doméstico e a proximidade com os centros urbanos provavelmente afetam a abundância, sendo este considerado um dos fatores que afetam a quantidade de MPs no ambiente de água doce (Eerkes-Medrano, Thompson; Aldridge, 2015; Kumar *et al.*, 2021).

A quantidade de MPs encontrada entre os canais variou significativamente, o Perpétuo Socorro apresentou a maior quantidade para as amostras de água e o Fortaleza apresentou a menor quantidade. Para as amostras de sedimento, a maior quantidade foi encontrada no

Pedrinhas, e a segunda maior no Perpétuo Socorro e a menor no canal Fortaleza. A diferença para a quantidade encontrada para as amostras de água entre Perpétuo Socorro e Fortaleza significativa, para as amostras de sedimento essa diferença foi entre Perpétuo Socorro e Fortaleza, e entre Pedrinhas e Fortaleza.

Pode-se inferir que essa diferença seja devida o nível de urbanização da área que os canais de estudo estão localizados. Os canais Perpétuo Socorro e Pedrinhas são fortemente influenciados nas suas margens pela ação antrópica do entorno, os referidos estão localizados próximo à área central da cidade e com maior tráfego de pessoas. Luo *et al.* (2019) destaca que a abundância de MPs é maior próximo ao centro da cidade, pois apresentam a maior aglomeração de pessoas e construções.

Os canais Pedrinhas e Perpétuo Socorro apresentaram maior abundância de MPs, possível reflexo da proximidade com a área urbana em comparação com o Fortaleza que apresentou a menor quantidade. Além disso, o Fortaleza apresenta uma extensão maior de área vegetada. É sugerido que pode ocorrer o aprisionamento maior na vegetação, presente no canal Fortaleza em comparação com os demais, devido área florestal, que pode aprisionar tanto o macro- como o microplástico (Guimarães *et al.*, 2024; Gonçalves *et al.*, 2022).

Este estudo é o primeiro que investiga a quantidade de MPs em água e sedimento, para os canais urbanos de Macapá (Amapá). Os resultados obtidos estão dentro da faixa observada para estudos em áreas adjacentes (e.g Rico *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023; Gerolin *et al.*, 2020), Entretanto a quantidade de MPs apresentada pode ter sido superestimada, uma vez que não temos ainda os resultados das análises na espectroscopia para corroborar através da identificação química dos polímeros (Montagner *et al.*, 2021).

É importante destacar que possa existir uma proporção de fibras constituintes de celulose (e.g Santos *et al.*, 2023), todavia, tais fibras geralmente possuem origem antropogênica, que são originadas de atividades que liberam material fibroso, como a lavagem de roupas (McCormick *et al.*, 2016).

É importante destacar que a presença de MPs em todas as amostras demonstra o atual estado de contaminação dos cursos hídricos de centros urbanos da Amazônia. O despejo de efluentes não tratados e o descarte inadequado de resíduos nos rios e a urbanização, são as principais fontes (Kumar *et al.*, 2021). A distribuição dos detritos de plástico na coluna de água pode ser influenciada através das características morfológicas (Talbot; Chang, 2022), vale destacar que a distribuição nos sistemas pode variar devido as características e localização de cada canal e assim podem variar na quantidade de MPs, devido à proximidade com as áreas fontes (Yuan *et al.*, 2022).

São necessários estudos complementares, pois é essencial para entender o papel das marés e as possíveis variações sazonais na quantidade dos MPs nos canais urbanos, tendo em vista a necessidade de amostragens em ciclos completos de marés, pois neste estudo faltou a coleta em alguns pontos e alguns momentos das marés. Contudo, têm a necessidade de estudos em diferentes períodos sazonais, para dimensionar a influência no escoamento pluvial da quantidade de MPs nos cursos hídricos, são indispensáveis para uma melhor compreensão do papel das forçantes ambientais na distribuição e como fonte de MPs para a calha norte do rio Amazonas.

## **2.5 Conclusão**

Este estudo encontrou a quantidade de 19 MPs/L nas amostras de água e no sedimento de 453 MPs/Kg, e características morfológicas conforme a maré e os pontos amostrais na distribuição de microplásticos na água superficial e de fundo, assim como sedimentos de fundo de cinco canais urbanos de Macapá, estado do Amapá. Em comparação com estudos existentes para a região Amazônica, a quantidade e as características morfológicas dos MPs foram semelhantes com demais resultados encontrados para a região. Encontrou-se maior quantidade de microplástico para as amostras de água superficiais em comparação com as amostras de fundo. Os resultados indicaram para as amostras de água houve a maior proporção no formato das fibras, enquanto para o sedimento foram predominantemente os fragmentos.

Com base nas análises das possíveis fontes na distribuição das formas, tamanhos e cores dos MPs encontrados, possivelmente indicam a contaminação oriunda da descarga de esgoto doméstico, escoamento superficial das áreas dos entornos dos canais, assim como, da fragmentação dos apetrechos de pesca, além do descarte de resíduos plásticos maiores nas margens ou direto nos canais que cortam a cidade.

A quantidade de MPs detectadas nestes canais demonstra a dimensão da contaminação existente, assim como potencial fonte de partículas plásticas para a calha norte da foz do rio Amazonas. Entretanto, apesar da crescente pesquisa na região amazônica, ainda existem lacunas no ambiente de água doce. Além disso, existe uma diversidade de métodos para a detecção de microplásticos nesses ambientes em diferentes regiões geográficas, tanto nas amostras de água como sedimento, é necessária uma padronização dos métodos de investigação para realizar comparações diretas nos sistemas aquáticos e o comportamento dos MPs na coluna de água desses ambientes.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2022.
- AGUIAR, E. S. de, RIBEIRO, M. M., VIANA, J. H.; PONTES, A. N. Overview of urban waste disposal and its relationship with socio-environmental impacts in the states of the Brazilian Amazon. **Urbe**, v.13, e 20190263, 2021.
- ANDRADE, M.C.; WINEMILLER, K.O.; BARBOSA, P.S.; FORTUNATIC, A.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T. First account of plastic pollution impacting fishes in the Amazon: ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 766 – 773, 2019.
- ANDRADY, A.L.; NEAL, M.A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 364, p. 1977-1984, 2009.
- AMANTO-LOURENÇO, L.F.; OLIVEIRA-CARVALHO, R.; RIBEIRO JÚNIOR, G.; GALVÃO, L.S.; ANDO, R.A.; MAUAD, T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, e 126124. 2021
- BARBOZA, L. G. A., VETHAAK, A. D., LAVORANTE, B. R., LUNDEBYE, A. K.; GUILHERMINO, L. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 336-348, 2018.
- BARLETA, M.; LIMA, A.R; COSTA, M.F. Distribution, Sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. **Science of the Total Environment**, v.651, p.1199-1218, 2019.
- BERGMANN, M.; MÜTZEL, S.; PRIMPKE, S.; TEKMAN, M.B., TRACHSEL, J.; GERDTS, G. White and wonderful? Microplastics prevail in Snow from the Alps to the Arctic. **Science Advances**, v.5, n. 8., 2019. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157>.
- CALLÈDE, J., COCHONNEAU, G., ALVES, F. V., GUYOT, J.-L., Guimarães, V. S.; de OLIVEIRA, E de. Les apports en eau de l'Amazone à l'Océan Atlantique. **Revue Des Sciences de L'Eau**, v.23, n.3, p. 247–273, 2010.
- CARDOSO, M. A.; MOTA, P.D.M.; SILVA, L.C. da; MONTEIRO, S.C.; FERREIRA, J. F. C. O Despejo de resíduos sólidos nas ocupações irregulares no canal do Jandiá (Macapá- AP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.3, n.19, p. 149-161, 2015.
- COSTA, B. M.; SILVEIRA JÚNIOR, A. M. Educação ambiental e resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso em uma área úmida de Macapá, Amapá, Brasil. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n.12, p.75-87, 2020.
- COSTA, I. D. da, COSTA, L. L., OLIVEIRA, A. da Silva, CARVALHO, C. E. V. de, ZALMON, I. R. Microplastics in fishes in amazon riverine beaches: Influence of feeding mode and distance to urban settlements. **Science of the Total Environment**, v.863, e160934, 2023.

FIGLIORE, C. di; CARRIERA, F.; RUSSO, M. V.; AVINO, P. Are microplastics a macro issue? A review on the sources of contamination, analytical challenges and impact on human health of microplastics in food. **Foods**, v.12, n.21. 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12213915>.

DAMASCENO, M. da C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M.T de. Avaliação Sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.10, n.3, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>.

EERKES-MEDRANO, D.; THOMPSON, R.C.; ALDRIDGE, D.C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. **Water Research**. v. 75, p. 63-82, 2015.

EUROPE PLASTIC. **Plastic – The fator 2022**. Bélgica, 2022.

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

KIM, J. S.; LEE, H. J.; KIM, S. K.; KIM, H. J. Global pattern of microplastics (mps) in commercial food-grade salts: sea salt as an indicator of seawater MP pollution. **Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 21, p. 12819–12828. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL - SNIS. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2023 (SNIS 2021)**. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 21 dez. 2023.

MARTINELLI FILHO, J.E.; MONTEIRO, R.C.P. Windspread microplastics distribution at an Amazon macrotidal Sandy beach. **Marine Pollution Bulletin**, v.145, p. 219- 223, 2019.

GEROLIN, C. R.; PUPIM, F.N.; SAWAKUCHI, A.O.; GROHMANN, C.H.; LABUTO, G.; SEMENSATTO, D. Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 749, e 141604. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141604>.

GIARRIZZO, T.; ANDRADE, M.; WINEMILLER, K.O.; FERREIRA, M.; PEGADO, T.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; FEARNSIDE, P.M. Amazonia: the new frontier for plastic pollution. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, p. 309-310, 2019.

GUIMARÃES, G. dos A.; MORAES, B.R. de; ANDO, R.A.; SANT'ANNA, B. S.; PEROTTI, G.F.; HATTORI, G.Y. Microplastic contamination in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in Itacoatiara, Amazonas, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.195, n. 434. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11019-w>.

GÜVEN, O.; GOKDA, K.; JOVANOVIĆ, B.; KIDEY, A. E. Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. **Environmental Pollution**, v. 223, p. 286–294, 2017.

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION- GESAMP. **Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the Ocean**. 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>. Acesso em: 27 mai. 2022.

LEBRETON, L.; ZWEET, J.V. der; DAMSTEEG, W. J.; SLAT, B.; ANDRADY, A.; REISSER, J. River plastic emissions to the world's oceans. **Nature Communications**, v. 8, e 15611, 2017. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.

LEONETI, A.B; PRADO, E.L. do; OLIVEIRA, S.V.W.B. de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade no século XXI. **Revista de Administração Pública**, v.45, n. 2, p. 331-48, 2011.

LI, Q., MA, C., ZHANG, Q., SHI, H. Microplastics in shellfish and implications for food safety. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 192–197, 2021.

MASON, S. A., WELCH, V. G., NERATHO, J. Synthetic polymer contamination in bottled water. **Frontiers in Chemistry**, v.6. 2018. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>.

MEIJER, L. J. J., VAN EMMERIK, T.; ENT, R. V. der; SCHMIDT, C., LEBRETON, L. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. **Science Advances**, v.7, e. eaaz5803. 2021. DOI:10.1126/sciadv.aaz5803.

MUCELIN, A.C.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Urbelândia v.20 (1), p.111-124, 2008.

NITTROUER, C.A.; DEMASTER, D.J.; KUEHL, S. A.; FIGUEIREDO, A.G.; STERNBERG, R.W.; ERCILIO, C.F.; SILVEIRA, O.M.; ALLISON, M.A; KINEKE, G.C.; OGSTON, A.S; SOUZA FILHO, P.W.M; NIL, E.A.; NOWACKI, D.J; AARON, T.F. Amazon sediment transport and accumulation along the continuum of mixed fluvial and marine processes. **Annual Review of Marine Science**, v.13, p.501-536, 2021.

NOVAES, G. de O.; MONTEIRO, S. de M., ROLLNIC, M. microplastics on the fluvio-estuarine beaches of Cotijuba Island, Parí River Estuary (Brazil). **Journal of Coastal Research**, v.95, p.780-784, 2020.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS). **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 12 agost. 2023.

OLIVEIRA, L. G. de, HATTORI, G. Y., SANT'ANNA, B. S. Microplastic contamination in bathing areas in the Central Amazon, Itacoatiara, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 30 (55), p. 117748– 117758, 2023.

QUEIROZ, A.F. dos S.; CONCEIÇÃO, A. S. da; CHELAZZI, D.; ROLLNIC, M.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T.; FILHO, J. E. M. First Assessment Of microplastic and artificial microfiber contamination in surface Waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of The Total Environment**, v. 839, e 156259. 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156259.

RABELO, M.; S. S; GALINDO, A. G.; SILVA, F.P. da, SANADA, K. L. O Porto de Santana no estado Amapá como canal para o desenvolvimento do comércio internacional na Amazônia: reflexões introdutórias. **Revista Científica Multidisciplinar Do CEAP**. 2021.

RAGUSA, A.; SVELATO, A.; SANTACROCE, C.; CATALANO, P.; NOTARSTEFANO, V.; CARNEVALI, O.; PAPA, F.; RONGIOLETTI, M.C.A.; BAIOTTO, F.; DRAGHI, S.; D'AMORE, E.; RINALDO, D.; MATTA, M.; GIORGINI, E. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment International**, v.146, e 106274. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.

RICO, A.; RHAUL, de O.; SOUZA NUNES, G.S. de; RIZZI, C.; VILA, S.; VIZIOLI, B. de C.; MONTAGNER, C.C.; WAICHMAN, A.V. Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. **Chemosphere**, v. 291, e 132821. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132821>.

RICO, A.; REDONDO- HASSELERHARM, P.E; VIGHI, M.; WAICHMAN, A.V.; NUNES, G.S. de S.; RHAUL, de O.; SINGDAHL- LARSEN, C.; HURLEY, R.; NIZZETTO, L.; SHELL, T. Large- Scale monitoring and risk assessment of microplastics in the Amazon River. **Water Research**, v. 232, e 119707. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119707>.

RIBEIRO-BRASIL, D.R.G.; TORRES, N.R.; PICANÇO, A.B.; SOUSA, D.S.; RIBEIRO V.S.; BRASIL, L.S.; MONTAG, L.F. de A. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. **Environmental Pollution**, v. 266, e 115241. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115241>

SANTOS, L. F. O., NEU, V., MONTEIRO, R. C. P., KÜTTER, V. T., MORAIS, L. M. S., SOARES- GOMES, A., CHELAZZI, D., GIARRIZZO, T., MARTINELLI FILHO, J. E. Microplastics and microfibers in the Guajará Bay, Amazon delta: Potential sources and variability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, e 115525. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115525>.

SARDINHA, J.C. da S. Complexo Portuário de Santana, Amapá, Brasil: O uso e o efeito de políticas territoriais em Macapá. 2022. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amapá. 2022.

SHRUTI, V.C.; GUEVARA-PÉREZ, F.; MARTÍNEZ-ELIZALDE; MUNIASAMY-KUTRALAM, G. First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. **Science of the Total Environment**, v. 726, e 138580. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138580>.

SILVA, F. da C. da; CHAVES, A. F. F., MORAES, V. M. C., LESSA, R. J. de O., JUNIOR, O. C. D. Correlation between basic sanitation and vulnerability to the covid-19 pandemic in Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28. 2023. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220145>.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Panorama do Saneamento Básico do Brasil**. 2021.

PEREIRA, L. C. C.; DIAS, J. A.; CARMO, J.S. A. do; POLETTE, M. A zona costeira Amazônica Brasileira. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, p. 3-7. 2009.

TALBOT, R., CHANG, H. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. **Environmental Pollution**, v. 292, e 118393. 2022. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.118393](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118393).

TAKIYAMA, L.R.; SILVA, A.Q. da S.; COSTA, W.J. P.; NASCIMENTO, H. S. Qualidade das águas das ressacas das bacias do igarapé da Fortaleza e do rio Curiaú. *In*: TAKIYAMA, L. R.; SILVA, A. Q. (org.). **Diagnóstico das ressacas do estado do Amapá: bacias do igarapé da Fortaleza e rio Curiaú**. Macapá-AP. CPAQ/IEPA; DGEO/SEMA. 2004.

TIBBETS, J.; KRAUSE, S.; LYNCH, I.; SAMBROOK SMITH, G. Abundance, Distribution, and Drivers of Microplastic Contamination in Urban River Environments. *Water*, v. 10, n. 11, e 1597. 2018. <https://doi.org/10.3390/w10111597>.

TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M. Amapá. *In*. MUEHE, D. (org.) **Erosão e Progradação do litoral Brasileiro**, Brasília-DF. MMA, 2006. Cap.1, p. 11-40.

TOSTES, J. A.; Souza, A. C. M.; Ferreira, J.F. de C. O desenvolvimento local integrado entre as cidades de Macapá e Santana (Estado do Amapá, Brasil). **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidade do curso de Ciências Sociais da UNIFAP**. v. 8, i. 2, p. 149- 167, 2015.

TOSTES, J. A.; TAVARES, A. P. C. Planejamento urbano e a política habitacional em Macapá. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**. 2023.

VAN CAUWENBERG, L.; JANSSEN, C.R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. **Environmental Pollution**, v.193, p. 65-70, 2014.

VAN CAUWENBERGHE L., DEVRIESE L., GALGANI F., ROBBENS J., JASSEN C. R. Microplastics in Sediments: A review of techniques, occurrence and effects. **Marine Environmental Research**, v. 111, p. 5-17. 2015.

VILELA, C. de P. X. Influência da hidrodinâmica sobre os processos de acumulação de sedimentos finos no estuário do rio Amazonas, 85 p. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

WEISER, A.A.; ULIANA, B.B.; TOSTES, J.A. Áreas Úmidas na Amazônia: Macapá, uma cidade entre Rios, Lagos e Igarapés. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, p. 37-42, 2015.

WRIGHT, S. L.; THOMPSON, R. C.; GALLOWAY, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 483- 492, 2013.

XIA, W.; RAO, Q.; DENG, X.; CHEN, J.; XIE, P. Rainfall is a significant environmental factor of microplastic pollution in inland waters. **Science of The Environment**, v. 732, e 139065. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139065>.

YAN, Z.; LIU, Y.; ZHANG, T.; ZHANG, F.; REN, H.; ZHANG, Y. Analysis of Microplastics in human feces reveals a correlation between fecal microplastics and inflammatory bowel disease status. **Environmental Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 414-421, 2022.

YUAN, W., CHRISTIE-OLEZA, J. A., XU, E. G., LI, J., ZHANG, H., WANG, W., LIN, L., ZHANG, W., YANG, Y. Environmental fate of microplastics in the world's third- largest river: Basin-wide investigation and microplastic community analysis. **Water Research**, v.210, e 118002, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118002>.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C.; SUMMERHAYES, C.; WILLIAMS, M. The Anthropocene. **Geology Today**, v. 34, n. 5, p. 177-181. 2018.

## **CAPÍTULO 3 CONCLUSÃO GERAL**

### **3.1 Resultados Chave: impactos e implicações**

Com o intuito de responder o objetivo desta pesquisa que é avaliar a presença, quantidade e tipos de microplásticos em canais urbanos do município de Macapá, estado do Amapá, Amazônia brasileira, assim como analisar a importância de variáveis ambientais em relação à quantidade e distribuição de tais partículas. Os resultados gerados ao longo desta pesquisa foram:

- (1) O preenchimento na lacuna do conhecimento no estudo de microplástico para a região Amazônica, no que refere-se ao estado do Amapá;
- (2) Os MPs foram quantificados e classificados quanto ao seu formato, sendo predominante fibras nas amostras de água e fragmentos nas amostras de sedimento;
- (3) Os canais de estudo apresentaram diferença na quantidade de MPs encontrada. O Pedrinhas e Perpétuo Socorro apresentaram a maior quantidade, enquanto o Fortaleza apresentou a menor quantidade. Essa diferença pode ser resultante do nível de urbanização e ocupação do solo;
- (4) Os MPs encontrados são em parte resultantes da falta de políticas públicas eficazes na região Amazônica, se deve principalmente a precariedade dos serviços de saneamento básico oferecidos para a população de Macapá.

Tais resultados contribuem com a ciências ambientais, sendo este a primeira pesquisa que investiga a quantidade e as características morfológicas dos MPs em canais urbanos da região Amazônica, onde os estudos sobre poluição plástica são escassos na região, além disso, este é o primeiro estudo sobre a contaminação plástica em matrizes ambientais na cidade de Macapá. Os dados gerados poderão contribuir com a sociedade e podem ser utilizados como forma de conscientização ambiental, assim como por gestores e educadores com a finalidade de contribuir com a educação socioambiental sobre as práticas de descarte correto e a gestão adequada dos resíduos sólidos produzidos, assim como adoção de práticas mais conscientes de consumo. Os resultados gerados neste estudo podem servir como base, para ampliação de políticas básicas para a região norte, onde os serviços de saneamento básico como coleta e tratamento de esgoto e dos resíduos sólidos de forma adequada são serviços praticamente inexistente na região.

### **3.2 Sugestões para pesquisas Futuras**

Para os próximo estudos sugere-se a utilização de amostras coletadas em diferentes períodos sazonais, como chuvoso e menos chuvoso, para ampliação e compreensão em relação

a influência, que tais períodos podem ter na quantidade de microplástico, tendo em vista que o escoamento superficial transporta MPs para os cursos hídricos próximos. Além disto, a coleta de macrófitas aquáticas dos respectivos canais, para verificar a presença e a quantidade aprisionada e retida em suas raízes e folhas, sendo indispensável, a coleta de variáveis ambientais como condutividade elétrica e salinidade, para entender a mudança que ocorre da salinidade no período menos chuvoso, e até onde ocorre essa variação da salinidade nos cursos hídricos. Através de novas pesquisas na área, será possível compreender melhor o papel das forçantes ambientais na quantidade de MPs encontrados, assim como compreender a dimensão da poluição plástica na região amazônica, isso só é possível através de novos monitoramentos na área.

### **3.3 Considerações Finais**

Podemos inferir que a contaminação por microplásticos na área de estudo esteja ligada a falta de planejamento urbano, que resulta em ausência no fornecimento dos serviços de saneamento básico, tendo origem em atividades bastantes comuns na região Amazônica.

Os dados gerados neste estudo podem ser utilizados para subsidiar informações importantes para gestores públicos, servindo como base nas tomadas de decisão, principalmente para solicitar do governo atendimento e ampliação no fornecimento do serviço de saneamento básico para a região norte.

Por meio desse estudo é possível observar a necessidade existente de medidas de mitigação de impactos ocasionados pelo descarte inadequado do plástico no meio ambiente. O conhecimento sobre MPs apresenta muitas lacunas, principalmente na região Amazônica, estudos como esse são fundamentais para o monitoramento da qualidade ambiental. Há necessidade de realizar mais estudos na área, com o intuito de compreender o papel das forçantes naturais na distribuição de MPs, principalmente como contribuidores de detritos de plástico para a pluma do rio Amazonas e regiões adjacentes.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.C.; WINEMILLER, K.O.; BARBOSA, P.S.; FORTUNATIC, A.; CHELAZZIC, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T. First account of plastic pollution impacting fishes in the Amazon: ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 766-773. 2019.
- ARAUJO, C. F.; NOLASCO, M. M.; RIBEIRO, A. M. P.; RIBEIRO-CLARO, P. J. A. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. **Water Research**, v. 142, p. 426–440. 2018.
- BALLENT, A.; THOMSEN, L.; BALLENT, A.; PURSER, A. DE; P., MENDES, J.; PANDO, S.; THOMSEN, L. Physical transport properties of marine microplastic pollution. **Biogeosciences Discuss**, v. 9, p. 18755–18798. 2012.
- BARRETO, M. A. G.; GONÇALVES, M. F.; BEZERRA, R. M.; BRAGA, F. S.; BRAGA, T. G. M.; PAIVA, P. F. P. R. Heavy metal contamination in the Jandiá canal, municipality Of Macapá-AP, Brazilian Amazon. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n.2. e 04404. 2024.
- BESLEY, A.; VIJVER, M. G.; BEHRENS, P.; BOSKER, T. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. **Marine Pollution Bulletin**, v.114, n.1, p.77-83. 2017.
- BESSELING, E.; QUIK, J.T.K.; SUN, M.; KOELMANS, A.A. Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. **Environmental Pollution**, v. 220, p; 540–548. 2017.
- BLAIR, R. M.; WALDRON, S.; PHOENIX, V.R.; GAUCHOTTE- LINDSAY, C. Microscopy and elemental analysis characterisation of microplastics in sediment of a freshwater urban river in Scotland, UK. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 12491–12504. 2019.
- BRANCO, F. O. L.; PEGADO, T.; GIARRIZZO, T.; RODRIGUES, C. C. dos S., CORRÊA, J. A. M. Association between PAH and plastic fragments on Brazilian coast beaches: a baseline assessment. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 30, n. 58, p. 121895–121907. 2023.
- CAMARGO, A. L. G.; GIRARD, P.; SANZ-LAZARO, C.; SILVA, A. S. C.; FARIA, E. de; FIGUEIREDO, B. R. S.; CAIXETA, D. S.; BLETTLER, M. C. M. Microplastics in Sediments of the Pantanal Wetlands, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10. 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1017480>.
- CARBERRY, M.; O’CONNOR, W.; PALANISAMI, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. **In Environment International**, v. 115, p. 400–409. 2018.
- CARDOSO, M. A.; MOTA, P.D.M.; SILVA, L.C. da; MONTEIRO, S.C.; FERREIRA, J. F. C. O Despejo de Resíduos Sólidos nas Ocupações Irregulares no Canal do Jandiá (Macapá-AP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n.19, p. 149-161, 2015.

CHEN, J., DENG, Y.; CHEN, Y., PENG, X., QIN, H., WANG, T., ZHAO, C. Distribution patterns of microplastics pollution in urban fresh waters: a case study of rivers in Chengdu, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.19, n.15, e 8972. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19158972>

DAMASCENO, M. da C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M.T de. Avaliação Sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.10, n.3, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>.

DING, R.; TONG, L.; ZHANG, W. Microplastics in Freshwater Environments: Sources, Fates and Toxicity. In *Water, Air, and Soil Pollution*. **Springer Science and Business Media Deutschland GmbH**, v. 232, n. 181. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05081-8>.

EERKES-MEDRANO, D.; THOMPSON, R.C.; ALDRIDGE, D.C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs. **Water Research**. v. 75, p. 63-82, 2015.

FAN, J.; ZOU, L.; ZHAO, G. Microplastic abundance, distribution, and composition in the surface water and sediments of the Yangtze River along Chongqing City, China. **Journal of Soils and Sediments**, v.21, p. 1840-1851, 2021.

FAN, Y.; ZHENG, J.; DENG, L.; RAO, W.; ZHANG, Q.; LIU, T.; QIAN, X. Spatiotemporal dynamics of microplastics in an urban river network area. **Water Research**, v. 212, e 118116. 2022.

GAGO, J.; GALGANI, F.; MAES, T.; THOMPSON, R. C. Microplastics in seawater: Recommendations from the marine strategy framework directive implementation process. **Frontiers in Marine Science**, v.3, 2016. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00219>

GEROLIN, C. R.; PUPIM, F.N.; SAWAKUCHI, A.O.; GROHMANN, C.H.; LABUTO, G.; SEMENSATTO, D. Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 749, e 141604. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141604>.

GUIMARÃES, G. dos A.; MORAES, B.R. de; ANDO, R.A.; SANT'ANNA, B. S.; PEROTTI, G.F.; HATTORI, G.Y. Microplastic contamination in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* in Itacoatiara, Amazonas, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.195, n. 434. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11019-w>.

GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n.7, e1700782. 2017. DOI:10.1126/sciadv.1700782.

GUIMARÃES, G dos A.; PEREIRA, S.A.; Moraes, B.R.de; ANDO, R.A.; SANT'ANNA; B.S., PEROTTI, G.F., MARTINELLI FILHO, J.E.; HATTONI, G.Y. The retention of plastic debris by macrophytes at the Amazon River. **Environmental Science and Pollution Research**, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33961-z>.

GOMES, D. F.; PINTO, T. J. da S.; RAYMUNDO, L. B.; SPERANDEI, V. da F.; DAAM, M.; MOREIRA, R. A., ROCHA, O. Ecological risk assessment for metals in sediment and waters from the Brazilian Amazon region. **Chemosphere**, v. 345, e 140413. 2023.

GONÇALVES, M.; SCHMID, K.; ANDRADE, M. C.; ANDRADES, R., PEGADO, T., GIARRIZZO, T. Are the tidal flooded forests sinks for litter in the Amazonian estuary? **Marine Pollution Bulletin**, v.161, e117322020. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111732>.

GUEDES, K. C. P.; VALVERDE, K. C. Caracterização da água no canal do Jandiá e canal das Pedrinhas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **UNIFUNEC Científica Multidisciplinar**. v. 12, n. 14, p. 1–13, 2023. DOI: 10.24980/ucm.v12i14.5981.

GROUP OF EXPERTS ON THE SCIENTIFIC ASPECTS OF MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION- GESAMP. **Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the Ocean**. 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>. Acesso em: 27 mai. 2022.

HARIBOWO, R.; RUBIANTORO, P.; FADHILAH, A.; DENINDYA, Z.A.; KRISTANTI, Y.A.; RISMIATI, W.; ARSAL, M. An assessment of small-scale microplastics abundance and characterization in urban river: a case study in Metro River, Indonesia. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, v. 55, n. 2, p. 167–176, 2023.

HE, B.; SMITH, M.; EGODAWATTA, P.; AYOKO, G. A.; RINTOUL, L.; Goonetilleke, A. Dispersal and transport of microplastics in river sediments. **Environmental Pollution**, v. 279, e 116884. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116884>.

HORTON, A.A.; WALTON, A.; SPURGEON, D.J.; LAHIVE, E.; SVENDSEN, C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 127- 141. 2017.

HOMMA, A. K. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição? **Estudos Avançados**, v. 19, p. 115- 135, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. *Dados históricos*. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

KUMAR, R.; SHARMA, P.; MANNA, C.; JAIN, M. Abundance, interaction, ingestion, ecological concerns, and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review. **In Science of the Total Environment**, v. 782, e 146695. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146695>

LOTCHERIS, R.A.; SCHREYERS, L.J.; BUI, T.K.L.; THI, K.V.L; NGUYEN, H.-Q; VERMEULEN, B.; VAN EMMERIK, T.H.M. Plastic does not simply flow into the sea: River transport dynamics affected by tides and floating plants. **Environmental Pollution**, v.345, 123524. 2024. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4449742>.

LUO, W.; SU, L.; CRAIG, N. J.; DU, F.; WU, C.; SHI, H. Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. **Environmental Pollution**, v. 246, p. 174–182. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>.

MARTINELLI FILHO, J.E.; MONTEIRO, R.C.P. Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal Sandy beach. **Marine Pollution Bulletin**, v. 145, p. 219- 223, 2019.

MAPEAR E MONITORAR O USO E COBERTURA VEGETAL NO BRASIL–MAPBIOMAS. Disponível em: <brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 9 jun. 2024.

MCCORMICK, A. R., HOELLEIN, T. J., LONDON, M. G., HITTIE, J., SCOTT, J. W., KELLY, J. J. Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. **Ecosphere**, v. 7, n. 11. 2016.

MONTAGNER, C.C.; DIAS, M.A.; PAIVA, E.M.; VIDAL, C. Microplastics: environmental occurrence and analytical challenges. **Química Nova**, v. 44, n. 10, p.1328–1352. 2021.

MORAIS, L. M. S.; QUEIROZ, A. F. dos S.; BRITO, B. K. F. de; FENZL, N.; SOARES, M. de O.; GIARRIZZO, T., MARTINELLI FILHO, J. E. Microplastics in the Amazon biome: State of the art and future priorities. **Heliyon**, v. 10,7 e 28851. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28851>.

NASCIMENTO, M. J. de O. do, REMPEL, C. Diagnóstico do descarte de caroços de açaí em Macapá/AP e sua utilização como incremento de renda dos beneficiadores. **Revista Estudo & Debate**. v. 29, n.1. 2022. <https://doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v29i1a2022.2915>.

NITTROUER, C.A.; DEMASTER, D.J.; KUEHL, S. A.; FIGUEIREDO, A.G.; STERNBERG, R.W.; ERCILIO, C.F.; SILVEIRA, O.M.; ALLISON, M.A; KINEKE, G.C.; OGSTON, A.S; SOUZA FILHO, P.W.M; NIL, E.A.; NOWACKI, D.J; AARON, T.F. Amazon Sediment Transport and Accumulation Along the Continuum of Mixed Fluvial and Marine Processes. **Annual Review of Marine Science**, v.13, p. 501-536, 2021.

NHOSI, M.S.; CUTHBERT, R.N.; WU, N.; SHIKWAMBANA, P.; DALU, T.; Microplastic abundance, distribution, and diversity in water and sediments along a subtropical river system. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n.39, p. 91440–91452. 2023.

PEREIRA, L. C. C.; DIAS, J. A.; CARMO, J. A. do; POLETTE, M. A zona costeira Amazônica Brasileira. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, p. 3-7. 2009.

QUEIROZ, A. F. dos S.; CONCEIÇÃO, A. S. da; CHELAZZI, D.; ROLLNIC, M.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T.; FILHO, J. E. M. First Assessment Of microplastic and artificial microfiber contamination in surface Waters of the Amazon Continental Shelf. **Science of The Total Environment**, v. 839, e 156259. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156259>.

RICO, A.; RHAUL, de O.; SOUZA NUNES, G.S. de; RIZZI, C.; VILA, S.; VIZIOLI, B. de C.; MONTAGNER, C.C.; WAICHMAN, A.V. Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. **Chemosphere**, v. 291, e 132821. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132821>.

RICO, A.; REDONDO- HASSELERHARM, P.E; VIGHI, M.; WAICHMAN, A.V.; NUNES, G.S. de S.; RHAUL, de O.; SINGDAHL- LARSEN, C.; HURLEY, R.; NIZZETTO, L.; SHELL, T. Large- Scale monitoring and risk assessment of microplastics in the Amazon River. **Water Research**, v. 232, e 119707. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119707>.

RODRIGUES, M.O; ABRANTES, N.; GONÇALVES, F.J.M, NOGUEIRA, H.; MARQUES, J.C.; GONÇALVES, A. M.M. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). **Science of the Total Environment**, v. 633, p.1549–1559, 2018.

SANTOS, K. de N.R. dos; SANTOS, C.B. R.; FERREIRA, A.M.; BRAGA, F.S.; LOBATO, C.C; FLORENTINO, A.C.; CARVALHO, BEZERRA, R.M. Determination of trace- metals in sediments and plants on canal of Jandiá and igarapé of fortaleza in Macapá-AP-Brazil. **American Chemical Science Journal**. v.4, n.6, p. 706-714, 2014.

SANTOS, L. F. O., NEU, V., MONTEIRO, R. C. P., KÜTTER, V. T., MORAIS, L. M. S., SOARES- GOMES, A., CHELAZZI, D., GIARRIZZO, T., MARTINELLI FILHO, J. E. Microplastics and microfibers in the Guajará Bay, Amazon delta: Potential sources and variability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, e 115525. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115525>.

SANTOS, D.; SANTOS, R. dos. A dinâmica hídrica do canal da Mendonça Júnior no centro urbano de Macapá/AP. **Ciência Geográfica**. v. 27, n.2, p. 1022-1039. 2023.

SCHELL, T.; HURLEY, R. NIZZETTO, L.; RICO, A.; VIGHI, M. Spatio-temporal distribution of microplastics in a Mediterranean river catchment: The importance of wastewater as an environmental pathway. **Journal of Hazardous Materials**, v. 420, e 126481. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126481>.

SCHEURER, M.; BIGALKE, M. Microplastics in Swiss Floodplain Soils. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 3591-3598, 2018.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA (SIDRA). Domicílios e População existente, 2010. Disponível em: Tabela 1200: Agregado de Setores 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 12 jan. 2024.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). **Polo Industrial de Manaus**. 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/suframa/>>. Acessado em: 9 abr. 2024.

TAKIYAMA, L.R.; SILVA, A.Q. da S.; COSTA, W.J. P.; NASCIMENTO, H. S. Qualidade das águas das ressacas das bacias do igarapé da Fortaleza e do rio Curiaú. *In*: TAKIYAMA, L. R.; SILVA, A. Q. (org.). **Diagnóstico das ressacas do estado do Amapá**: bacias do igarapé da Fortaleza e rio Curiaú. Macapá-AP. CPAQ/IEPA; DGEO/SEMA. 2004.

TALBOT, R., CHANG, H. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. **Environmental Pollution**, v. 292, e 118393. 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118393.

TAVARES, J.P.N. Características Climatologia de Macapá-AP. **Caminhos de Geografia**, v.15, p.138- 151, 2014.

TORRES, A. M.; EL- ROBRINI, M. Amapá. *In*. MUEHE, D. **Erosão e Progradação do litoral Brasileiro**, Brasília-DF. MMA, 2006. Cap.1, p. 11-40.

TORRES, A. D.; OLIVEIRA, D. M. Caracterização sedimentológica e variáveis ambientais das áreas úmidas costeiras das bacias hidrográficas do igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú, municípios de Santana e Macapá. *In*: TAKIYAMA, L. R.; SILVA, A. Q. (org.). **Diagnóstico das ressacas do estado do Amapá: bacias do igarapé da Fortaleza e rio Curiaú**. Macapá-AP. CPAQ/IEPA; DGEO/SEMA. 2004. Cap. 9.

TOWNSEND, K.R.; CHENG-LU, H.; SHARLEY, D.J.; PETTIGROVE, V. Associations between Microplastic pollution and land use in urban Wetland Sediments. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 22551-22561. 2019.

YAN, M.; NIE, H.; XU, K.; HE, Y.; HU, Y.; HUANG, Y.; WANG, J. Microplastic abundance, distribution and composition in the Pearl River along Guangzhou city and Pearl River estuary, China. **Chemosphere**, v. 217, p. 879-886, 2019.

YANG, L.; ZHANG, Y.; KANG, S.; WANG, Z.; WU, C. Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources. **In Science of the Total Environment**, v. 754, e 141948. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948>.

YUAN, W., CHRISTIE-OLEZA, J. A., XU, E. G., LI, J., ZHANG, H., WANG, W., LIN, L., ZHANG, W., YANG, Y. Environmental fate of microplastics in the world's third- largest river: Basin-wide investigation and microplastic community analysis. **Water Research**, v.210, e 118002, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118002>.

Wendt-Potthoff, K.; Avellán, T.; van Emmerik, T.; Hamester, M.; Kirschke, S.; Kitover, D.; Schmidt, C. Monitoring Plastics in Rivers and Lakes: Guidelines for the Harmonization of Methodologies. Nairobi. United Nations Environment Programme. 2020. 21 p.

VALERIO, A. de M.; KAMPEL, M., VANTREPOTTE, V.; WARD, N. D., SAWAKUCHI, H. O.; LESS, D. F. da S., NEU, V.; CUNHA, A.; RICHEY, J. Using CDOM optical properties for estimating DOC concentrations and pCO<sub>2</sub> in the Lower Amazon River. **Optics Express**. v. 26, n. 14. p. A657-A677. 2018. <https://doi.org/10.1364/OE.26.00A657>

WANG, Z.; SU, B.; XU, X.; DI, D.; HUANG, H.; MEI, K.; DAHLGREN, R. A.; ZHANG, M.; SHANG, X. Preferential accumulation of small (<300 µm) microplastics in the sediments of a coastal plain river network in eastern China. **Water Research**, v. 144, p. 393–401. 2018.

WEISER, A.A.; ULIANA, B.B.; TOSTES, J.A. Áreas Úmidas na Amazônia: Macapá, uma cidade entre Rios, Lagos e Igarapés. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.03, p.37-42, 2015.

XIA, F.; TAN, Q.; QIN, H.; WANG, D.; CAI, Y., Zhang, J. Sequestration and export of microplastics in urban river sediments. **Environment International**, v. 181, e 108265. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108265>.

**APÊNDICE A - QUADRO COM DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA - P1: MONTANTE, P2: PORÇÃO CENTRAL E P3: FOZ; E A MARÉ, E A PROFUNDIDADE DAS ESTAÇÕES DE COLETA DOS CANAIS URBANOS DE MACAPÁ.**

Pontos de Coleta	Canal	Maré	Profundidade (m)	Descrição
P1	Jandiá	Vazante	0,5	Superfície
P2	Jandiá	Vazante	0,3	Superfície
P3	Jandiá	Vazante	0,3	Superfície
P1	Jandiá	Enchente	2	Superfície e fundo
P2	Jandiá	Enchente	1,5	Superfície e fundo
P3	Jandiá	Enchente	2	Superfície e fundo
P1	Pedrinhas	Vazante	0,5	Superfície
P2	Pedrinhas	Vazante	0,5	Superfície
P3	Pedrinhas	Vazante	1	Superfície e fundo
P1	Pedrinhas	Enchente	1	Superfície e fundo
P2	Pedrinhas	Enchente	1,7	Superfície e fundo
P3	Pedrinhas	Enchente	1,8	Superfície e fundo
P1	Perpétuo Socorro	Vazante	0,4	Superfície
P2	Perpétuo Socorro	Vazante	0,4	Superfície
P3	Perpétuo Socorro	Vazante	0,5	Superfície
P1	Perpétuo Socorro	Enchente	0,6	Superfície
P2	Perpétuo Socorro	Enchente	0,5	Superfície
P3	Perpétuo Socorro	Enchente	0,8	Superfície
P1	Fortaleza	Vazante	1	Superfície e fundo
P2	Fortaleza	Vazante	0,6	Superfície
P3	Fortaleza	Vazante	4	Superfície e fundo
P1	Fortaleza	Enchente	1,5	Superfície e fundo
P2	Fortaleza	Enchente	1,5	Superfície e fundo
P3	Fortaleza	Enchente	5,5	Superfície e fundo
P1	Mendonça Júnior	Vazante	0,5	Superfície
P2	Mendonça Júnior	Vazante	0,5	Superfície
P3	Mendonça Júnior	Vazante	0,4	Superfície

Fonte: Autoria própria.