

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA**

GLEICE RODRIGUES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO
IGARAPÉ DO MINDU, NO AMBIENTE URBANO DE MANAUS.**

**MANAUS
2020**

GLEICE RODRIGUES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO
IGARAPÉ DO MINDU, NO AMBIENTE URBANO DE MANAUS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPGCASA do Centro de Ciências do Ambiente – CCA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como quesito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR NELITON MARQUES DA SILVA

**MANAUS
2020**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729m	<p>Souza, Gleice Rodrigues de Avaliação da poluição por microplásticos nas águas do igarapé do Mindu, no ambiente urbano de Manaus / Gleice Rodrigues de Souza . 2020 112 f.: il. color; 31 cm.</p> <p>Orientador: Neliton Marques da Silva Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. Microplásticos. 2. Nanoplásticos. 3. Regime hidrológico. 4. Igarapé. 5. Manaus. I. Silva, Neliton Marques da. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	--

GLEICE RODRIGUES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NAS ÁGUAS DO
IGARAPÉ DO MINDU, NO AMBIENTE URBANO DE MANAUS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPGCASA do Centro de Ciências do Ambiente – CCA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como quesito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Aprovada em 28 de abril de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra Tereza Cristina Souza de Oliveira
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Profa. Dra. Andrea Viviana Waichman
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de todas as coisas, que me deu a vida e possibilitou esta jornada e não me deixou desistir.

À minha amada filha Júlia Emily Oliveira que é minha inspiração e que me dar forças para continuar nessa jornada acadêmica e profissional. Que apesar da pouca idade teve paciência nos momentos em que eu não pude ser presente.

Ao meu esposo Davi Pontes que é meu parceiro de vida para todas as escolhas e obstáculos. É importante saber e conhecer quem está ao meu lado e sei que posso confiar.

Ao meu orientador, professor doutor Neliton Marques da Silva, pela paciência com meus prazos e estímulo intelectual que todos precisamos para nos nortear nas nossas pesquisas científicas.

Ao Centro de Ciências do Ambiente e ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPGCASA a quem tive a honra de fazer parte durante os dois anos de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pela bolsa de estudos concedida.

À FAPEAM pela ajuda de custo referente aquisição de materiais de laboratório. Resolução n.003/2010 - POSGRAD 2019. Banco Bradesco, Agência: 3053-8, Conta: 0579599. Cheque Nº 000001.

À Semmas e aos gestores do Parque Municipal Nascentes do Mindu, Parque Municipal do Mindu e Parque Municipal Ponte dos Bilhares pelo acesso para coleta de água e informações.

Às minhas amigas Alessandra Leal e Patrícia Paiva pela amizade que nos fortalece, companheirismo, estímulo, lanches maravilhosos e torcida pelas minhas realizações.

À minha família, mãe, pai e irmãos, que se fazem presente na minha vida e me inspiram a querer vencer.

À minha irmã Vitória Rodrigues por cuidar da minha filha enquanto eu estive no laboratório realizando as análises e ao meu irmão Renato Rodrigues que ajudou em todas as coletas de água.

A Técnica Kristiane da Silva Magno do laboratório de Química e Saneamento Ambiental da faculdade Fucapi, com quem estive durante seis meses, teve paciência, me estimulou e me ajudou nas análises para isolamento dos micro e nanoplásticos desta pesquisa.

À professora Dr^a Andrea Waichman pelo empréstimo da garrafa de Van Dorn para as coletas de água e às demais pessoas que torceram e contribuíram de alguma forma para que esse projeto se concretizasse.

Agradeço.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Bacia do igarapé do Mindu.....	35
FIGURA 2: Mapa com os pontos de coleta no igarapé do Mindu.	35
FIGURA 3: Cotograma do rio Negro em Manaus.....	36
FIGURA 4: a) Coleta de amostra composta para o perfil superficial no ponto P6. b) Armazenamento da água do igarapé na bombona.....	39
FIGURA 5: Suporte universal com funis para separação por densidade	41
FIGURA 6: Sistema de kitassato à bomba a vácuo.....	42
FIGURA 7: a) Filtro com microplásticos após filtração de água. b) Filtros em placas petri imergidos com peróxido de hidrogênio a 30%.....	43
FIGURA 8: Amostras de nanoplásticos no equipamento de banho-maria.....	44
FIGURA 9: Solução após a digestão de mo para ser vertida em béquer	44
FIGURA 10: Nascente límpida do igarapé do Mindu.....	48
FIGURA 11: Nascente do igarapé do Mindu assoreada e eutrofizada.....	49
FIGURA 12: Ponto P2 com fonte difusa de poluição	50
FIGURA 13: Ponto de coleta P3	52
FIGURA 14: Mata ciliar do igarapé do mindu dentro do parque municipal do Mindu.....	53
FIGURA 15: Jacaré no trecho do igarapé do Mindu dentro do Parque Municipal do Mindu	54
FIGURA 16: Trecho do igarapé do Mindu no Parque Municipal Ponte dos Bilhares na cheia	55
FIGURA 17: Margem direita do igarapé do Mindu na avenida Álvaro Maia (cheia)	56
FIGURA 18: Habitações próximas ao trecho da avenida Álvaro Maia	57
FIGURA 19: Vegetação entre o igarapé do Franco (esquerda) e o igarapé do Mindu (direita) no trecho da Avenida Brasil	58
FIGURA 20: a) ponto P5 – Parque Ponte dos Bilhares no mês de junho. b) P5 no mês de novembro	60
FIGURA 21: a) Ponto P6 – av. Álvaro Maia no mês de junho. b) P6 no mês de novembro..	61

FIGURA 22: a) Ponto P7 com contribuição do igarapé do Franco– av. Brasil no mês de junho	63
FIGURA 23: a) Amostra resultante do peneiramento da água do igarapé do Mindu. b) Visualização do exoesqueleto de folha em microscópio após etapa de degradação da matéria orgânica	81
FIGURA 24: a) Visualização em microscópio de uma amostra de microplástico. b) Visualização em microscópio de amostra de nanoplástico	84
FIGURA 25: Mapa com imagem antropizada da cidade de Manaus com os pontos de coleta destacados. Imagem de setembro de 2019 do satélite landsat 08.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Profundidade média do igarapé do Mindu no período de coleta.....	59
GRÁFICO 2: Vazão em m ³ /s do igarapé do Mindu no período de coleta.....	62
GRÁFICO 3: Temperaturas da água do igarapé do Mindu no período de coleta.....	64
GRÁFICO 4: Condutividade elétrica superficial no período de coleta	65
GRÁFICO 5: Condutividade elétrica profundidade no período de coleta.....	66
GRÁFICO 6: Faixa de pH no período de coleta	68
GRÁFICO 7: Espectro de transmitância: a) Amostra de microplástico, b) Amostra de nanoplástico	69
GRÁFICOS 8: Cálculo da mediana das concentrações por etapa do regime hidrológico para o perfil superficial.....	90
GRÁFICOS 9: Cálculo da mediana das concentrações por etapa do regime hidrológico para o perfil profundidade.	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Exemplos de valores de propriedades nominais de polímeros plásticos.	23
TABELA 2: Extensão das principais bacias hidrográficas de Manaus	31
TABELA 3: Descrição dos pontos de coleta na extensão do igarapé do Mindu.....	34
TABELA 4: Meses de coleta.....	36
TABELA 5: Parâmetros utilizados para análise de FTIR	45
TABELA 6: Grupos funcionais identificados nas amostras de micro e nanoplásticos	70
TABELA 7: Indicação de traços de assinaturas de monômeros, compostos orgânicos e outras substâncias contidas nas amostras de microplásticos do igarapé do Mindu.....	72
TABELA 8: Indicação de traços de assinaturas de monômeros, compostos orgânicos e outras substâncias contidas nas amostras de nanoplásticos do igarapé do Mindu.....	75
TABELA 9: Concentrações de microplásticos e nanoplásticos por litro de água (g/l) nos perfis superficial (sup.) e profundidade (prof).....	82
TABELA 10: Teste de esfericidade de Mauchly's.....	87
TABELA 11: Valores do teste univariado do efeito entre a interação do período de coleta e o tipo microplástico nos perfis de água do igarapé do Mindu.....	87
TABELA 12: Valores da comparação por pares entre os tipos microplásticos nos perfis de água.....	88
TABELA 13: Valores dos testes multivariados para os tipos microplásticos nos perfis de água.....	88
TABELA 14: Valores da comparação por pares entre os tipos microplásticos nos período de coleta.....	89
TABELA 15: Valores dos testes multivariados para as etapas do regime hidrológico sobre as concentrações de micro e nanoplásticos.....	91

LISTA DE ORGANOGRAMAS

ORGANOGRAMA 1: Etapas para isolamento de sólidos nas 3 classes de tamanho.	37
ORGANOGRAMA 2: Amostragem composta para coleta de água.....	38

LISTA DE SIGLAS

ABRE: Associação Brasileira de Embalagem

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANA: Agência Nacional de Águas

ANOVA: Análise de Variância

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

FENTON: Solução de peróxido de hidrogênio e um catalisador de Ferro

FTIR: Espectroscopia por infravermelho por transformada de Fourier

IBM SPSS: Software Pacote Estatístico para Ciências Sociais

ISWA: Associação Internacional de Resíduos Sólidos

M.O.: Matéria orgânica

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MP: Microplástico

NaCl: Cloreto de Sódio

NOAA: Administração Oceânica e Atmosférica Nacional

NP: Nanoplástico

ONU/BR: Organização das Nações Unidas – Brasil

PS: Poliestireno

PBDE: Éteres de difenila polibromados

PEAD: Polietileno de alta densidade

PET: Politereftalato de etileno

pH: Potencial hidrogeniônico

PP: Polipropileno

PPGCASA: Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia

PROF.: Profundidade

PVC: Policloreto de vinila

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

SEMINF: Secretaria Municipal de Infraestrutura

SEMMAS: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SUP.: Superior

U.V.: Radiação Ultravioleta

UEA: Universidade Estadual do Amazonas

WWF: Fundo Mundial para a Natureza

RESUMO

Quando o material plástico é exposto a condições ambientais diversas e interação com a biota local sofre fragmentação e origina detritos, chamados de microplásticos que podem ser primários ou secundários. Porém, existe ainda a fragmentação em tamanhos inferiores a 1 nanômetro, originando os nanoplásticos, que são considerados potencialmente perigosos. Além do tamanho, outros fatores que influenciam sua degradação é a origem e a composição química. Apesar do crescente aumento de informações sobre o tema, existe pouca informação sobre os microplásticos em sistemas de água doce. As bacias hidrográficas são unidades importantes de fonte, fluxo e destino de poluição plástica. Manaus com suas bacias hidrográficas possui grande influência de deposição de poluentes no rio Negro. O igarapé do Mindu é um dos corpos hídricos mais conhecidos de Manaus cujo curso d'água é o mais extenso do sítio urbano. Foram georreferenciados sete pontos para coleta de água no igarapé do Mindu realizadas em quatro fases do regime hidrológico. Para o isolamento dos detritos foram realizadas adaptações dos métodos laboratoriais elaborado pela NOAA e metodologias utilizadas em trabalhos científicos realizados em ambientes de água doce. As classes de tamanho foram definidas em 3 grupos: Microplásticos (> 5 mm a 0,3 mm), Microplásticos (< 0,3 mm a > 2 μ m) e Nanoplásticos (< 2 μ m). Obtiveram-se os dados quantitativos referentes aos tamanhos: microplásticos (entre 0,3 mm e 2 μ) e nanoplástico (inferior a 2 μ), com maior predominância para este último. Através da análise de FTIR foi possível identificar que as amostras de micro e nanoplásticos não se tratavam exclusivamente um tipo de polímero plástico, mas de amostras complexas que apresentaram picos de espectros de diferentes materiais. Houve variação de concentrações nos diferentes regimes hidrológicos e perfis de profundidade, com maiores concentrações de micro e nanoplásticos nos regimes de seca e enchente, respectivamente. Além do isolamento de partículas micro e nanométricas, também foi possível mensurar através de espectros principais, a presença de assinaturas de monômeros, elastômeros e substâncias utilizadas em diferentes polímeros plásticos, que possuem influencia da poluição por efluentes domésticos, profundidade e dispersão dos contaminantes na coluna de água. A investigação da contaminação microplástica no igarapé do Mindu teve efeito satisfatório, salientando a importância de pesquisas em águas de ambientes urbanos, cuja poluição antrópica possui forte contribuição de detritos, no caso de Manaus, o tributário igarapé do Mindu contribui para a poluição plástica do rio Negro que por conseguinte soma ao quantitativo de 60.000 toneladas de plásticos carregadas pelo rio Amazonas até o oceano.

Palavras-chaves: microplásticos, nanoplásticos, regime hidrológico, igarapé, Manaus.

ABSTRACT

When the plastic material is exposed to different environmental conditions and interaction with the local biota suffers fragmentation and originates debris, called microplastics that can be primary or secondary. However, there is still fragmentation in sizes less than 1 nanometer, giving rise to nanoplastics, which are considered potentially dangerous. In addition to size, other factors that influence its degradation are the origin and chemical composition. Despite the growing increase in information on the subject, there is little information about microplastics in freshwater systems. Hydrographic basins are important units of source, flow and destination of plastic pollution. Manaus with its hydrographic basins has great influence of deposition of pollutants in the Negro River. The Mindu stream is one of the most well-known water bodies in Manaus whose watercourse is the most extensive in the urban site. Seven points were georeferenced for collecting water in the Mindu stream carried out in four phases of the hydrological regime. For the isolation of debris, adaptations were made to the laboratory methods developed by NOAA and methodologies used in scientific studies carried out in freshwater environments. The size classes were defined in 3 groups: Microplastics (> 5 mm to 0.3 mm), Microplastics (<0.3 mm to > 2 μ m) and Nanoplastics (<2 μ m). Quantitative data regarding sizes were obtained: microplastic (between 0.3 mm and 2 μ m) and nanoplastic (less than 2 μ m), with a greater predominance for the latter. Through the FTIR analysis it was possible to identify that the micro and nanoplastic samples were not exclusively a type of plastic polymer, but complex samples that presented spectral peaks of different materials. There was variation in concentrations in the different hydrological regimes and depth profiles, with higher concentrations of micro and nanoplastics in the drought and flood regimes, respectively. In addition to the isolation of micro and nanometric particles, it was also possible to measure through main spectra, the presence of signatures of monomers, elastomers and substances used in different plastic polymers, which are influenced by pollution by domestic effluents, depth and dispersion of contaminants in the column of water. The investigation of microplastic contamination in the Mindu stream has had a satisfactory effect, highlighting the importance of research in urban waters, whose anthropic pollution has a strong contribution of detritus, in the case of Manaus, the Mindu stream tributary contributes to plastic pollution of the river Black that therefore adds up to the quantity of 60,000 tons of plastics carried by the Amazon River to the ocean.

Keywords: microplastics, nanoplastics, hydrological regime, igarapé, Manaus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	21
2.1 Geral	21
2.2 Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1 Polímeros plásticos	22
3.2 Microplásticos como contaminantes ambientais	24
3.3 Microplásticos em sistemas de água doce	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Laboratórios e Permissões	30
4.2 Área de estudo	30
4.2.1 Manaus	30
4.2.2 Igarapé do Mindu	32
4.3 Delimitação dos pontos de coleta	34
4.4 Metodologias para isolamento quantitativo de micro e nanoplásticos das amostras de água do igarapé do Mindu	37
4.4.1 Coleta e Armazenamento das amostras de água	38
4.5 Isolamento de microplásticos: < 5 mm a >0,3 mm	39
4.5.1 Peneiramento	39
4.5.2 Degradação da matéria orgânica	40
4.5.3 Separação por densidade e secagem	41
4.5.4 Análise gravimétrica	42
4.6 Isolamento de Microplásticos: < 0,3 mm a > 2 µm	42
4.6.1 Filtração a vácuo	42
4.6.2 Degradação da matéria orgânica e secagem	42
4.6.3 Análise gravimétrica	43
4.7 Isolamento de Nanoplástico: < 2 µm	43
4.7.1 Redução em banho-maria	43
4.7.2 Degradação da matéria orgânica e secagem	44
4.7.3 Análise gravimétrica	45
4.8 Metodologia para análise qualitativa das amostras micro e nanoplásticas	45
4.9 Metodologia para elaboração de mapas	46
4.10 Metodologia para relacionar a dispersão longitudinal de micro e nanoplásticos sobre a influência do regime hidrológico	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Características da paisagem do ambiente de coleta de água do igarapé do Mindu. ..	48
5.1.1 Parque Municipal Nascentes do Mindu	48
5.1.2 Águas Claras	50
5.1.3 Parque Municipal do Mindu	52
5.1.4 Parque Municipal Ponte dos Bilhares	55
5.1.5 Avenida Álvaro Maia	56
5.1.6 Avenida Brasil	57
5.2 Caracterização do ambiente aquático estudado	58
5.2.1 Profundidade	58

5.2.2Vazão	61
5.2.3Temperatura.....	63
5.2.4Condutividade elétrica.....	65
5.2.5 Potencial Hidrogeniônico - pH.....	67
5.3 Caracterização qualitativa das amostras micro e nanoplástica por Espectroscopia de Infravermelho – FTIR.....	68
5.4 Quantitativo das concentrações micro e nanoplásticas.....	80
5.5 Relação das concentrações de micro e nanoplásticas sobre influência do regime hidrológico e perfis de água do igarapé do Mindu	86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
7. CONCLUSÃO	97
8. REFERÊNCIAS	99
9. ANEXO 1 - OFICIO Nº 006/2019-PPGCASA.....	110
10. ANEXO 2 - AUTORIZAÇÃO Nº 07/2019 – SEMMAS.....	111

1. INTRODUÇÃO

O aumento na geração de resíduos sólidos em todo o mundo tem se intensificado nos últimos anos, fato comprovado por levantamentos realizados por diversas instituições como Abrelpe (2017), Fundação Ellen MacArthur (2017), Plastics Europe (2017), ISWA (2018), ONU/BR¹ (2018). Estudos dessa natureza são importantes para mensurar a quantidade de resíduos sólidos que estão sendo gerados anualmente em todo o mundo e o potencial de impacto ao meio ambiente que estes possuem por gestão inadequada e descarte incorreto. Segundo Barnes et al (2009), essas quantidades de resíduos sólidos gerados aumentam à medida que os padrões de vida e a população aumentam.

Dos resíduos comumente estudados, os plásticos têm ganhado maior atenção pelos danos que causam no ambiente em que são descartados, e pela onipresença em diversos ambientes pelo mundo (ANDRADY, 2017; JULIENNE et al, 2019; LUO et al, 2019). A produção deste resíduo aumentou muito nos últimos 50 anos, de acordo com um levantamento da Fundação Ellen MacArthur (2017), saltando de 15 milhões de toneladas em 1964 para 311 milhões de toneladas em 2014.

A produção mundial atingiu mais de 322 milhões de toneladas em 2015, aumentando para 335 milhões de toneladas em 2016, onde somente na Europa as quantidades foram de 58 e 60 milhões de toneladas, respectivamente, nestes mesmos anos (ANDERSON et al, 2016; PLASTICS EUROPE, 2017).

A história da inserção desse material remonta a data de 1284 com a primeira menção registrada da *The Horners Company of London*, acerca de um plástico natural precoce, formado predominantemente por chifres e carapaças de tartaruga. Mais tarde em 1922, Staudinger publica seu trabalho que reconhece que os plásticos são compostos de moléculas de cadeia longa, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1935.

Ao longo dos anos foram surgindo várias aplicações, como o incremento de cor e designs de novos materiais, tecnologia nano, com uma infinidade de utilizações (BRITISH PLASTIC FEDERATION, 2018).

Segundo Azevedo et al (2003), o século XX caracteriza-se pelo grande avanço tecnológico no campo da síntese química. Olivatto et al (2018), reiteram que os primeiros polímeros sintéticos foram introduzidos no início do século XX, mas somente durante a segunda Guerra Mundial que a indústria de polímeros termoplásticos foi impulsionada a fabricar produtos que atendessem as demandas do momento.

Dessa forma, a produção industrial de plástico foi impulsionada pelas necessidades de uma sociedade de consumo, como por exemplo, a indústria têxtil. O baixo peso e a durabilidade são características que o fizeram tão útil à sociedade (IVAR DO SUL, 2014).

O poluente, denominado de plástico é um polímero derivado de fontes de petróleo. São materiais orgânicos e o termo é comumente usado para descrever inúmeros materiais sintéticos ou semissintéticos que são utilizados em uma ampla e crescente diversidade de aplicações (PLASTICEUROPE, 2018).

Podem ser de vários tipos como: policloreto de vinila (PVC), nylon, polietileno (PE), poliestireno (PS) e polipropileno (PP) (ANDERSON et al, 2016). O termo deriva da palavra grega “plastikos” que significa apto para moldagem, sendo o material maleável na fabricação, permitindo que seja fundido, prensado ou extrudado em uma variedade de formas (PLASTICEUROPE, 2018).

Quando o material plástico é exposto a condições ambientais diversas e interação com a biota local sofre fragmentação e origina detritos, chamados de microplásticos. Apesar de detritos plásticos terem sido observados no ambiente desde a década de 70, somente a partir de 2004, o termo microplásticos passou a ser usado comumente por pesquisadores (HORTON et al, 2004).

Os microplásticos se tornaram um tipo de poluente crescente em diversos ambientes mundiais, incluindo ambientes marinhos (GOLDSTEIN et al, 2012; LEBRETON et al, 2018), água doce (YONKOS et al, 2014; BESSELING et al, 2017; OLIVATTO, 2017; SIGHICELLI et al, 2018), e até mesmo em gelo, além da ingestão desses fragmentos pela fauna de água doce e salgada (FREE et al, 2014; BESSELING et al, 2017).

A preocupação global surge em razão de seu grande tempo de permanência no ambiente. Devido à sua lenta degradação e alteração da sua forma, reduz de tamanho ou se agrega a outros materiais, tornando sua capacidade de dano ainda maior. Além do tamanho, outros fatores que influenciam sua degradação é a origem e a composição química, que se torna um importante contribuinte na liberação de substâncias químicas para o meio ambiente.

Em relação ao tamanho, muitos estudos categorizam microplásticos como tendo tamanho menor do que 5 mm (FREE et al, 2014; EERKES-MEDRANO et al, 2015; ANDERSON et al, 2016; SIGHICELLI et al, 2018). Sobre o limite inferior para o tamanho microplástico, não existe consenso formado, no entanto, alguns autores utilizam malha de 300 micras (0,3 mm) no processo de filtração de detritos plásticos.

Segundo Lebreton et al. (2018), as demais variações de tamanho são os mesoplásticos (0,5-5cm) e os macrolásticos (5-50cm), cuja diferença de tamanho é em detrimento do tempo de permanência do detrito no meio ambiente.

A superfície dos microplásticos pode servir de abrigo e base para microrganismos e outras espécies de animais se fixarem e se multiplicarem. A incrustação também pode aumentar a persistência ambiental do detrito. Os microplásticos também podem ser veiculados pelo ar, águas residuárias de estações de tratamento de águas e efluentes, escoamento de chuvas, dentre outros.

Sobre as fontes de poluição plástica marinha, 20% do total dos detritos são provenientes de atividades realizadas no oceano, como produtos da pesca e das embarcações e 80% são provenientes de áreas urbanas terrestres, percorrendo os leitos de rios até os estuários, desaguando nos mares. A poluição urbana rende um total de 13 milhões de toneladas de lixo plástico, proveniente das cidades e dos campos até as praias e, por conseguinte para os oceanos (HORTON et al, 2017; LI et al, 2018; ONU/BR¹, 2018).

A presença desses elementos ocorre tanto na água quanto no solo, sendo difícil quantificar seus efeitos e impossível removê-los completamente (SIGHICELLI et al, 2018). De acordo com Azevedo et al (2003), os contaminantes presentes nas águas superficiais podem encontrar-se em solução ou em suspensão, podendo ser transportadas pela água por longas distâncias, dependendo da estabilidade e estado físico do contaminante e do fluxo do corpo d'água.

O despejo incorreto de resíduos plásticos e conseguinte formação de microplásticos trouxe a necessidade de estudos e soluções que possam minimizar os danos e restaurar a qualidade ambiental. Apesar do crescente aumento de informações sobre o tema, existe pouca informação sobre os microplásticos em sistemas de água doce (FREE et al, 2014; ANDERSON et al, 2016; BESSELING et al, 2017; SIGHICELLI et al, 2018).

Acreditava-se que os rios e outros córregos de água doce funcionavam apenas como fontes de detritos plásticos para o ecossistema marinho, atuando como uma importante via de transporte fluvial. Contudo, estudos com o de Besseling et al (2017), indicaram que frações nano e microplásticas podem ser retidas nesse sistema.

Sighicelli et al (2018) afirmam que os estuários se tornam um ambiente de transição condicionante na dispersão de microplásticos, sendo importante a coleta de dados a partir desses ambientes de água doce.

A dinâmica da permanência dos microplásticos nos ambientes depende de vários fatores, que incluem a hidrodinâmica, como por exemplo, as correntes superficiais que atuam no transporte advectivo (campos de velocidade) e difusivo (turbulência), além do espaço, tempo e clima local (EERKES-MEDRANO et al, 2015).

O estudo da hidrodinâmica do corpo hídrico sobre os riscos ambientais advindos da poluição depositadas neste meio possibilita compreender a dinâmica dos poluentes microplásticos, que são depositados nos diferentes compartimentos ambientais e impactam a qualidade ambiental.

A hidrodinâmica do corpo hídrico urbano possui uma dinâmica de paisagem muito diversificada, contemplando residências, áreas verdes, corpos hídricos e distintas áreas urbanizadas. Os regimes pluviais e fluviais condicionam a drenagem de diferentes sedimentos, que percorrem as cidades e acumulam-se em locais remotos, como campos de areia e matas ciliares, tornando-os repositórios de poluentes. Dessa forma, ambientes hídricos urbanos são importantes zonas de informações sobre a poluição microplástica.

Atividades antrópicas, principalmente de cunho industrial ocasionaram modificações na paisagem de ambientes urbanos e como consequências houve diversas modificações, incluindo aumento de concentrações substâncias que antes estavam presentes no ambiente apenas em pequenas quantidades. A contribuição negativa por parte antrópica surge principalmente por despejos de efluentes industriais, domésticos e lixo (PINTO et al, 2009).

Na região Amazônica, os municípios e comunidades são inteiramente drenadas por igarapés. Em Manaus, a contribuição de contaminantes de diversas naturezas, principalmente plástica, advinda de seus tributários urbanos para o rio Negro é muito grande, o que consequentemente contribui para a poluição no rio Amazonas e por fim dos mares e oceanos.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a distribuição microplástica no igarapé do Mindu sobre a influência do regime hidrológico da cidade de Manaus.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as concentrações quantitativas e constituintes da identidade polimérica de microplásticos e nanoplásticos;
- Analisar a distribuição microplástica e nanoplástica nos perfis superficial e profundidade;
- Relacionar a dispersão longitudinal de micro e nanoplásticos sobre a influência do regime hidrológico;
- Caracterizar o ambiente da paisagem de coleta de água com indicação dos fatores condicionantes para a poluição micro e nanoplástica.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Polímeros plásticos

Naturalmente, a natureza liga moléculas pequenas, móveis e facilmente transportáveis em cadeia e redes, que resultam em polímeros, podendo ser fibras, folhas e blocos. Quanto à origem, os polímeros podem ser: Polímeros Naturais Orgânicos sintetizados pela natureza (borracha), Polímeros Naturais Inorgânicos (diamante, grafite), Polímeros Sintéticos (sintetizados pelo homem), Polímeros Sintéticos Inorgânicos (ácido polifosfórico) e Biopolímeros Polímeros Sintéticos (aplicação biológica ou biomédica).

As substâncias que transformaram o mundo durante o século XX são os plásticos sintéticos (ATKINS, 2006). Sem dúvida, o início do século XX e a revolução industrial culminaram no ápice para a produção de polímeros sintéticos em massa (AZEVEDO et al, 2003; BARNES et al, 2009; IVAR DO SUL, 2014; OLIVATTO et al, 2018).

Quanto à denominação de polímeros, são macromoléculas produzidas pela organização em cadeia de monômeros, contém milhares de átomos com interações inter e intramoleculares. Os principais materiais para produção de monômeros são: Produtos Naturais como borracha e celulose, Hulha ou Carvão mineral e Petróleo.

O petróleo após passar pelo processo de destilação fracionada pode originar a gasolina, óleo diesel, GLP, graxas parafínicas, nafta, entre outros. Para fins de materiais poliméricos plásticos, a Nafta se torna o principal constituinte, que após sofrer transformações da indústria petroquímica origina os monômeros que darão origem os polímeros plásticos com a nomenclatura que conhecemos, como por exemplo, o prefixo POLI mais o monômero Etileno (como produto da Nafta) origina o polímero polietileno, de sigla PE.

Basicamente, a indústria petroquímica possui a sua organização com indústrias de primeira, segunda e terceira geração. Inicialmente, as industriais de primeira geração, através dos processos químicos dos materiais naturais obtêm os monômeros (eteno, etileno, benzeno, etc), que são vendidos para as indústrias de segunda geração, que os transformam em polímeros (PVC, PEAD, PP, PET, etc), na forma de microplásticos primários.

Posteriormente, estas empresas vendem essas matérias primas para as indústrias de terceira geração, que originarão os produtos finais como embalagens, peças, tubos, fios, tecidos e muitos outros.

As características da natureza dos polímeros ajudam a determinar a geração da poluição, destino e impactos ambientais. O polietileno absorve maiores concentrações de

contaminantes do que outros polímeros, sendo a sua dessorção influenciada por fatores como temperatura e pH.

Algumas das características dos materiais plásticos são: densidade, cristalinidade parcial, resistência à oxidação e intempéries, biodegradabilidade, monômero residual, transporte, aditivos e propriedades de superfície (Tabela 1).

Tabela 1: Exemplos de valores de propriedades nominais de polímeros plásticos.

Características	Polietileno	Polieteno	Polipropileno (PP)	Poliestireno (PS)	Nylon 66
	de baixa densidade (LPDE)	de alta densidade (HDPE)			
Densidade	0,910 a 0,925	0,959 a 0,965	0,90	1.04	+50
Cristalinidade	30-50	80-90	30-50	00	30-50
Resistência UV	Baixo	Baixo	Baixo	Moderada	Boa

Fonte: ANTHONY e ANDRADY, 2017.

Os polímeros plásticos possuem comportamento térmico durante o processo de fabricação. Podendo ser classificando em dois grandes grupos:

Termoplásticos, cujo material plástico é conhecido por sua maleabilidade na fabricação, sendo definidos como polímeros que podem ser fundidos e remodelados quase que indefinidamente, passando pelos processos de reaquecimento, remodelagem e congelamento, repetidamente. Por estas características na produção são considerados como mecanicamente recicláveis. São exemplos desse tipo: o polipropileno, o polietileno, o polivinilcloro, o poliestireno e policarbonato (ANTHONY e ANDRADY, 2017; PLASTICS EUROPE, 2019).

Termofixos: polímeros dessa natureza não são facilmente moldáveis por aquecimento, sendo moldável apenas durante o processamento, posteriormente ao final do processo tornam-se rígidos e resistentes ao aumento de temperatura. São exemplos desse tipo: aminoplásticos, apóxis, fenólicos, poliésteres e silicones (ANTHONY e ANDRADY, 2017; OLIVEIRA, 2012).

Na polimerização dos monômeros em macromoléculas e conseqüente geração de produtos, são necessários à adição de substâncias (plastificadores e outros), porém, devido reações de polimerização não completas podem ocorrer monômeros residuais, impurezas, fragmentos e remanescentes de catalisadores e solventes.

Devido ao baixo peso molecular, esses monômeros e resíduos, podem migrar através de veículos como ar, água e superfícies e causar danos à saúde humana e meio ambiente. São mais usualmente inseridos por plásticos de uso único em curto prazo (LITHNER et al, 2011).

Muitos polímeros plásticos são resistentes à degradação, com destaque para o polietileno e poliestireno (HORTON et al, 2017; ORIEKHIVA e STOLL, 2018). A fragmentação do polímero acontece quando as trincas internas convergem e formam fissuras.

Na fragmentação, as fraturas em polímeros são iniciadas através da formação de vazios na fase amorfa. Esses vazios internos da estrutura dos polímeros podem ser oriundos do processo de fabricação. Este mecanismo não é totalmente elucidado para polímeros semicristalinos, como no caso do polietileno (LPDE), contudo, eventos de impacto podem iniciar este processo (JULIENNE et al, 2019).

Besseling et al (2017) descreve que no caso de polímeros que possuam densidade igual ou ligeiramente menor que a da água, como o polietileno e polipropileno, é interpretado que estes polímeros irão flutuar, no entanto, a dispersão ainda irá ocorrer devido à mistura comum da água por cisalhamento e ação do vento.

O plástico constitui 54% dos resíduos antropogênicos liberados para o meio ambiente. Este material pode ser utilizado para diversas finalidades, contudo, o uso maior é verificado com materiais plásticos para embalagens, que constituem 39,5% da produção de plástico, estes possuem ainda outro entrave, o ciclo de vida relativamente curtos, por se tratar de embalagens de uso único (PLASTICS EUROPE, 2015; HORTON et al, 2017). Dessa forma, mesmo com propriedades dos plásticos conhecidas, é difícil prever o destino dos polímeros (HORTON et al, 2017), o que torna o descarte incorreto de resíduos plásticos uma problemática mundial com efeito significativo sobre a saúde pública.

3.2 Microplásticos como contaminantes ambientais

A poluição plástica tem sido um problema há décadas, iniciado por uma combinação entre uma sociedade de consumo e descarte incorreto do resíduo. Mesmo após a redução do tamanho (fragmentação) do rejeito plástico, o material ainda continua interagindo com elementos do meio ambiente, condicionado por fatores abióticos, o que faz com que o potencial de impacto se torne maior (OGUNOLA et al, 2018).

Algumas das consequências da poluição por plásticos são: diminuição do valor estético do ambiente aquático, perda de biodiversidade e ameaça à saúde pública. Ambientes com água fresca podem acumular numerosas partículas e fibras de plástico, servindo de fonte, meio de transferência e sumidouros para as águas do mar. Outras características presentes nos

estudos relacionados a plásticos e microplásticos é a abundância dessas substâncias próximas às áreas com alta população (LI et al, 2018).

Os materiais microplásticos (MP) podem ser primários ou secundários. Os microplásticos primários chamados de pellets são utilizados pela indústria petroquímica como matéria-prima para fabricação de produtos. Existem também as microesferas utilizadas em produtos de cuidados pessoais, como esfoliantes. Estes tipos de MP primários entram no ambiente através de vazamentos durante o processo de fabricação de produtos, problemas na logística de transporte e ineficiência no tratamento de resíduos industriais (ANDRADY, 2019).

Porém, existe ainda a fragmentação em tamanhos inferiores a 1 nanômetro, originando os nanoplásticos (NP), que são considerados potencialmente perigosos (KOELMANS, 2019). Os esfoliantes são considerados como fontes de NM primários, que tem como polímeros utilizados, o polietileno e polipropileno (FREE et al, 2014; HORTON et al, 2017). A entrada de MP e NP secundários no ambiente ocorre principalmente por descartes incorretos de resíduos sólidos, efluentes domésticos e sanitários, e drenagem urbana (ANDRADY, 2019).

Os microplásticos secundários são produtos da fragmentação de macropelásticos que após passarem por um processo de degradação e intemperismo originam fragmentos menores. Os MP secundários incluem as fibras de tecidos sintéticos, que podem liberar até 1900 fibras por peça de roupa durante a lavagem. Os polímeros usados em tecido incluem poliéster e nylon (HORTON et al, 2017).

De acordo com Azevedo et al (2003) todas as formas de vida, micro e macroscópica, interagem com seus ambientes bióticos e abióticos. A biosfera desempenha um papel crítico na dispersão dos contaminantes químicos, especialmente quando o transporte se realiza através ou dentro de componentes abióticos durante os ciclos geoquímicos e ciclos da vida vegetal e animal.

Os materiais plásticos que são inseridos no ambiente perfazem um risco para a flora, fauna e biota de diferentes compartimentos por estes participarem ativamente no processo de sorção de substâncias, podem ainda inferir um risco secundário pela sua fragmentação em nanoplásticos, apresentando maiores riscos ambientais, pela natureza de seu tamanho (LI et al, 2018).

Segundo Davranche et al (2019), os nanoplásticos são polidispersos, com estrutura aberta, forma heterogênea e assimétrica, superfície carregada não homogênea e se agregam

em diferentes condições físico-químicas ambientais. Em concentrações altas no ambiente, os nanoplásticos são capazes de absorver produtos químicos orgânicos perigosos, o que leva a grandes preocupações e riscos ambientais.

De acordo com Eerkes-Medrano et al (2015), os microplásticos podem ser portadores de produtos químicos sorvidos em sua superfície a partir de seu ambiente ou de produtos químicos adicionados ao plástico em sua fabricação. Durante a produção de plásticos vários aditivos, como corantes, retardadores de chama e plastificantes, são adicionados à sua produção para melhorar as propriedades físicas, como cor, resistência e dureza. Essas substâncias inseridas no processo de produção podem ocasionar inúmeros impactos, podendo ser físicos, químicos e biológicos.

Li et al (2018), reafirma que os microplásticos podem atuar como portadores de várias toxinas, como aditivos de processos de produção industrial e contaminantes persistentes pela sorção nas águas. Além disso, os microplásticos no esgoto são fortemente contaminados por conteúdos orgânicos, o que influenciam em seu tamanho, fazendo-o existir como peças relativamente grandes.

A utilização de metais pesados na produção de corantes, estabilizadores e plastificantes podem ser liberados de detritos plásticos e ocasionar bioacumulação de toxinas em diferentes organismos. Além disso, os microplásticos podem sorver óleos de lubrificação e metais pesados (LI et al, 2018).

O estudo sobre a sorção e a dessorção de produtos químicos aos plásticos e a transferência para a biota ainda são poucos e essas interações complexas precisam ser melhores compreendidas, porém, sabe-se que ambas as taxas são influenciadas pelas concentrações ambientais de contaminantes e pelo tempo de residências das partículas (EERKES-MEDRANO, 2015).

3.3 Microplásticos em sistemas de água doce

Alguns autores salientam que os estudos em sistemas de água doce são poucos, considerados como estando no estágio da infância ainda (BESSELING et al, 2016; EERKES-MEDRANO et al, 2015).

Li et al (2018) e Lambert e Wagner (2017), salientam que esforços por estudos de microplásticos são mais realizados no ambiente marinho, o que corrobora com apenas 4% de estudos dessa natureza em ambientes de águas doces. Essa porcentagem é retomada a partir de uma busca realizada no ISI Web of Science da Thompson Reuters sob o tema de

“microplastics”, que resultou um total de 1228 artigos, porém, dessa quantidade apenas 45 publicações continham o tema água doce.

Os autores salientam também que essa menor atenção dada para ambientes de água doce está mudando, e que atualmente, a atenção está voltada também para o ambiente terrestre. Contudo, as poucas informações encontradas evidenciam a falta de conhecimento para ambientes de água doce e terrestre, e o quanto essas informações são importantes para somar com a comunidade científica na busca por redução da poluição plástica.

O crescimento populacional e a urbanização são duas ênfases de análises, que vários estudos utilizam para embasar e estudar a degradação ambiental e impactos advindos da ação antrópica. No caso dos recursos hídricos, o adensamento populacional sem planejamento e a proximidade aos leitos de rios são condicionantes para o acúmulo de resíduos sólidos e biomagnificação da poluição, em especial, a poluição microplástica (CASSINANO et al, 2013; YONKOS et al, 2014).

O tamanho da partícula microplástica condiciona o destino de retenção e acumulação ao longo de rios. Partículas submicrométricas são preferencialmente retidas em sistemas de rios, o que explica a falta de plásticos milimétricos na distribuição do ambiente marinho. A hidrodinâmica dos rios afeta a distribuição dos microplásticos com profundas implicações para os ecossistemas (BESSELING et al, 2017).

O transporte advectivo (campo de velocidade) e difusivo (turbulência), afetam e alteram as distribuições de microplásticos, favorecendo a heteroagregação dos sólidos (EERKES-MEDRANO et al, 2015).

Os rios e córregos de água doce possuem transportes de partículas microplásticas em sentido vertical e horizontal, ou seja, em diferentes profundidades e a para os estuários, zonas costeiras e oceanos (BESSELING et al, 2017). Contudo, Free et al (2014) salientam que ambientes de água doce em áreas remotas e subdesenvolvidas também podem apresentar poluição microplástica devido ao carregamento pela água e pelo vento advindo das áreas urbanizadas e costas.

O grau de poluição microplástica em que os sistemas de água doce se encontram são amplamente desconhecidos (LUO et al, 2019). Salienta-se a contribuição da hidrodinâmica nas taxas de acumulação de microplásticos, além de fornecer reservatório temporário para estes poluentes. A hidrodinâmica em ambientes de água doce são mais intensas do que os ocorridos em mar aberto ou ambientes maiores de água.

Os corpos hídricos que fazem parte da paisagem das cidades têm importante contribuição no carregamento de detritos. Após os plásticos e microplásticos serem descartados no ambiente, os rios com grandes bacias hidrográficas, receberão estes poluentes por vários ramos como produto do escoamento urbano (LUO et al, 2019).

O estudo da dinâmica das áreas de risco das cidades assume um papel importante no estudo da deterioração do ambiente. A ação antrópica em bacias hidrográficas urbanas é muito ativa, afetando várias dimensões do saneamento ambiental, transformando o leito dos igarapés em depósitos de lixo e vetores para transporte de poluentes de diferentes naturezas (FILHO e WALKER, 2001).

Nas cidades ocorre o compartilhamento de sedimentos e poluentes entre os compartimentos ambientais. Quando presente nos sedimentos, os microplásticos podem alterar características como tamanho e capacidade de ligação aos produtos químicos, e a bioturbação. No caso deste último, ocorre uma dificuldade de movimentação dos animais que indiretamente servem de vetores para a transição desses detritos os sistemas aquático-terrestres, como no caso de minhocas (EERKES-MEDRANO, 2015; WINDSOR et al, 2019).

No solo, os poros são preenchidos por gases ou fluidos, servindo de veículo para movimentação de contaminantes que chegam à litosfera, influenciados pela movimentação da água nos espaços entre as partículas. Essa interação entre solo e água é muito comum em bacias hidrográficas urbanas. Córregos, lagos e igarapés dentro de zonas urbanas das cidades possuem vegetação ciliar e contato antrópico direto, seja por corredores viários ou residências adjacentes.

Fontes de poluição plásticas estão associadas a atividades humanas em áreas urbanizadas paralelas a bacias hidrográficas. Em ecossistemas terrestres, os plásticos se acumulam nos solos e podem ser ingeridos por animais terrestres (WINDSOR et al, 2019).

Os corpos hídricos possuem regimes hidrológicos característicos de suas áreas de localizações. Conforme o volume dos rios e igarapés aumenta, os contaminantes são diluídos, e os resíduos são carregados para outros locais, sobrecarregando o sistema de drenagem, causando assoreamento e posteriormente, as enchentes (FILHO e WALKER, 2001).

No Brasil, em 2017, a ONU Meio Ambiente lançou no dia 7 de junho a campanha Mares Limpos durante o evento Aqua Rio, realizado no Rio de Janeiro como parte das comemorações do dia Mundial do Meio Ambiente. Essa campanha realizará durante cinco anos ações para conter a maré de plásticos que invadem os oceanos. Os estudos sobre

poluição microplástica realizados no Brasil ainda estão tímidos, com publicações em número não tão chamativos quanto o problema enfrentado.

Em uma revisão realizada por Olivatto et al (2018) sobre estudos de microplásticos em matrizes brasileiras, encontraram trabalhos nas plataformas Google Scholar e Periódicos Capes que datam do ano de 2010 até o ano de 2018. São 23 artigos científicos com estudos de microplásticos em biota, sedimento e água. Foram 8 publicações nos primeiros quatro anos e 15 nos dois últimos anos. Os estudos são mais proeminentes nas regiões costeiras do Nordeste e Sudeste do Brasil. Existe uma necessidade de estudos na região norte do país.

As bacias hidrográficas são unidades importantes de fonte, fluxo e destino de poluição plástica. O transporte de plásticos e microplásticos seguem caminhos hidrológicos determinados pela topografia, padrões de drenagem e uso da terra. Contudo, o movimento entre ambientes terrestres, atmosféricos e de água doce também atuam como sumidouros de plásticos e microplásticos nas cidades (WINDSOR et al, 2019).

Manaus com suas bacias hidrográficas possui grande influência de deposição de poluentes no rio Negro, influenciados pelos níveis de profundidade do curso d'água, topografia da cidade e características da população local. Isto torna o igarapé do Mindu um importante repositório de poluentes (metais como cádmio, cromo e chumbo, resíduos como plásticos, entre outros) por se tratar do maior corpo hídrico do ambiente urbano de Manaus.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Laboratórios e Permissões

Os ensaios laboratoriais para isolamento do material microplástico foram realizados no laboratório de Química e Saneamento Ambiental pertencente à Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica - Faculdade Fucapi.

Para coleta dentro das Unidades de Conservação e Parques Municipais no município de Manaus, que perfazem três dos sete pontos de coletas, foi solicitada junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS acesso ao Parque Municipal Nascentes do Mindu, Parque Municipal do Mindu e Parque Municipal Ponte dos Bilhares, através do Ofício nº 006/2019-PPGCASA (Anexo 1), tendo como retorno a autorização nº 07/2019 – SEMMAS (Anexo 2).

4.2 Área de estudo

4.2.1 Manaus

De acordo com Miranda (2017), o Estado do Amazonas possui municípios inteiramente drenados por igarapés e afluentes constituintes das muitas bacias hidrográficas, características marcantes da região norte. Na região Amazônica, em sua parte ocidental encontra-se a cidade de Manaus, a capital do Estado, metrópole que possui grande expressão de urbanização em relação à região Norte (TRINDADE JUNIOR, 2010).

A cidade de Manaus teve crescimento demográfico acentuado a partir da década de 70, fato influenciado pela implantação da Zona Franca de Manaus (ZFM). Com a expansão populacional surgiram bairros em meio à supressão de áreas verdes, constituindo instalações sem infraestrutura adequada e em áreas vulneráveis (SOUZA-FLHO et al, 2019).

Segundo o censo do IBGE (2019), a população de Manaus estimada é de 2.182.763 pessoas, com densidade demográfica em 158,06 hab/Km². A cidade possui vários pontos turísticos com reconhecimento nacional e internacional.

A expansão da cidade de forma desordenada e irregular criou aglomerados populacionais próximos aos corpos hídricos que drenam a cidade. A antropização irregular torna o ambiente suscetível ao assoreamento dos canais de drenagem, inutilização de vias públicas e interferências negativas no sistema de saneamento básico (VIEIRA, 2008; CASSIANO et al, 2013).

As principais bacias hidrográficas da cidade são as bacias do Tarumã, Puraquequara, Educandos e São Raimundo, sendo esta última a maior em extensão (Tabela 3). As

características comuns são a Formação Alter do Chão e floresta ombrófila (VIANA, 2018; MACENA e COSTA, 2012). As bacias hidrográficas possuem vários igarapés como afluentes, que delinham a composição da rede hidrográfica da cidade.

Tabela 2: Extensão das principais bacias hidrográficas de Manaus

Nome da bacia	Superfície	Comprimento total	Principal tributário
Tarumã	1.353.271 km ²	37.612 km	Igarapé do Tarumã
Puraquequara	694.834 km ²	19.541 km	Rio Puraquequara
Educandos	46,14 km ²	11,970 km	Igarapé do Quarenta
São Raimundo	117.363 km ²	154.389 km	Igarapé do Mindu

Fonte: VIANA, 2018.

Os igarapés que drenam a cidade são considerados como parte do patrimônio natural do município, estabelecidos no plano diretor de Manaus. Contudo, na medida em que a cidade expandiu houve descaracterização desses igarapés (MIRANDA, 2017). Os danos ambientais e poluição sofrida pelos corpos hídricos são refletidos na dinâmica com o meio urbano.

Conforme descreve Ab'Saber (2004), um igarapé típico de Manaus é um baixo vale afogado pela sucessão habitual das cheias do Rio Negro, em pontos da margem de ataque da correnteza do grande caudal. Esses igarapés possuem de 7 a 12 metros de barranca lateral representados por vales que variam de 30 a 80 metros, separando vários blocos urbanos, constituindo um divisor natural de vários bairros da cidade.

Molinier et al (2005) acrescentam que a convergência das contribuições dos rios Solimões, Negro e Madeira, conduzem a um importante aumento das superfícies drenadas e das vazões. Manaus está sob o clima Equatorial Quente e Úmido, com ocorrências de chuvas durante o ano e precipitação anual superior a 60 mm no mês mais seco. A cidade apresenta duas estações bem definidas ao longo do ano, chuvoso (inverno) e seco (verão).

O período chuvoso é compreendido entre os meses de dezembro a maio, com precipitação média de 200 – 330 mm. O período seco, por sua vez, é compreendido dos meses de junho a novembro com precipitação média de 70 – 180 mm (SOUZA-FILHO et al, 2019).

As características sobre o clima e precipitação foram importantes para definição do período de coleta no meio ambiente, tendo como condicionante, o regime hidrológico. Para Rodrigues et al (2018), as condições hidrodinâmicas e geográficas, condições sazonais (vento, chuva, inundações e tempestades) e atividades humanas (lixo ou reciclagem) agregadas às características das partículas (tamanho, forma e composição) influenciam a disponibilidade de poluentes plásticos no meio ambiente.

4.2.2 Igarapé do Mindu

O igarapé do Mindu é um dos corpos hídricos mais conhecidos de Manaus (BORGES et al, 2011), cujo curso d'água é o mais extenso do sítio urbano, cerca de 22 quilômetros (PMM, 2010).Dá origem à microbracia do Mindu com superfície de 66,02 km² (PMM, 2008). Compõe-se também como o principal tributário da bacia do São Raimundo, cruzando a cidade no sentido nordeste-sudeste km (VIANA, 2018).

O igarapé do Mindu possui diversos níveis topográficos, variando de 30 a 100 m. As nascentes estão localizadas no bairro Cidade de Deus, próximas a reserva Adolpho Ducke, especificamente no Parque Nascentes do Mindu, e a foz situada na zona próxima ao rio Negro (BORGES et al, 2011; SOUZA-FILHO et al, 2019).

Por ser um igarapé com potencial alto de bioacumulação de resíduos sólidos e próximo a adensamentos populacionais, os impactos ocasionados nessas localidades perfaz uma grande contribuição de sedimento e partículas para outros igarapés e por consequência, o rio Negro.

O igarapé do Mindu possui três nascentes situadas no curso alto da bacia hidrográfica do igarapé no bairro Cidade de Deus, nessa localidade encontram-se altitudes topográficas com cotas entre 60 e 100m, a colinosidade nessa área é muito evidente, contornadas por vias de circulação.

Com a finalidade de preservar as nascentes da degradação ambiental e influência antrópica, foi criada por meio do Decreto 8.351/2006, a Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Municipal da Nascente do Mindu (PMM, 2006).

O Parque Nascentes do Mindu possui três nascentes, sendo duas delas comprometidas por assoreamento e eutrofização e uma nascente preservada. Na área das nascentes, os cursos são meandrosos, com profundidade média de inferiores a meio metro, largura inferior a 1 metro, leito arenoso, substrato aquático diverso com folhas, raízes, plantas aquáticas e com coloração de água clara.

Filho e Walker (2001) ressaltam que a nascente é o único trecho do igarapé que não está degradado por poluição. Esse trecho está inserido no perímetro de bairros populosos das zonas norte e leste, como Novo Aleixo, Jorge Teixeira e São José (PMM, 2010).

No curso intermediário do igarapé, encontra-se o Parque Municipal do Mindu, área de Conservação de Proteção Integral criada a partir do decreto nº 9.043 de 2007. Compreende uma área de 40,8 hectares de mata secundária e grande biodiversidade (SEMMAS, 2018).

Nessa área o curso é menos meandroso, com profundidade média de 1 metro, com vegetação arbustiva predominante como capins.

Seguindo para o curso inferior, encontra-se o Parque Municipal Ponte dos Bilhares, inaugurado em 24 de outubro de 2006, pela prefeitura de Manaus. O parque tem o objetivo de oferecer lazer à população, preservando o meio ambiente. Este espaço público possui quadras poliesportivas, biblioteca, pista de skate, playgrounds, anfiteatros, praça da fogueira e local com venda de comidas para apreciação da gastronomia local (SEMMAS, 2018).

Neste trecho observa-se também a fortificação das obras de canalização, obras de infraestrutura como o “Passeio do Mindu”, presença de shoppings centers e condomínios de alto padrão (FILHO e WALKER, 2001).

O igarapé do Mindu comumente está inserido em projetos de pavimentação ao seu entorno por fazer parte do principal corredor ecológico urbano da cidade de Manaus. De acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS, os Corredores Ecológicos Urbanos são criados pela necessidade de interligar fragmentos florestais urbanos, possibilitando o fluxo gênico e o movimento da biota por estas áreas, fragmentos estes que compreendem Áreas verdes, Áreas de preservação e Unidades de Conservação.

O Corredor Ecológico do Mindu foi criado através do Decreto nº 9.329/2007, iniciando no Parque Nascentes do Mindu, seguindo o curso do igarapé, passando pelo Parque Municipal do Mindu, até o Parque Ponte dos Bilhares, interligando a cidade de Manaus, da zona leste à sul.

A bacia hidrográfica em que o igarapé do Mindu faz parte drena, direta e indiretamente 28 bairros de Manaus. Segundo o sendo do IBGE de 2019, Manaus possui a população estimada em 2.182.763 habitantes, deste quantitativo, 57,24% moram em bairros que são drenados por esta bacia hidrográfica (SEDECTI, 2015).

Ainda segundo os dados da população por bairro da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnológica e Inovação – SEDECTI, 13 bairros margeiam o igarapé do Mindu, o que corresponde a um quantitativo de 28,13% da população de Manaus e 49,14% da população drenada pela bacia do São Raimundo.

Segundo dados de Alves et al (2016) e Souza-Filho et al (2019), a bacia do Mindu encontra-se densamente povoada verticalmente e horizontalmente (ao longo do curso). O alto Mindu possui maior adensamento quando comparado com os cursos médio e baixo Mindu. A proximidade com a área urbanizada e antropizada de Manaus faz com que o igarapé do Mindu

seja um importante veículo de transporte de sedimentos e poluentes até o rio Negro. A importância ambiental deste igarapé para a cidade de Manaus inicia com o contato que a população possui, residindo às suas margens.

Alem da habitação, o igarapé do Mindu possui em seu trajeto, locais públicos de entretenimento, que perfazem alguns dos cartões postais da cidade. As áreas de preservação ambiental que fazem parte do Corredor Ecológico Urbano do Mindu contribuem com o embelezamento da cidade, consistindo em biodiversidade ecológica faunística e florística, possibilitando o contato da população local com áreas verdes.

Contudo, o contato direto da população com o igarapé facilita o descarte de resíduos sólidos, rejeitos e efluentes sanitários. As deficiências nos sistemas de esgotamento sanitário e de resíduos sólidos condicionam a poluição do igarapé do Mindu por ação antrópica. Como resultados da poluição, que em grande parte é plástica, o igarapé transporta resíduos por toda sua extensão, modificando a paisagem natural e impactando os sistemas ecológicos e de drenagem.

4.3 Delimitação dos pontos de coleta

Foram georreferenciados sete pontos para coleta de água no igarapé do Mindu (Tabela 4), situado na cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas.

Tabela 3: Descrição dos pontos de coleta na extensão do igarapé do Mindu.

Pontos de coleta	Bairro	Código	Coordenada (S)	Coordenada (O)
Parque Municipal Nascentes do Mindu	Cidade de Deus	P1	3° 0'35.33"	59°56'0.87"
Rua 9	Águas Claras	P2	3° 2'56.56"	59°56'49.38"
Av. Nathan Xavier	Águas Claras	P3	3° 3'27.66"	59°57'26.64"
Parque Municipal do Mindu	Parque 10 de Novembro	P4	3° 4'54.97"	60° 0'12.10"
Parque Municipal Pontes dos Bilhares	Chapada	P5	3° 6'7.91"	60° 1'36.02"
Av. Álvaro Maia	Aparecida	P6	3° 6'51.42"	60° 1'57.77"
Av. Brasil	Aparecida	P7	3° 6'53.71"	60° 1'59.88"

Fonte: Autor, 2019

Com a finalidade de quantificar de forma homogênea a poluição microplástica em toda extensão de 22 km do igarapé do Mindu, os pontos de amostragem abrangeram os três cursos do igarapé (alto, médio e baixo) (Figura 1).



Figura 1: Bacia do igarapé do Mindu
Fonte: Souza-Filho et al, 2019

No alto curso, a coleta foi iniciada em uma das nascentes, situada dentro do Parque Municipal Nascentes do Mindu, no bairro Cidade de Deus, e posteriormente, seguiu por mais dois pontos no bairro Águas Claras. No curso médio, a coleta foi realizada dentro do Parque Municipal do Mindu. No curso baixo, houve coletas no Parque Ponte dos Bilhares, na Avenida Álvaro Maia e por fim, na Avenida Brasil, na foz do igarapé do Mindu (Figura 2).

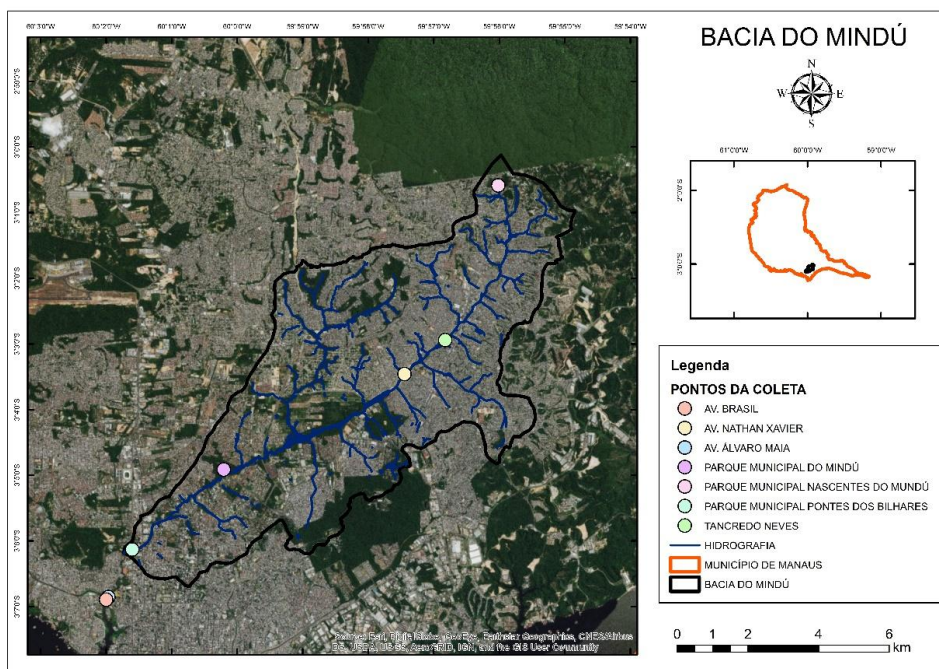


Figura 2: Mapa com os pontos de coleta no igarapé do Mindu.
Fonte: Autor, 2019.

A sazonalidade de coleta foi escolhida de acordo com o cotograma do regime hidrológico do rio Negro fornecido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM de Manaus (Figura 3).

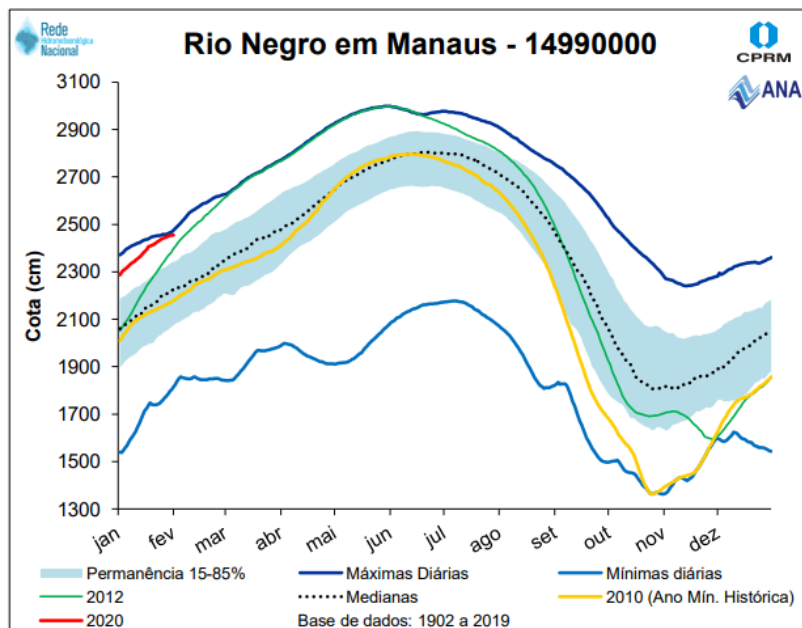


Figura 3: Cotograma do rio Negro em Manaus
Fonte: CPRM, 2020

As estações chuvosa e seca, juntamente com a topografia da cidade de Manaus influenciam diretamente a oscilação fluviométrica do nível da água dos igarapés, em especial o igarapé do Mindu, que tem a sua foz próxima ao rio Negro. Portanto, a escolha dos meses para o período de coleta (Tabela 5) tornou-se importante para a relação entre o nível fluviométrico e concentrações de microplásticos isolados a partir das amostras de água do igarapé.

Tabela 4: Meses de coleta

Mês	Regime
Junho	Enchente
Julho	Cheia
Setembro	Vazante
Novembro	Seca

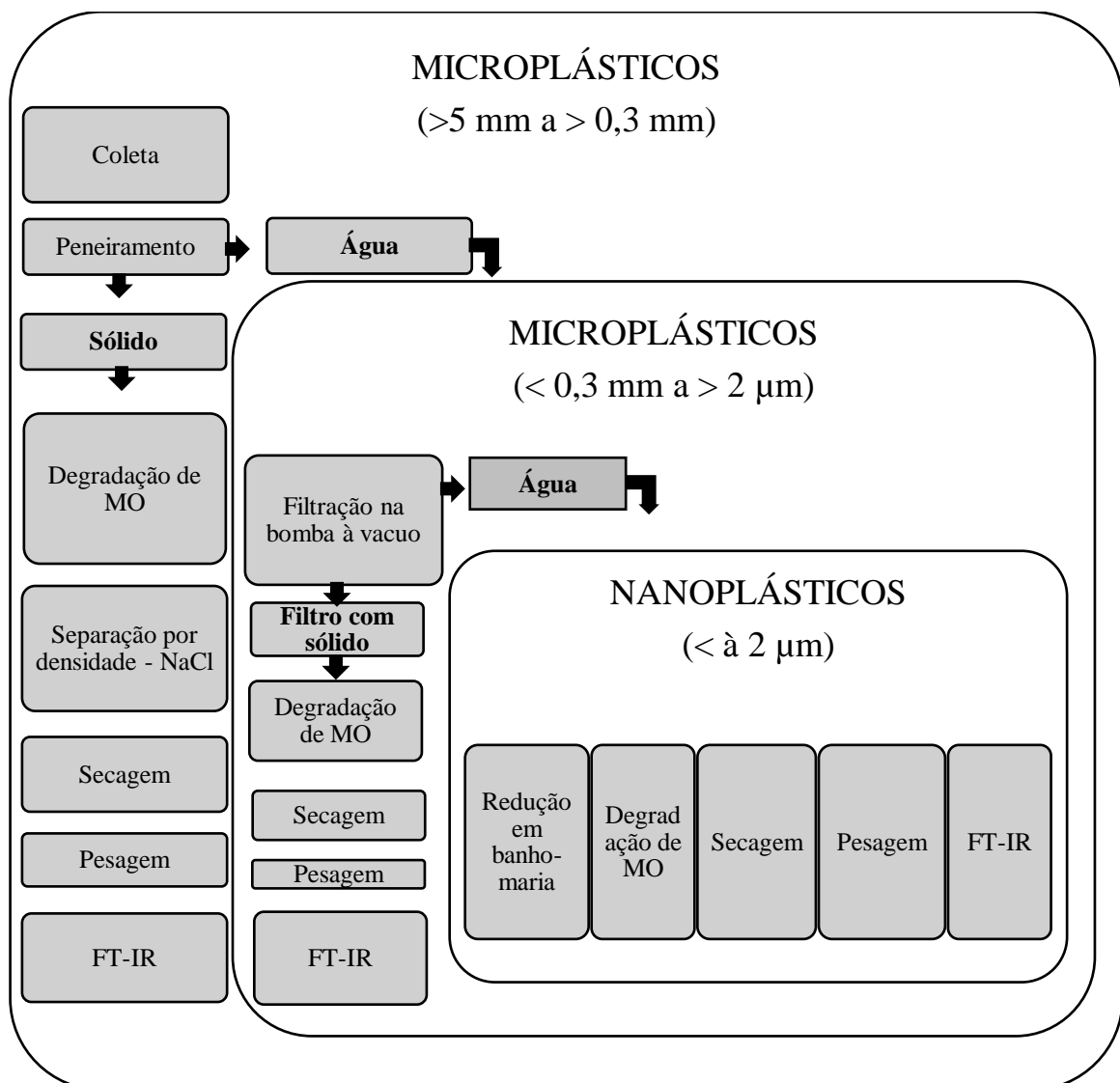
Fonte: Autor, 2019.

4.4 Metodologias para isolamento quantitativo de micro e nanoplásticos das amostras de água do igarapé do Mindu

No isolamento de material plástico foram realizadas adaptações dos Métodos Laboratoriais para Análise de Microplásticos no Ambiente Marinho, elaborado pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (MASURA, 2015), em conjunto com metodologias utilizadas em trabalhos científicos realizados sobre microplásticos isolados em ambientes de água doce (YONKOS et al, 2014; BLETTLER et al, 2017).

As classes para segregação dos sólidos foram definidas em 3 grupos de tamanhos, sendo eles: Microplásticos (> 5 mm a 0,3 mm), Microplásticos (< 0,3 mm a > 2 µm) e Nanoplásticos (< 2 µm), adotando essa nomenclaturas nas classificações (Organograma 1).

Organograma 1: Etapas para isolamento de sólidos nas 3 classes de tamanho.



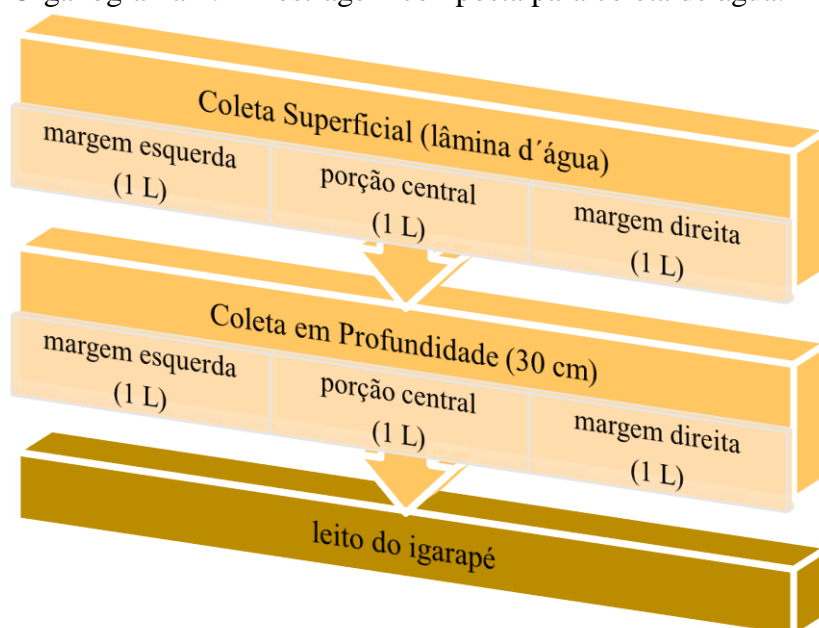
Fonte: Autor, 2020.

4.4.1 Coleta e Armazenamento das amostras de água

Os materiais plásticos sofrem influências externas e internas e tem sua densidade alterada, seja na forma macro ou micro, dessa forma, foram definidos dois perfis de água para estudo, sendo eles, superficial (na lâmina d'água) e profundidade (30 cm).

Para avaliar as concentrações médias de microplásticos presentes na água do igarapé de forma a contemplar as margens e a porção central do curso d'água, adotou-se o método de amostra composta (Organograma 2), que visa a mistura de amostras individuais de vários pontos e profundidades de um mesmo local (CETESB/ANA, 2011).

Organograma 2: Amostragem composta para coleta de água.



Fonte: Autor, 2019.

Para a coleta de água utilizou-se uma Garrafa de Van Dorn com capacidade de 5 litros. Seguindo o procedimento de amostra composta, foram coletadas alíquotas de 1 litro de água, em cada margem e porção central do igarapé, nos dois perfis de água, compreendendo 3 litros superficiais (lâmina d'água) e 3 litros de profundidade (30 cm).

Cada coleta mobilizava 14 bombonas com 3 litros de água em cada uma.

Após a coleta (Figura 4a), as águas foram armazenadas em bombonas plásticas com capacidade de 5 litros, previamente limpas e identificadas (Figura 4b).

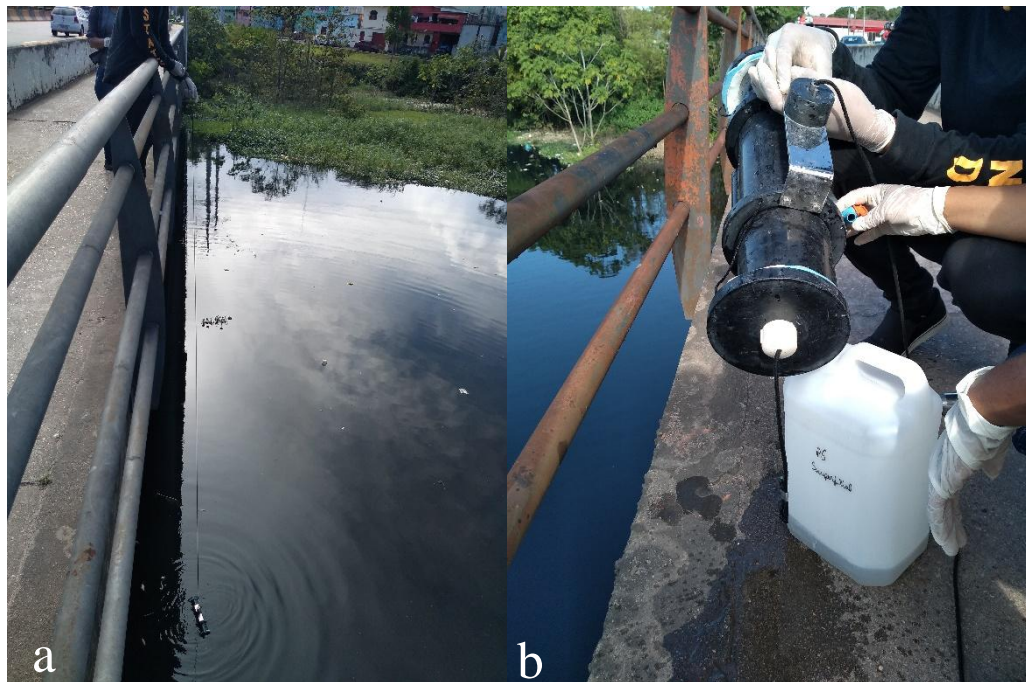


Figura 4: a) Coleta de amostra composta para o perfil superficial no ponto P6. b) armazenamento da água do igarapé na bombona.

Fonte: Autor, 2019.

Posteriormente, as bombonas foram levadas para o laboratório de Química e Saneamento Ambiental da Faculdade Fucapi para início dos procedimentos de isolamento de microplásticos.

Foram coletadas in loco informações sobre temperatura, com a utilização do termômetro infravermelho laser digital da marca Ferimte, pH, com a utilização do pHmetro Hanna pH21, e condutividade elétrica da água, com a utilização do Condutivímetro Conductivity Meter (0 - 200 μ S).

A vazão foi mensurada por meio do método do flutuador, que consiste na obtenção de dados da largura e profundidade a jusante e a montante, nos trechos coletados, e contagem do tempo percorrido por um objeto flutuador em uma distância conhecida. Posteriormente estes dados foram analisados.

4.5 Isolamento de microplásticos: < 5 mm a >0,3 mm

4.5.1 Peneiramento

Em laboratório, a bombona com a água do igarapé foi agitada vigorosamente de forma manual, para retirada de 1L de água, que era transpassada em um peneiramento vertical com utilização de duas peneiras, de 5 mm e 0,3 mm de diâmetro de furo.

A finalidade do peneiramento visou descartar o material sólido retido na peneira de maior diâmetro, por se tratar de sólido com tamanho acima de 5 mm, estando fora da classificação de microplásticos.

Os microplásticos retidos na peneira de menor diâmetro foram acondicionados em béqueres, devidamente identificados, sendo posteriormente colocados na estufa Quimis para secar por 12 horas.

A água residual foi armazenada em geladeira da marca Springer à temperatura de 18°C, para posterior etapa de isolamento de microplásticos com tamanho inferior a 0,3 mm e acima de 2 µm.

4.5.2 Degradação da matéria orgânica

Após a secagem, os microplásticos retidos na etapa de peneiramento, passaram pelo processo oxidativo de degradação da matéria orgânica. O método utilizado para esta finalidade foi a oxidação por peróxido úmido que utiliza concomitantemente duas soluções. Este método, também chamado de reagente FENTON é econômico e eficaz na degradação da matéria orgânica sem danificar o material plástico (RODRIGUES et al, 2018).

Para a preparação da solução de Ferro II a 0,05M, foram diluídos 7,5 g de $\text{FeSO}_{4+7\text{H}_2\text{O}}$ em 500 mL de água destilada e posteriormente, adicionados 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. A segunda solução utilizada foi o peróxido de hidrogênio PA a 35%.

O processo foi realizado dentro da capela de fluxo laminar. Inicialmente foram adicionados ao béquer com os microplásticos secos, 20 mL da solução e Ferro II e 20 mL de peróxido de hidrogênio PA a 35%. Esta mistura permaneceu em descanso por 5 minutos na bancada de trabalho. Após este tempo, a solução apresentou emissão de gases, devido ao aquecimento prévio intrínseco do processo oxidativo das soluções.

Para acelerar o processo oxidativo, foi adicionada uma barra magnética à solução, que em seguida foi colocada na chapa aquecedora da marca Quimis, com agitação de 5 rpm por segundo até atingir a temperatura de 75°C, alcançado de 30 a 60 segundos após ter sido colocado na chapa aquecedora.

A variação do tempo ocorreu devido às características dos microplásticos, apresentando maior ou menor quantidade de matéria orgânica. Comumente houve a necessidade de adicionar alíquotas de 10 mL de água destilada para cessar o processo de transbordamento da solução.

O procedimento com peróxido húmido tem a finalidade de remover a matéria orgânica, devendo o material plástico permanecer inalterado. Contudo, quando em alguns

casos ainda restaram vestígios de matéria orgânica, foram adicionados mais 20 mL de peróxido de hidrogênio a 35% e o procedimento foi repetido até que nenhuma matéria orgânica fosse visível.

4.5.3 Separação por densidade e secagem

Os microplásticos resultantes da oxidação da matéria orgânica foram colocados no sistema de separação por densidade. A solução utilizada nesta etapa foi preparada com adição de 140 g de NaCl PA a 1L de água destilada. Esta solução foi colocada em funis de vidro, com a base inferior vedada por meio de uma mangueira plástica e pinça de Hoffman, ambos organizados em um suporte universal (Figura 5).

Após a inserção dos microplásticos na solução, a parte superior do funil foi vedada com papel alumínio, permanecendo em repouso por 12 horas. Esse procedimento foi realizado individualmente para cada amostra superficial e de profundidade.



Figura 5: Suporte universal com funis para separação por densidade.

Fonte: Autor, 2019.

Este procedimento tem a finalidade de separar por meio da densidade os diferentes materiais, resultando por fim, em material plástico flutuante. Após o período de 12 horas, os microplásticos flutuantes foram recolhidos com a utilização de pinça, lavando-os com água destilada e colocando-os no béquer para secar em estufa à 90°C por um período de 12 horas.

4.5.4 Análise gravimétrica

Após o período de secagem, os béqueres com os sólidos foram pesados em balança analítica Shimadzu com precisão de 0,1 mg para determinação do peso seco. Posteriormente, os microplásticos foram transferidos para frascos eppendorf, previamente identificados, para seguir para a etapa de identificação da identidade polimérica.

4.6 Isolamento de Microplásticos: < 0,3 mm a > 2 µm

4.6.1 Filtração a vácuo

As águas residuais da etapa anterior (peneiramento dos sólidos: < 5 mm e < 0,3 mm), foram filtradas, individualmente, por meio do sistema de bomba a vácuo (CASTRO et al, 2016; PEREIRA, 2018; RODRIGUES et al, 2018; FAN et al, 2019). Para este sistema, utilizou-se um Kitassato de vidro com o funil de Buchner (9 cm) e Papel Filtro Quantitativo de faixa azul com 9 cm de diâmetro e porosidade de 2 (gramatura de 80g/m²), ligados a bomba a vácuo por uma borracha plástica (Figura 6).

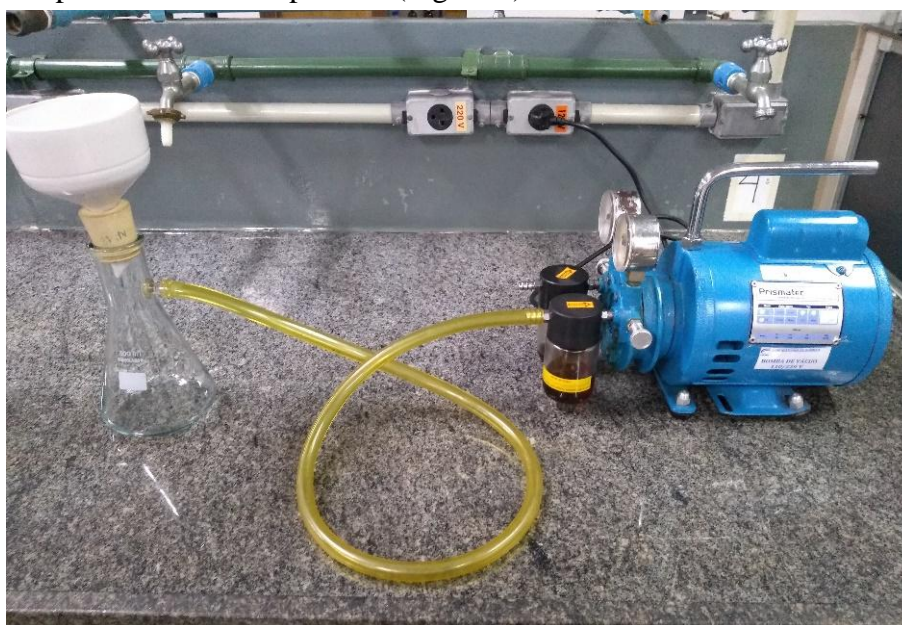


Figura 6: Sistema de Kitassato à bomba a vácuo.
Fonte: Autor, 2019.

Após a filtração, as águas eram armazenadas novamente na geladeira Springer a 18°C. Os filtros quantitativos seguiam para a etapa de degradação da matéria orgânica.

4.6.2 Degradação da matéria orgânica e secagem

Os filtros quantitativos com os microplásticos advindos da filtração foram colocados individualmente em placas Petri de vidro, com a adição 20 mL de peróxido de hidrogênio a

35%, de forma a cobrir todo o filtro, que permaneceu em repouso por 48 horas na capela de fluxo laminar (Figura 7a e Figura 7b).



Figura 7: a) Filtro com microplásticos após filtração de água. b) Filtros em placas Petri imergidos com peróxido de hidrogênio a 30%.

Fonte: Autor, 2019.

Após as 48 horas, os filtros foram retirados com pinça e lavados com água destilada para remoção de vestígios de microplásticos que possam ter ficado na superfície do filtro. As soluções residuais foram vertidas em béqueres, individualmente identificados, e levados para a estufa à 90°C para secar por 72 horas.

4.6.3 Análise gravimétrica

Após o período de secagem, os béqueres foram pesados em balança analítica Shimadzu com precisão de 0,1 mg para determinação do peso seco dos microplásticos. Posteriormente foram transferidos com auxílio de pinças e espátulas para frascos eppendorf, previamente identificados, para seguir na etapa de identificação da identidade polimérica.

4.7 Isolamento de Nanoplástico: < 2 µm

4.7.1 Redução em banho-maria

As águas filtradas na etapa anterior (filtração a vácuo para isolamento de microplásticos de tamanho: < 0,3 mm a > 2 µm) foram colocadas individualmente em cadinhos de porcelana para serem colocados no equipamento de banho-maria à 100°C (Figura 8).



Figura 8: Amostras de nanoplásticos no equipamento de banho-maria.
Fonte: Autor, 2019.

A finalidade deste processo é reduzir o líquido até restar apenas os nanoplásticos. O tempo de secagem foi de 12 horas

4.7.2 Degradação da matéria orgânica e secagem

Após a redução do líquido, foram adicionados 20 mL de peróxido de hidrogênio PA a 35% nos cadinhos de porcelana, de forma a cobrir toda a parede e fundo do recipiente, permanecendo em repouso na capela de fluxo laminar por 48 horas.

Após esse tempo, a solução residual do cadinho foi vertida em béqueres (Figura 9), sendo lavada com água destilada para retirada de residuais, e posteriormente levada para a estufa à 90°C para secar por 72 horas,



Figura 9: Solução após a digestão de MO para ser vertida em béquer.
Fonte: Autor, 2019.

4.7.3 Análise gravimétrica

Após a secagem, os béqueres foram pesados em balança analítica Shimadzu com precisão de 0,1 mg para determinação do peso seco dos nanoplásticos. Posteriormente, os microplásticos foram transferidos com auxílio de pinças e espátulas para frascos eppendorf, previamente identificados, para seguir para a etapa de identificação da identidade polimérica.

4.8 Metodologia para análise qualitativa das amostras micro e nanoplásticas

As amostras foram encaminhadas para análise de espectroscopia de infravermelho via FTIR na empresa StarHub Empresa Júnior (HUB - Tecnologia e Inovação), situada na Universidade do Estado do Amazonas – UEA.

A identificação do material via FTIR é necessária, pois a visualização em microscópio permite segregar o material de acordo com características intrínsecas do material, como cor, textura, tamanho e origem (primário e secundário). Porém, não é possível determinar por via visual a identidade polimérica do sólido (LI et al, 2018). Atualmente, as pesquisas qualitativas e quantitativas de microplásticos incluem diversas técnicas utilizadas para auxiliar na identificação do material polimérico, de acordo com características intrínsecas de cada grupo.

Segundo procedimento interno da StarHub, no laboratório ILUM, foram preparadas pequenas porções das amostras de microplásticos e nanoplásticos, inicialmente maceradas junto a cristais de Brometo de Potássio (KBr) e posteriormente prensadas para obtenção de pastilha sólida. Foram preparadas pastilhas de KBr puro para serem utilizadas como o branco da análise.

O equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da marca Shimadzu com software IRPrestige-21 com parâmetros descritos abaixo (tabela 6):

Tabela 5: Parâmetros utilizados para análise de FTIR

Modo	Apodização	Número de Scans	Resolução	Range de Varredura
Transmitância	Happ-Genzel	64	1,0	Máximo: 4000 (cm ⁻¹) Mínimo: 400 (cm ⁻¹)

Fonte: Laudo FTIR – StarHub Empresa Júnior

4.9 Metodologia para elaboração de mapas

Para elaboração dos mapas de pontos de coleta e de paisagem foram utilizados arquivos Shapefiles da bacia do São Raimundo e os programas de informações geográficas ArcGis e o Google Earth.

4.10 Metodologia para relacionar a dispersão longitudinal de micro e nanoplásticos sobre a influência do regime hidrológico

Para o tratamento dos dados quantitativos das concentrações micro e nanoplásticas foi utilizado o teste estatístico Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas no Software do programa estatístico IBM SPSS Statistics. Foram realizados os testes de: Homogeneidade de Levene, Normalidade de Shapiro-Wilk, Esfericidade de Mauchly's.

A utilização da análise estatística da anova mista visa relacionar a dispersão longitudinal de micro e nanoplástica sobre a influência do regime hidrológico e perfis de água analisados. A sintaxe utilizada no SPSS está descrita abaixo:

```
GLM LogSUP_6 LogSUP_7 LogSUP_9 LogSUP_11 LogPROF_6 LogPROF_7  
LogPROF_9 LogPROF_11 BY TIPO  
/WSFACTOR=Período_de_coleta 4 Polynomial  
/MEASURE=Superficial Profundidade  
/METHOD=SSTYPE(3)  
/PLOT=PROFILE(Período_de_coleta*TIPO TIPO*Período_de_coleta)  
/EMMEANS=TABLES(TIPO) COMPARE ADJ(SIDAK)  
/EMMEANS=TABLES(Período_de_coleta) COMPARE ADJ(SIDAK)  
/EMMEANS=TABLES(TIPO*Período_de_coleta) COMPARE (TIPO)  
ADJ(SIDAK)  
/EMMEANS=TABLES(TIPO*Período_de_coleta) COMPARE (Período_de_coleta)  
ADJ(SIDAK)  
/CRITERIA=ALPHA(.05)  
/WSDESIGN=Período_de_coleta  
/DESIGN=TIPO.
```

Uma ANOVA mista compara as diferenças médias entre os grupos que foram divididos em dois "fatores", também conhecidos como variáveis independentes (SPSS-TUTORIALS, 2020). É utilizada em um estudo com dois grupos de tratamento e duas medidas longitudinais por indivíduo. A primeira medida tomada no início do estudo e a segunda medida colhida após a aplicação do tratamento (RAPOSO, 2016).

No caso desta pesquisa de microplásticos, os tipos de microplásticos são o fator entre-indivíduos e o período de coleta é o fator intra-indivíduo, possuindo dois níveis, que são os perfis de água (superficial e profundidade), medidos ao longo do tempo.

Teste de Homogeneidade

A Normalidade pressupõe que os resíduos tenham distribuição normal, caso contrário, a distribuição terá maior erro padrão e as estimativas não serão eficientes.

O teste de Levene verifica a hipótese de que a variância nos grupos é a mesma, isto é, a diferença entre as variâncias é zero (FIELD, 2009). As hipóteses do teste são:

H0 – as diferenças entre as variâncias é zero ($p > 0,05$), ou seja, supõe-se que as variâncias são homogêneas;

H1 – as variâncias são significativamente diferentes ($p < 0,05$), ou seja, a suposição de variâncias homogênea é violada.

Teste de Esfericidade

A Esfericidade é a igualdade das variâncias oriundas de um nível de tratamento, é o responsável por garantir que os dados longitudinais (que variam com o tempo) sejam dependentes.

O SPSS produz o teste de Mauchly, o qual testa a hipótese de que as variâncias das diferenças entre condições são iguais (FIELD, 2009). As hipóteses do teste são:

H0 – não existem diferenças significativas entre as variâncias das diferenças ($p > 0,05$), isto é, são aproximadamente iguais, sendo a esfericidade atendida.

H1 – existem diferenças significativas entre as variâncias das diferenças ($p < 0,05$), ou seja, a esfericidade foi violada;

Teste de Normalidade

O teste de Shapiro-Wilk compara scores de uma amostra a uma distribuição normal modelo de mesma média e variância dos valores encontrados na amostra (FIELD, 2009). As hipóteses do teste são:

H0 – os dados da amostra não diferem significativamente de uma distribuição normal ($p > 0,05$);

H1 – a distribuição dos dados é significativamente diferente de uma distribuição normal ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características da paisagem do ambiente de coleta de água do igarapé do Mindu.

5.1.1 Parque Municipal Nascentes do Mindu.

As coletas de água do igarapé do Mindu teve início no Parque Nascentes do Mindu, localizado no bairro cidade de Deus. Criado por meio do decreto ° 8.351/2016 trata-se de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, criado para preservar e proteger as três nascentes no igarapé do Mindu. Possui 16 hectares de área com variedade de espécies nativa de fauna e flora (SEMMAS, 2013). Neste local é admitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais para atividades de pesquisa e turismo ecológico (BRASIL, 2000; MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

Sobre a qualidade da água das nascentes, apenas uma encontra-se límpida (Figura 10), com características de cor, odor e condutividade elétrica com valores dentro do ideal para igarapés da cidade de Manaus. A água desta nascente foi utilizada na pesquisa sobre microplásticos no igarapé do Mindu. Apesar de possuir características de potabilidade, esta nascente não é isolada do contato antrópico, fato comprovado pelo alto valor de pH medido durante o período de coleta. No local, durante o período de coleta foram encontradas embalagens de comidas rápidas, barbantes e sacolas, enterradas próximas a nascente.



Figura 10: Nascente límpida do igarapé do Mindu.
Fonte: Autor, 2019.

As outras duas nascentes encontram-se comprometidas, devido o assoreamento e eutrofização, como resultado de uma tentativa de implantar um tanque natural que abrigasse espécies de peixes e tartarugas, que pudesse ser prestigiado pelos visitantes do parque (Figura 11).



Figura 11: Nascente do igarapé do Mindu assoreada e eutrofizada.

Fonte: Autor, 2019.

Sobre o contato antrópico com as nascentes, o muro lateral do parque está com a estrutura comprometida, possuindo dois acessos para a área interna do parque, além da entrada principal. No primeiro acesso, existe uma lixeira viciada, com depósito de lixo doméstico, móveis e outros resíduos. O segundo acesso possui um campo de futebol utilizado pela comunidade. Através desses locais é possível adentrar ao parque, caminhar pela floresta e chegar até as nascentes.

O igarapé do Mindu possui diferentes larguras e profundidades em sua extensão. No curso alto, a largura é inferior a 10 metros. Para os cursos d'água com menos de 10 (dez) metros de largura, o inciso I, do Art. 4º da Lei nº 12.651 de 2012 descreve que a distância para cursos d'água com esta característica não deve ser inferior a 30 metros. No entanto, externa à área do Parque Nascentes do Mindu é possível encontrar o início da influência

antrópica fortificada sobre as águas do igarapé, com a existência de muitas habitações próximas a margem do igarapé e descargas de efluentes.

5.1.2 Águas Claras

Dois pontos de coleta situam-se no bairro Águas Claras. Na localidade do ponto P2, durante o período de coleta, havia o andamento das obras de intervenção viária do Projeto de Recuperação Ambiental, Requalificação Social e Urbanística no igarapé do Mindu (Promindu), executadas por meio da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINF).

O referido local possuía instalações em contêineres correspondentes a escritório, vestiários e banheiro para os funcionários. No entanto, os dejetos sanitários eram diretamente despejados no igarapé, sem qualquer tratamento (Figura 12).



Figura 12: Ponto P2 com fonte difusa de poluição.

Fonte: Autor, 2019.

A descarga de efluentes domésticos e sanitários sem tratamento adequado ocasionam sérios problemas na qualidade da água e vegetação dos corpos hídricos, além de

descaracterizar o ambiente natural. Os sistemas de solo e água estão sujeitos a entradas pontuais e difusas de plásticos (HORTON et al, 2017).

Instalações como esta se tornam fontes de poluição difusa, que somada às fontes de poluição pontuais existentes, como descarte incorreto de resíduos diretamente no igarapé e advindo do sistema de drenagem, transformam os igarapé em repositórios de poluentes.

Neste trecho também ocorreram serviços de dragagem para retirada de lixo e para alargamento do canal do igarapé. Ao adentrar com veículos pesados no igarapé ocorre a compactação do leito, compactação e descompactação de lixo e retirada de vegetação ciliar das margens.

Naturalmente, as massas de água possuem sólidos em suspensão e sedimentos, resultante dos processos de intemperismo das rochas e erosão dos solos. Partículas finas, como argilas, permanecem em suspensão, outras mais grossas, como areia e silte tendem a sedimentar. A ação humana pode aumentar essa deposição com construções e outras atividades em que é necessária a retirada de vegetação e terraplanagem dentro do leito ou adjacência, aumentando assim a densidade dos sólidos via agregação (GIRARD, 2013).

Como consequência da modificação da paisagem, sólidos mais leves são carregados para outros locais por ação advectiva dos campos de velocidade, ocorre também o transporte vertical de sólidos por ação difusiva da turbulência da água. Rodrigues et al (2018) afirmam que a velocidade do fluxo, turbulência, velocidade do rio e variabilidade sazonal tem papel importante na disponibilidade de partículas na água.

Horton et al (2017) acrescenta ainda que baixas vazões, mudanças na profundidade, velocidade do rio podem levar a deposição de material particulado e as inundações e erosão a grandes velocidades levam a mobilização de partículas.

A condutividade elétrica neste ponto foi a maior medida durante o período de coleta. No perfil superficial, a condutividade elétrica foi de $440 \mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ e para o perfil profundidade foi de $450 \mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$, ambos medidos no regime de vazante.

O outro ponto de coleta no bairro Águas Claras é o ponto P3. O local é próximo a habitações comerciais e domésticas, possui densa vegetação ciliar do tipo arbustiva (Figura 13).



Figura 13: Ponto de coleta P3.
Fonte: Autor, 2019.

Neste trecho existe a retenção de resíduos sólidos plásticos de diferentes tamanhos, principalmente de sacolas plásticas que ficam aprisionadas na vegetação ciliar. A água do igarapé apresenta-se com mais transparência do que no ponto anterior, como resultado da não modificação do canal, o que permite a visualização do lixo plástico compactado no leito do igarapé.

Horton et al (2017) consideram que a maioria de todos os plásticos são utilizados e descartados em terra, o que implica na poluição plástica de todos os tamanhos em ambientes de água doce e solos adjacentes à áreas urbanas antropizadas. Da mesma forma, que os solos podem atuar como sumidouros de longo prazo para detritos microplásticos.

5.1.3 Parque Municipal do Mindu

O Parque Municipal do Mindu corresponde ao ponto P4, situado no bairro Parque Dez de Novembro. Este parque trata-se de uma Área de Conservação de Proteção Integral a partir do decreto nº 9.043 de 2007, possui uma área de 40,8 hectares de biodiversidade (BRASIL, 2007). O parque apresenta instalações administrativas, banheiros, academia ao ar livre, estacionamento amplo, orquidário, chapéu de palha, áreas de recreação infantil, auditório e trilhas.

Atualmente o parque é um dos principais cartões postais de Manaus apresentando variedade florística e faunística. A variedade de vegetação contida no parque é predominantemente floresta densa, representando cerca de 60%, área de campo com 20%, área de capoeira com 10% e área degradada, com também 10% (SILVA, 2014).

Antes de chegar ao Parque Municipal do Mindu, o igarapé percorreu por diversos bairros. Neste ponto, o igarapé ultrapassa 50% de sua extensão total. Uma das características negativas mais marcantes deste parque é a quantidade de lixo que é aprisionada na mata ciliar ao entorno do igarapé (Figura 14).



Figura 14: Mata ciliar do igarapé do Mindu dentro do Parque Municipal do Mindu.
Fonte: Autor, 2019

Comumente a Semmas e outros órgãos e agentes ambientais realizam mutirões para a retirada desses rejeitos, contudo, o fluxo de lixo é contínuo e a deposição segue descontrolada. No parque também existem animais de pequeno porte como o Saium-de-coleira, que só existe na região de Manaus, algumas espécies de aves e roedores, preguiças, entre outros.

Um dos expectadores mais impactados com a presença de lixo nesta localidade é sem dúvida os jacarés, que vivem neste trecho do igarapé (Figura 15).



Figura 15: Jacaré no trecho do igarapé do Mindu dentro do Parque Municipal do Mindu.
Fonte: Autor, 2019

Lambert e Wagner (2016), afirmam que os nanoplásticos possuem impactos diferentes dos microplásticos, já que por seu tamanho menor podem penetrar no organismo e acumular-se em tecidos. No entanto, se presentes em grandes quantidades em águas superficiais, significa maior período de tempo presente no local.

Muitos estudos relatam o impacto biológico que os microplásticos ocasionam nos organismos. Relatos que datam os anos de 1969, com o estudo de Benyon e Kridler que evidenciaram o acúmulo de fragmentos de plásticos no conteúdo estomacal de aves marinhas, e em 1972 até estudos mais recentes.

Segundo Eerkes-Medrano et al (2015), apesar dos poucos estudos em sistemas de água doce, subte-se que os impactos físicos sejam semelhantes aos dos estudos marinhos, com impactos advindos da ingestão que causam asfixia, ferimentos, úlceras, impedimento da capacidade de alimentação, debilitação até a morte.

Dessa forma, é necessário que esses poluentes sejam impedidos de se agregarem no meio ambiente, seja aquático (doce e marinho) ou terrestre.

5.1.4 Parque Municipal Ponte dos Bilhares

O Parque Municipal Ponte dos Bilhares foi inaugurado em 24 de outubro de 2006 pela prefeitura de Manaus. O parque tem o objetivo de oferecer lazer à população, preservando o meio ambiente. Este espaço público possui quadras poliesportivas, biblioteca, pista de skate, playgrounds, anfiteatros, praça da fogueira e local com venda de comidas para apreciação da gastronomia local (SEMMAS, 2018).

O parque está localizado próximo às avenidas Constantino Nery e Djalma Batista, em frente ao Millenium Shopping e outros pontos comerciais. O trecho do igarapé do Mindu nesta localidade recebe despejos de efluentes e resíduos sólidos, possui forte odor e resíduos em suspensão (Figura 16).



Figura 16: Trecho do igarapé do Mindu no Parque Municipal Ponte dos Bilhares na cheia.

Fonte: Autor, 2019

Os trabalhos de Souza-Filho et al (2019), Silva et al (2018) e Filho e Walker (2001) analisaram medições de pH, OD, Turbidez e temperatura e concluíram que existe interferência antrópica sobre o igarapé, que conseqüentemente alteram as características naturais como cor e odor e impactam a fauna do igarapé.

Outro ponto preocupante deste local é a presença constante de pessoas no lugar por se tratar de um dos principais locais de recreação da cidade de Manaus, além do acesso para caminhada e prática de esportes, contudo, a interação das pessoas com ambientes poluídos trazem consequências para o sistema respiratório e corpo.

Exclusivamente neste trecho do igarapé, quando o nível da água está alto é possível presenciar a emissão de gases com forte odor advindo da água. Devido à proximidade do igarapé com vias de circulação das pessoas, esta característica torna este ambiente hostil à presença humana.

5.1.5 Avenida Álvaro Maia

O trecho da Avenida Álvaro Maia apresentou características oscilatórias quanto à profundidade e a mata ciliar. No período de cheia do igarapé do Mindu, este trecho alcança 7,99 m de profundidade com grande retenção de resíduos sólidos nas margens (Figura 17).



Figura 17: Margem direita do igarapé do Mindu na avenida Álvaro Maia (cheia).
Fonte: Autor, 2019

A coloração da água do igarapé nos pontos P6 e P7 são as mais escuras em relação aos demais pontos, esta característica é devido à mistura com as águas do rio Negro. Também

existem habitações próximas às margens com descarga direta de efluentes de diferentes naturezas (Figura 18).



Figura 18: Habitações próximas ao trecho da avenida Álvaro Maia.
Fonte: Autor, 2019

No período de seca do igarapé é possível visualizar grande quantidade de resíduos sólidos, com predominância plástica, que ficaram compactados e retidos no solo às margens do igarapé. O solo apresentava-se bastante úmido, pouco firme e com aspecto craqueado.

5.1.6 Avenida Brasil

Neste trecho do igarapé do Mindu, situado nas mediações da Avenida Brasil, a principal influência é a união com o igarapé do Franco, que contribui com resíduos sólidos advindos de outros locais da cidade. Existe ainda a presença de vegetação entre os dois igarapés, contudo, o nível da água atinge 7,10 m no período de cheia, permitindo a retenção de resíduos sólidos nesta localidade (Figura 19).



Figura 19: Vegetação entre o igarapé do Franco (esquerda) e o igarapé do Mindu (direita) no trecho da Avenida Brasil.

Fonte: Autor, 2019

5.2 Caracterização do ambiente aquático estudado

5.2.1 Profundidade

O rio Negro situa-se abaixo do nível topográfico de Manaus, o que o torna repositório dos resíduos sólidos que são drenados pelos igarapés da cidade (MACHADO, 2012). O igarapé do Mindu possui desníveis de topografia em sua extensão, o que faz sua profundidade oscilar significativamente.

A nascente ($3^{\circ} 0'35.33''S$; $59^{\circ}56'0.87''O$) situa-se dentro do Parque Nascentes do Mindu (curso alto), em uma área que possui altitude média de 72 m cima do nível o rio Negro. O curso médio fica nas proximidades do Parque Municipal do Mindu ($3^{\circ} 4'54.97''S$; $60^{\circ} 0'12.10''O$), área com altitude média 33m acima no nível do rio Negro. O curso inferior do igarapé situa-se na área do Parque Ponte dos Bilhares ($3^{\circ} 6'7.91''S$; $60^{\circ} 1'36.02''O$), com altitude média de 21m acima do nível do rio Negro.

A oscilação de relevo da cidade de Manaus nesse trajeto do igarapé do Mindu é em média de 50 metros. A declividade do relevo somada a largura do igarapé influencia diretamente na profundidade e vazão.

Os três primeiros pontos de coleta apresentaram profundidade inferior a 0,5 metro, com a nascente mantendo-se constante (Gráfico 1). O ponto P2 apresentou aumento de

profundidade com comportamento diferente ao regime hidrológico. A menor profundidade foi medida no mês de junho (enchente) e a maior no mês de novembro (seca).

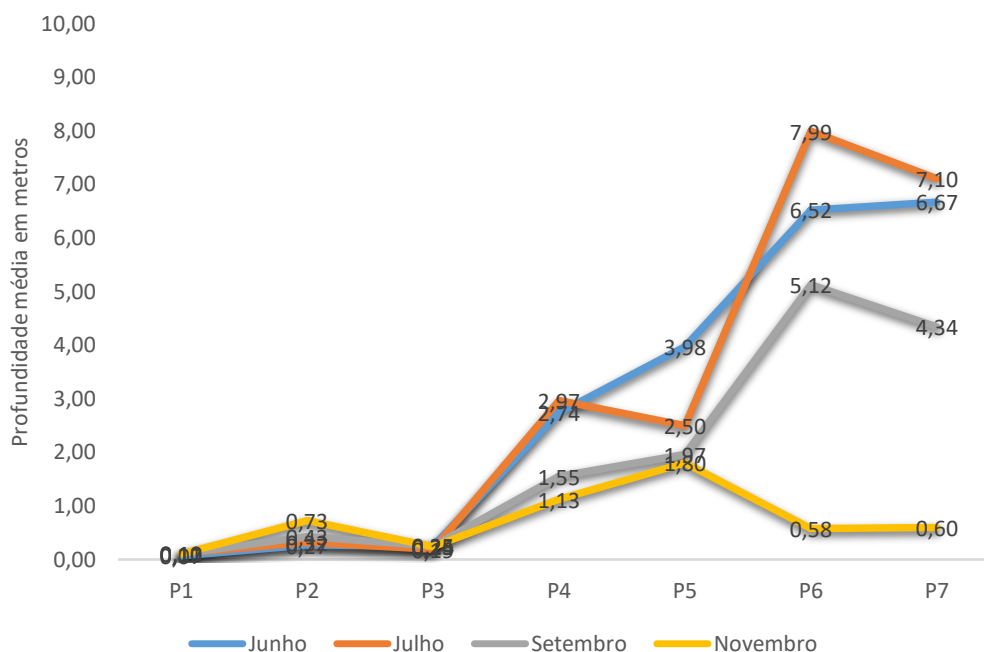


Gráfico 1: Profundidade média do igarapé do Mindu no período de coleta.
Fonte: Autor, 2020.

A característica de profundidade do ponto P2 pode ter sido influenciada pelas obras de intervenção viária do Projeto de Recuperação Ambiental, Requalificação Social e Urbanística no igarapé do Mindu (Promindu), que utilizavam veículos pesados (tratores) para adentrar no canal do igarapé.

Como já pontuado por Rodrigues et al (2018), a atividade humana influencia a dinâmica do corpo hídrico, assim como as características e qualidade da água. Dessa forma, o leito sofre compactação devido ao peso das máquinas, o que aumenta a profundidade do curso d'água.

A variação de profundidade ocorre predominantemente a partir do ponto P4 (Parque Municipal do Mindu). A maior profundidade foi medida no ponto P6 (Avenida Álvaro Maia) no mês de julho (7,99 m), coincidente com a cheia do rio Negro, e a menor, no mesmo ponto, foi medida no mês de novembro (0,58 m), no período de seca.

Cabe ressaltar que no período de cheia do igarapé, a água cobre a vegetação ciliar e as margens, nos trechos que ainda possuem, carregando os resíduos sólidos que estavam aprisionados. No caso do Parque Ponte dos Bilhares, quando a água sobe, abrange o nível acima da área pavimentada na margem do igarapé e aprisiona resíduos de variados tamanhos (Figura 20a e Figura 20b).



Figura 20: a) Ponto P5 – Parque Ponte dos Bilhares no mês de Junho. b) P5 no mês de Novembro.

Fonte: Autor, 2019.

Para Horton et al (2017), a exposição e distribuição dos plásticos não são exclusivos de um único compartimento ambiental. Os plásticos podem ser transportados e compartilhados entre os compartimentos, por exemplo, da terra para o rio, e do rio para o mar. Dessa forma, deve-se considerar o ambiente em que o corpo hídrico está inserido e a hidrodinâmica local nos estudos relacionados à poluição plástica.

Quando o nível de água diminui, a água concentra-se integralmente no leito central do igarapé, o que permite que os rejeitos depositados no igarapé aprisionem-se nas margens e vegetação ciliar (Figura 21a e Figura 21b), para posteriormente serem retirados pela própria ação da água, reiniciando o ciclo de troca de resíduos entre os compartimentos (água e vegetação, água e solo).



Figura 21: a) Ponto P6 – Av. Álvaro Maia no mês de Junho. b) P6 no mês de Novembro.
Fonte: Autor, 2019.

5.2.2 Vazão

A dinâmica hidrológica local diminuiu significativamente a velocidade da água no período de enchente e cheia, da mesma forma, ocorre à presença de plantas aquáticas e retenção de resíduos sólidos flutuantes como garrafas, sacolas plásticas, carcaças de eletrodomésticos, entre outros.

A vazão e a largura do curso d'água também oscilaram durante os meses de coleta (Gráfico 2). Tendo o mesmo comportamento que a profundidade, a vazão passou a variar significativamente a partir do ponto P4.

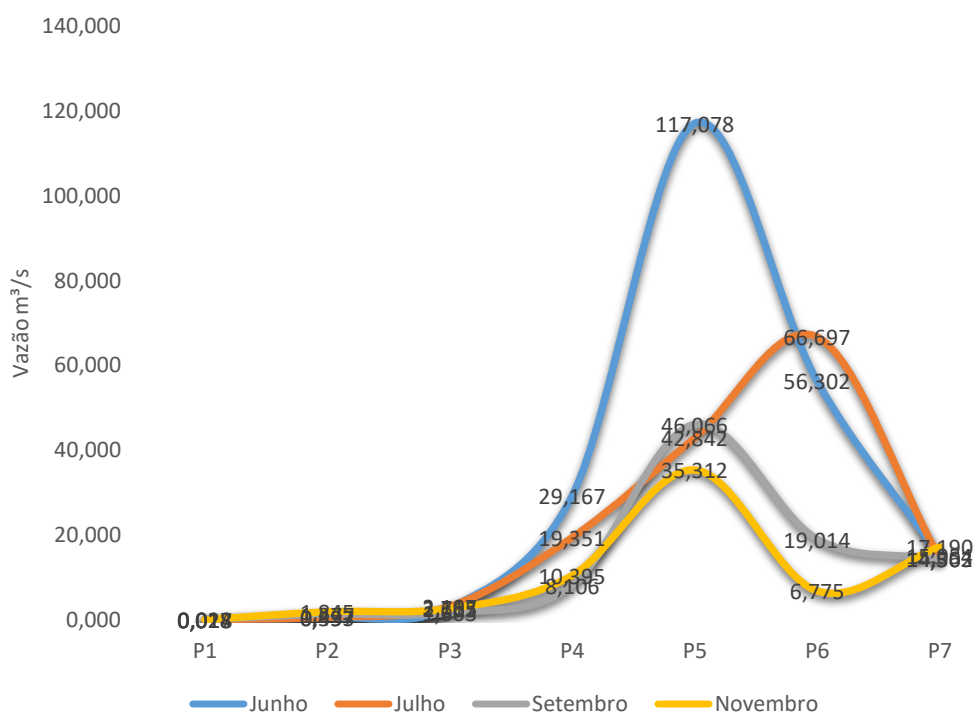


Gráfico 2: Vazão em m³/s do igarapé do Mindu no período de coleta.
Fonte: Autor, 2020.

A maior vazão com 117,07 m³/s foi medida no mês de junho (enchente) no ponto P5 (Parque Ponte dos bilhares). Neste ponto, a largura do curso d'água estava em 33 metros, com profundidade média de 3,98 metros. A menor vazão foi medida no ponto P6 no mês de novembro (seca), com 6,77 m³/s, com largura do trecho de água em 34,8 metros e profundidade média de 0,58 metros.

Do ponto P4 ao P6, o igarapé acompanhou a oscilação de profundidade, em que, no mês que o igarapé do Mindu estava mais profundo, a vazão apresentou-se maior devido à largura do trecho. Especificamente no ponto P7 não houve significativa variação de vazão, apesar da variação de profundidade ter alcançado 6,5 metros, entre o nível mais baixo e mais alto nesse trecho.

Cabe ressaltar que neste ponto no período de cheia, o igarapé do Mindu encontra-se integralmente ligado ao igarapé do Franco (Figura 22).

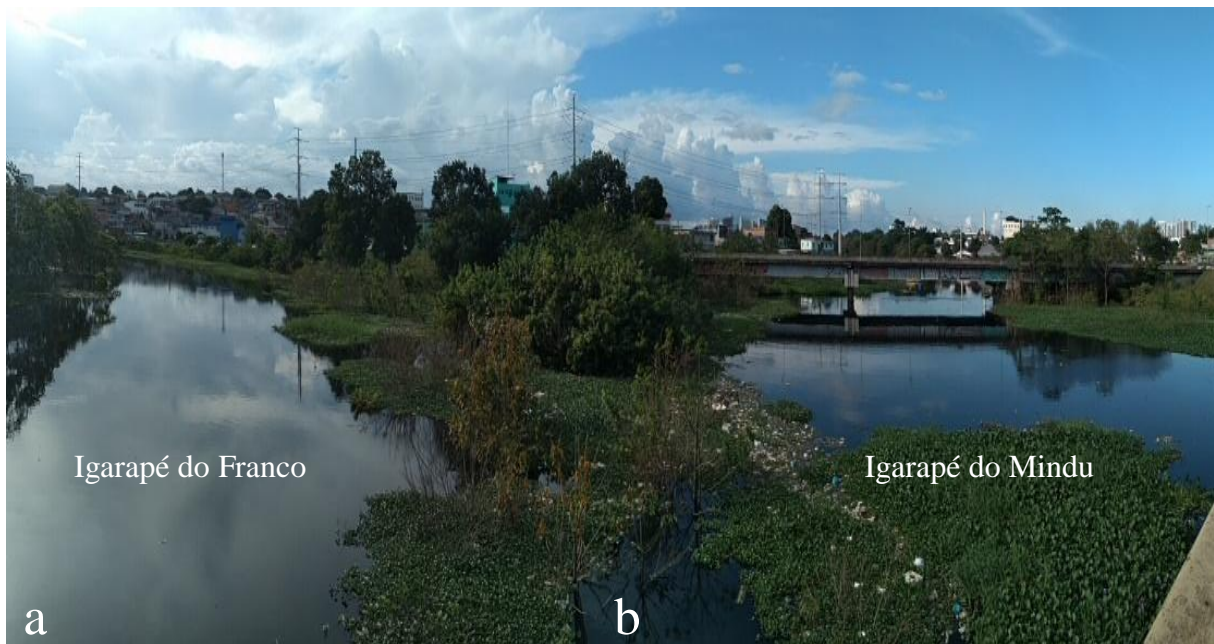


Figura 22: a) Ponto P7 com contribuição do igarapé do Franco– Av. Brasil no mês de Junho.
Fonte: Autor, 2019.

5.2.3 Temperatura

De acordo com Libânio (2010), a temperatura da água indica a magnitude de energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza a transferência de calor à massa líquida. Está ligada a velocidade das reações químicas, solubilidade de substâncias, concentração de OD, metabolismos dos organismos aquáticos, formação de subprodutos, crescimento microbológico, entre outros.

A insolação (radiação UV) altera de forma natural a temperatura de corpos hídricos, da mesma forma que influenciam na degradação de poluentes, em especial o plástico. De acordo com Free et al (2014), os plásticos podem manter sua integridade em lagos frios e de alta latitude, devido a redução da temperatura e cobertura do solo e ambientes com gelo, dessa forma a exposição a radiação UV é reduzida. Claramente a temperatura atua como catalisadora no processo de oxidação chamada de termooxidação (JULIENNE et al, 2019).

O igarapé do Mindu apresentou pouca variação de temperatura no período em que as coletas foram realizadas (junho, julho, setembro e novembro). As medições apresentaram valores de 24°C à 29,7°C (Gráfico 3), variação semelhante ao mensurado no trabalho de Filho (2018), que obteve temperaturas entre 26,86°C à 29,65°C. A pouca variação de temperatura se deve em parte pela estação quente da cidade de Manaus, que abrange os meses de maio a novembro.

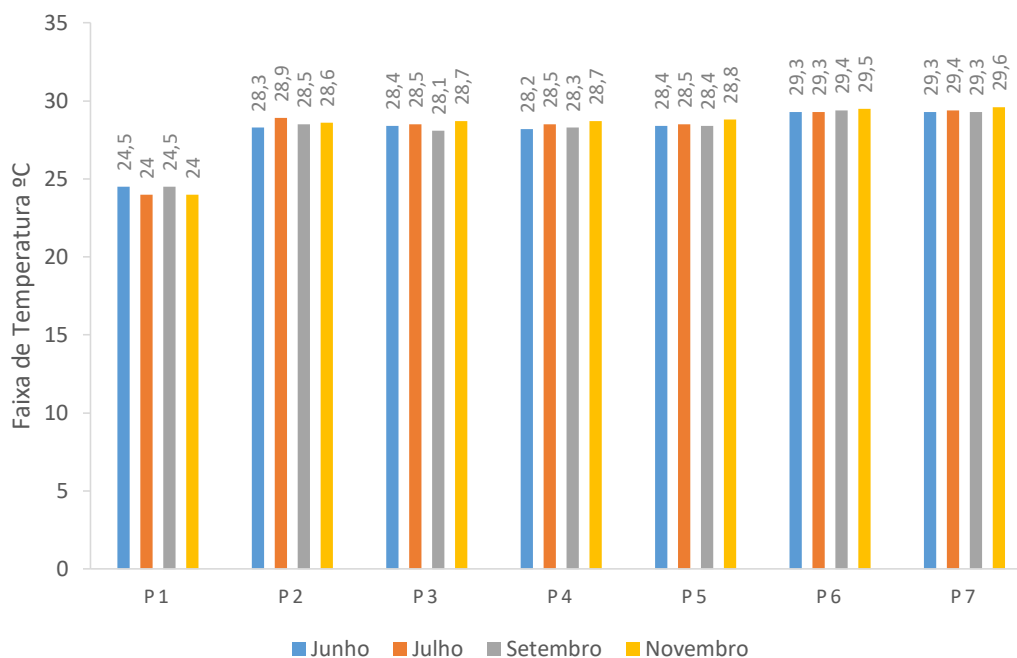


Gráfico 3: Temperaturas da água do igarapé do Mindu no período de coleta.
Fonte: Autor, 2020.

A nascente apresentou as menores temperaturas durante o período de coleta, ficando entre 24°C a 24,5°C. Nos demais pontos (P2 a P7), a variação foi de 28,2° a 29,7°C. As maiores temperaturas (acima de 28,6°C) foram medidas no período de seca (novembro).

Apesar da estação seca da cidade, as menores temperaturas da água do igarapé do Mindu foram medidas no período de enchente (junho). Tal característica se deve a quantidade de sólidos em suspensão e algas mais predominantes quando o nível da água está alto. Apresenta também maior quantidade de matéria orgânica visível, o que também influencia na penetração da insolação.

As maiores temperaturas no período de coleta foram dos pontos P6 e P7. Essa característica pode ser atribuída à largura do igarapé nesses trechos, que apresentam 111 e 112 metros de largura, no período de cheia, e no período de seca, 34 e 39 metros de largura, respectivamente. A exposição a raios UV é maior em pequenos sistemas aquáticos rasos, como lagos e rios, do que em grandes lagos ou no mar (HORTON et al, 2017).

A área próxima aos pontos P6 e P7 não apresenta vegetação arbórea, apenas arbustiva e rasteira, tornando grande a área que recebe insolação. Por outro lado, a vegetação arbórea densa, arbustiva e rasteira do Parque Nascentes do Mindu mantém a água da nascente à sombra, o que contribui para a redução da temperatura da água.

5.2.4 Condutividade elétrica

Outro fator ligado diretamente à temperatura é a condutividade elétrica (SOUZA-FILHO et al, 2019). A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions.

As águas naturais tendem a apresentar valores de condutividade elétrica inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já em corpos hídricos com elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais esse valor pode chegar até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, constituindo-se um importante indicador de eventual descarga de efluentes (LIBÂNIO, 2010). Para Viana (2018), a condutividade acima de 60 $\mu\text{S}/\text{mL}^{-1}$ é característico de ambientes que recebe ação antrópica elevada.

As medições do igarapé do Mindu quanto à condutividade elétrica foram realizadas segundo os perfis de água. Em comparação a todos os pontos de coleta, o ponto P2, no bairro Águas Claras, apresentou os maiores valores de condutividade durante o período de coleta nos dois perfis de água, superficial e profundidade.

Para o perfil superficial (Gráfico 4), o ponto P2 apresentou o maior valor de condutividade elétrica, 440 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, no mês de setembro (vazante), e o ponto P7 apresentou o menor valor, 158 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, no mês de julho (cheia).

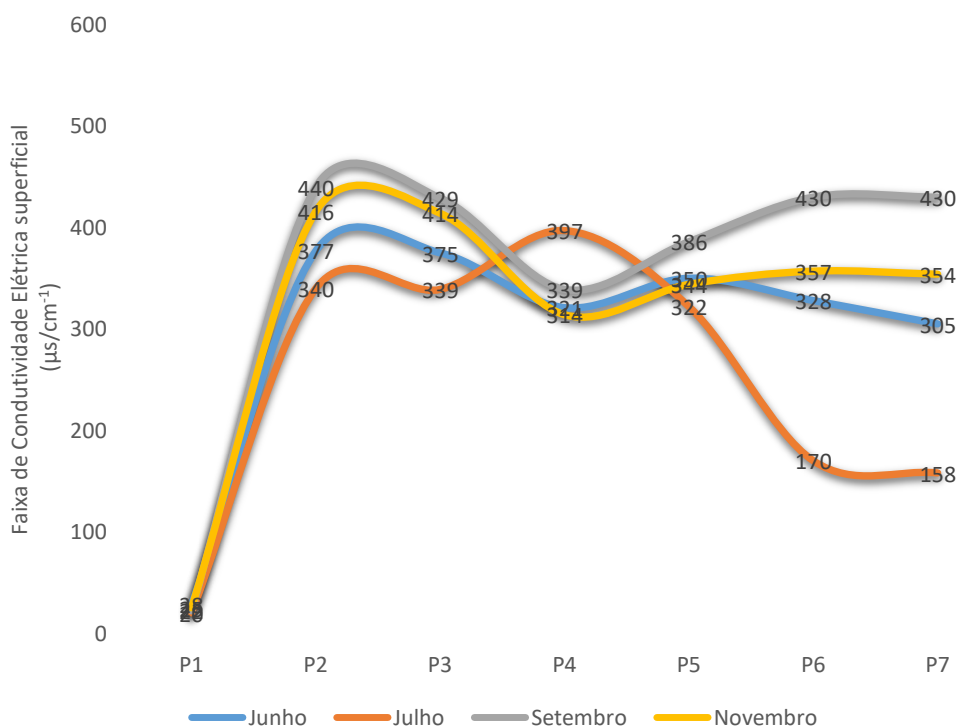


Gráfico 4: Condutividade Elétrica Superficial no período de coleta.
Fonte: Autor, 2020.

A nascente apresentou valores entre 20 - 28 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$, que corrobora com a proporcionalidade entre temperatura baixa e condutividade elétrica baixa, já que entre todos os pontos, a nascente apresentou os menores valores para ambos.

No entanto, apesar dos pontos P6 e P7 apresentarem as maiores temperaturas durante o período de coleta, para a condutividade elétrica, ambos apresentaram grande oscilação, tendo os menores valores de condutividade medidos em julho (cheia) e os maiores valores em setembro (vazante).

Para o perfil profundidade (Gráfico 5), os maiores e menores valores de condutividade elétrica corroboraram com a medição em superficial, apresentando-se em setembro e julho, nos pontos P2 com 450 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ e P6 com 158 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$, respectivamente.

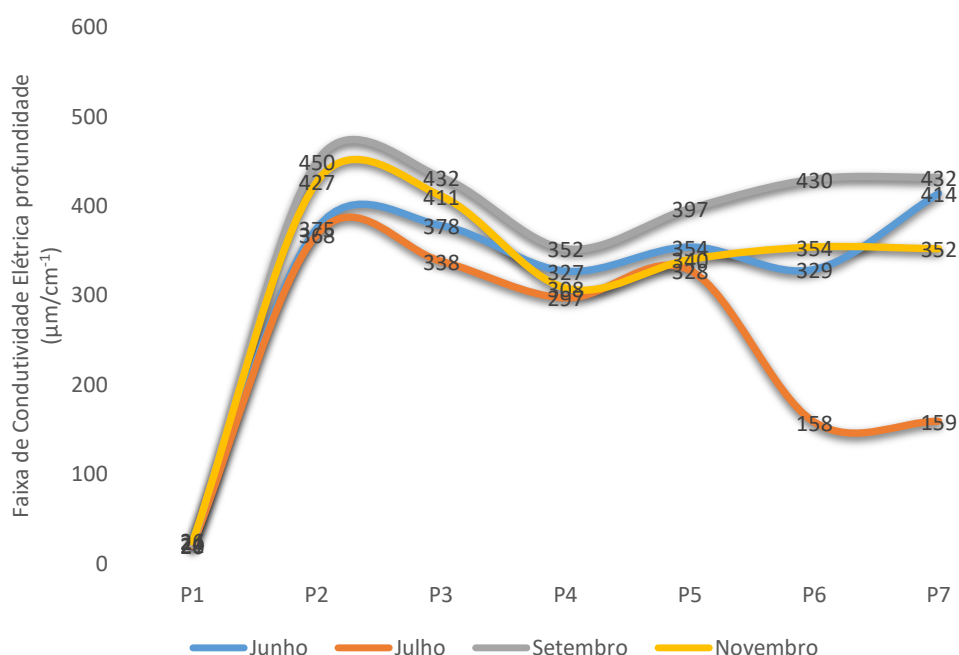


Gráfico 5: Condutividade Elétrica Profundidade no período de coleta.

Fonte: Autor, 2020.

Os valores altos de condutividade elétrica (> 100 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$), com exceção da nascente, confirmam a influencia negativa da poluição antrópica, que eleva a quantidade de sólidos no ambiente aquático e como consequência altera a capacidade de condutividade elétrica natural das águas. De acordo com dados contidos no trabalho de Machado (2012), o valor para esse parâmetro no Parque Municipal do Mindu no ano de 2005 era de 180 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ subindo para valores entre 297 a 397 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ no ano de 2019 de acordo com a medição realizada nesta pesquisa.

O crescimento nos valores deste parâmetro corrobora com a crescente poluição das águas dos igarapés da cidade de Manaus. A relação da condutividade elétrica com a poluição microplástica é salientada pela presença dos sólidos nas águas que condicionam e influenciam a heteroagregação e a dispersão na coluna de água.

5.2.5 Potencial Hidrogeniônico - pH

O pH consiste na concentração de íons H^+ nas águas. Em águas naturais a $25^{\circ}C$, os valores de pH inferiores a 7 indicam acidez e superiores indicam alcalinidade. A temperatura pode influenciar a faixa de pH, uma vez que influencia o ponto de neutralidade da água natural, elevando-o em temperaturas mais altas e reduzindo-o em temperaturas mais baixas.

As águas naturais de Manaus possuem pH entre 5 e 3,8, o que caracteriza as águas como ácidas, valores acima desta faixa resulta de modificações antrópicas (MELO, SILVA E MIRANDA, 2005; MACHADO, 2012). Na nascente, a faixa de pH manteve-se entre 6,7 – 7,1. Para os demais pontos de coleta as medições ficaram entre 6,3 – 7,8 (Gráfico 6).

A faixa de pH medida na nascente do igarapé do Mindu demonstra alteração para águas naturais. No trabalho de Pinto et al (2009), os valores de pH para igarapés naturais de reservas estão na faixa entre 4,1 – 4,4 e para rios de água preta estão entre 4,4 – 4,5. A presença de ácidos húmicos e fúlvicos advindos de sedimento aluviais e matéria vegetal sedimentada no leito caracteriza a acidez e coloração das águas. Contudo, com influencia antrópica leva a alcalinização da faixa de pH.

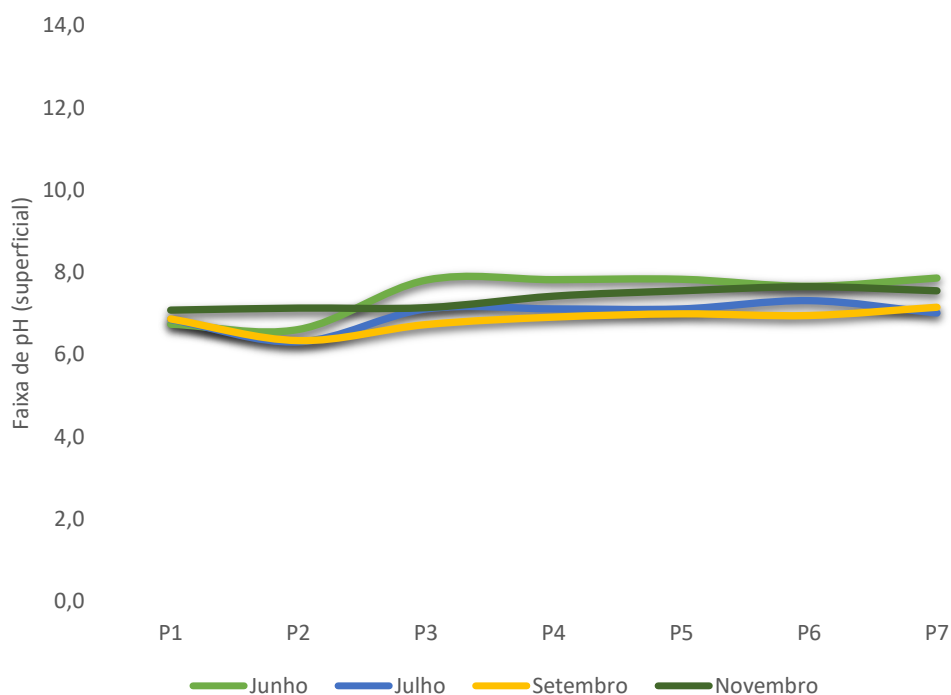


Gráfico 6: Faixa de pH no período de coleta.
Fonte: Autor, 2020.

Segundo Davranche et al (2019), os microplásticos são capazes de adsorver chumbo, o que é fortemente dependente da faixa de pH, apresentando maior potencial nas faixas acima de 4, devido a desprotonação dos locais carboxílicos. Os autores salientam ainda que os nanoplásticos são importantes vetores de chumbo e provavelmente de outros metais, sendo os ácidos húmicos um forte adsorvente de metais. Contudo, existe a falta de informações quanto à eficiência de microplásticos sobre o carregamento de grandes quantidades de metais. Dessa forma, ambientes de água doce com contaminação de metais e pH acima de 6, como é o igarapé do Mindu (VIANA, 2018), propiciam heteroagregados entre os metais e partículas plásticas.

5.3 Caracterização qualitativa das amostras micro e nanoplástica por Espectroscopia de Infravermelho – FTIR

O método de FTIR teve efeito satisfatório no trabalho de Castro et al (2016), na análise de microplásticos em amostras de água para Avaliação de microplásticos na Enseada de Jurujuba em uma área de cultivo de mexilhões, em Niterói-RJ. Olivatto (2017) também aplicou este método na identificação dos microplásticos isolados de águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro.

Li et al (2018), em seu trabalho sobre microplásticos em sistemas de água doce: uma revisão sobre a ocorrência, efeitos ambientais e métodos para detecção de microplásticos, apresenta comparações de técnicas analíticas, fornecendo as vantagens e limitações, e destaca a eficácia na técnica de FTIR na identificação polimérica.

Nesta pesquisa, os espectros de transmitância das amostras de micro e nanoplásticos foram obtidos por meio da análise das pastilhas resultantes da homogeneização dos microplásticos isolados durante o período de coleta. O gráfico 7a apresenta o espectro de transmitância para a amostra de microplástico e o gráfico 7b para amostra de nanoplástico, cujos picos principais apresentam grupos funcionais de substâncias com predominância nos materiais analisados.

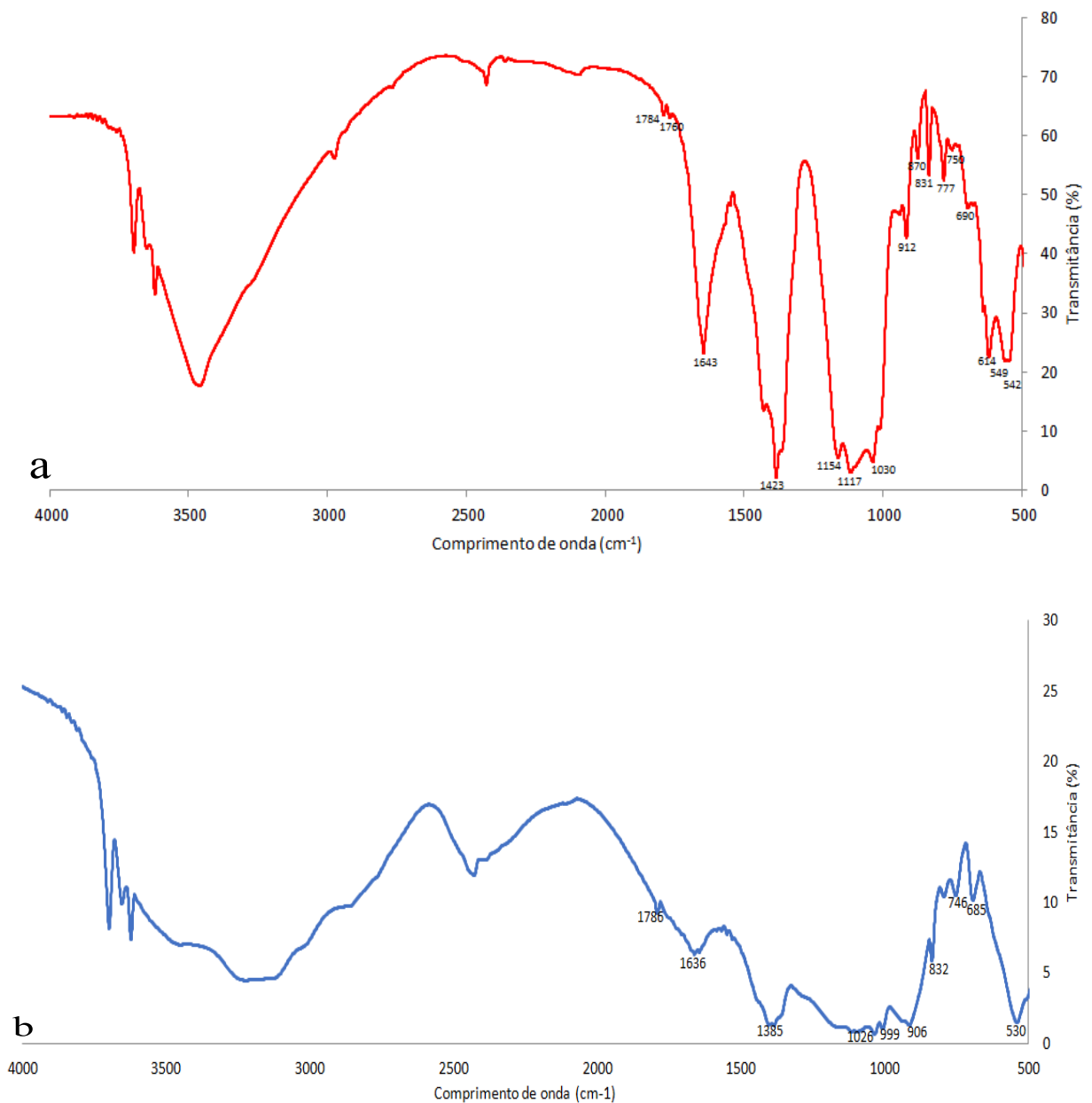


Gráfico 7: Espectro de transmitância: a) amostra de microplástico, b) amostra de nanoplástico.

Fonte: Laudo FTIR – StarHub Empresa Júnior.

Os espectros de transmitância das amostras foram comparados com os espectros e comprimentos de onda de microplásticos identificados nos trabalhos de Castro et al (2016), Anthony e Andrade (2017), Rodrigues et al (2018) e Jung et al (2018). Contudo, as amostras apresentaram menos de quatro bandas de absorção de similaridade em comparação com espectros de polímeros PET, PP, HDPE, PS, PVC, PS, LPDE, EVA, PC, PU e NYLON. A

caracterização das amostras de micro e nanoplásticos sendo exclusivamente um tipo de polímero plástico não foram possíveis, ou seja, as amostras apresentam heterogeneidade em sua composição.

Uma grande parte dos microplásticos isolados no trabalho Castro et al (2016) na enseada de Jurujuba no Rio de Janeiro, também apresentaram espectros de absorção que não puderam ser comparados à espectros do polietileno virgem e polipropileno. De acordo com os autores, essas alterações podem ser decorrentes de mudanças no processo de fabricação do polímero, uso de aditivos, processo de envelhecimento, incrustações biológicas, mudanças na composição química e adsorção a poluentes orgânicos persistentes (POPs).

Ainda segundo os autores, a cor dos microplásticos está diretamente relacionada à adsorção de contaminantes e concentração de POPs, que permanecem no ambiente por resistirem à degradação química, fotolítica e biológica. As amostras de micro e nanoplásticos do igarapé do Mindu apresentaram coloração amarelada ao final das etapas de isolamento.

De acordo com Anthony e Andrade (2017), a espectroscopia de FTIR de plásticos intemperizados em estágios iniciais, geralmente mostram porções oxidadas como aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, hidroperóxidos e grupos de álcool no plástico. Os grupos funcionais identificados nas amostras são apresentados na tabela abaixo (Tabela 7).

Tabela 6: Grupos funcionais identificados nas amostras de micro e nanoplásticos

Microplásticos		Nanoplásticos	
Espectro (cm ⁻¹)	Função associada	Espectro (cm ⁻¹)	Função associada
541, 693, 753, 794, 835, 914, 931, 1007, 1035, 1097, 1116, 1159, 1384	Haleto de alquila	544, 559, 617, 637, 692, 780, 820, 834, 915, 939, 1010, 1036, 1116, 1159, 1364, 1383	Haleto de alquila
1035, 1097, 1116, 1159	Alquil-amina	1036, 1036, 1159	Alquil-amina
1644, 1662	Aril-cetona	1644	Aril-cetona
1644, 1662	Amida terciária	1644	Amida terciária
1790	Haleto de acila	1789	Haleto de acila
2111	Alcino	2235	Alcino
2858, 3133, 3152, 3178	Ácido carboxílico	2766	Ácido carboxílico

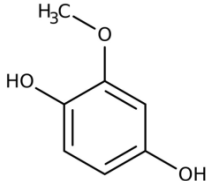
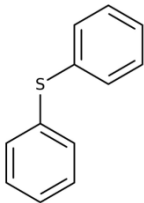
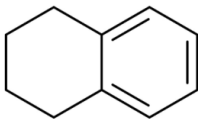
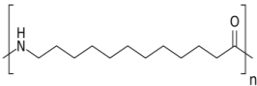
3133, 3152, 3178, 3219, 3439, 3452, 3622	Álcool	3462	Álcool
		1116	Alquil-Éter
		2766	Aldeído
		1758, 1765	Alquil-cetona
		2235	Nitrila

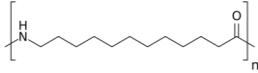
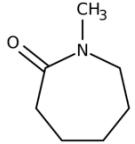
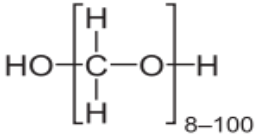
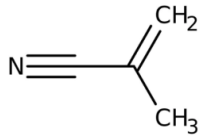
Fonte: Laudo FTIR – StarHub Empresa Júnior

Os grupos funcionais possuem variadas funções quando aplicados em compostos que originam diversos produtos, incluindo materiais plásticos. O alcino por exemplo é um hidrocarboneto, que é usado em grande escala na fabricação de borrachas sintéticas, borrachas, plásticos e fios têxteis. O haleto de acila, que é um composto derivado do ácido carboxílico e pode ser utilizado na fabricação de fibras têxteis, de resinas e plastificantes, e na síntese de fenolftaleína, entre outros.

Para mensurar quais compostos estão relacionados aos principais espectros de onda e aos grupos funcionais identificados na análise de FTIR foi realizada a consulta dos espectros da amostra de microplástico do igarapé do Mindu com os espectros padrões de polímeros contidos na Biblioteca Hummel Polymer and Additives (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2007). A consulta retornou oito nomes de compostos apresentados na tabela a seguir (Tabela 8), contudo, necessita-se de análise complementar para confirmar os traços das substâncias indicadas.

Tabela 7: Indicação de traços de assinaturas de monômeros, compostos orgânicos e outras substâncias contidas nas amostras de microplásticos do igarapé do Mindu.

Microplásticos					
Espectro (cm ⁻¹)	Nome do composto	Utilização	Fórmula molecular	Fórmula estrutural	Grupo funcional associado
1786	2-Metoxi-hidroquinona	Utilizado em herbicidas, antioxidante para borracha e corantes e em cremes de tratamento faciais	C ₇ H ₈ O ₃		Éter
1636	Sulfureto de difenil	Poluente químico	C ₁₂ H ₁₀ S		Alquil-amina
1385	1,2,3,4-Tetrahidronaftaleno	Derivados de corante, agente umectante e surfactante	C ₁₀ H ₁₂		Hidrocarboneto
1026	Vestamid L1724	Elastômero de poliamida	C ₁₂ H ₂₃ NO n		Amina Ácido carboxílico

999	Grilamid ELY 60	Um membro da família de resinas da poliamida 12, elastômero termoplástico da poliamida	$C_{12}H_{23}NO_n$		Amina Ácido carboxílico
906	Poli(5-metil caprolactama)	Monômero na produção de nylon-6	$C_7H_{13}NO$		Amida
832	Polioximetileno: oxietileno ileno	Adicionado na fusão da preparação de composto auto-lubrificante	$(CH_2O)_n$		Formaldeído (aldeído fórmico)
746	Poli(metacrilonitrila)	Produto químico industrial usado na produção de plásticos e fibras	C_4H_5N		Aldeído Cetona Nitrila

Fonte: Biblioteca Hummel Polymer and Additives, 2007; Fisher Scientific par of Thermo Fisher Scientific, 2020.

Em alguns locais com forte poluição, os detritos plásticos podem se fundir formando “partíglomerados” a partir da associação com rochas, materiais orgânicos e sedimentos, o que justifica a heterogeneidade de traços de substâncias presentes na amostra de microplástico que se fundiram com sedimentos e passou por processo de sorção de substâncias. Os microplásticos podem ainda participar do cotransporte químico. À medida que as partículas microplásticas diminuem de tamanho, aumenta o potencial de interações químicas na superfície e ligações a produtos químicos hidrofóbicos (HORTON et al, 2017).

Para a amostra de microplástico foram selecionados oito espectros principais que possuem indicação à substâncias utilizadas em diversos polímeros plásticos, como no caso de um derivado de hidroquinona. Foram identificados também alguns monômeros e elastômeros que fazem parte da cadeia de alguns polímeros da família do Nylon, amplamente utilizado comercialmente.

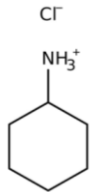
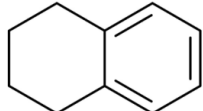
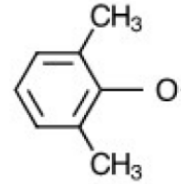
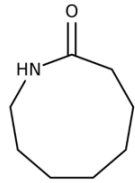
Materiais plásticos encontrados no ambiente também podem absorver poluentes químicos já presentes como éteres difenílicos polibromados (PBDEs) (COSTA et al, 2019). O quantitativo de 0,5% de polioximetileno e 0,5% de poliamida (compostos contidos na amostra de microplásticos do igarapé do Mindu) foram isolados a partir de 9×10 partículas / m³ de microplásticos do trabalho de Triebakon et al (2019).

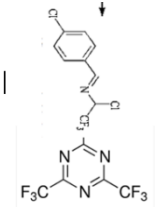
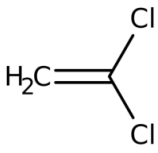
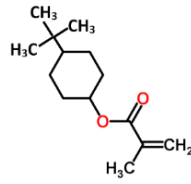
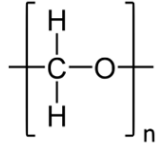
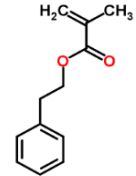
A Poliamida (PA6 e PA66) possui como características densidade de 1,12 a 1,15, cristalinidade 30-50% e boa resistência à radiação UV (ANTHONY e ANDRADY, 2017; LAMBERT e WAGNER, 2017). Reiterando que a lavagem de roupa pode liberar até 1900 fibras por peça, incluindo fibras poliéster e nylon, sendo este último, o nome genérico dado à família das poliamidas (HORTON et al, 2017).

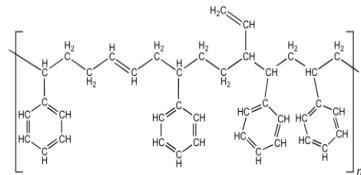
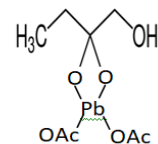
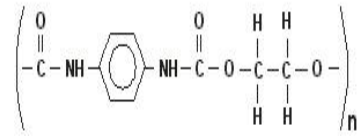
Outro membro da família de resinas Grilamid, também contida na amostra de microplástico, é a poliamida 12, um elastômero termoplástico, sendo flexível sem a adição de plastificantes e exibe excepcional resistência ao impacto, mesmo em baixas temperaturas.

Para a amostra de nanoplástico do igarapé do Mindu também houve a consulta dos espectros contidos na Biblioteca Hummel Polymer and Additives (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2007). A consulta retornou doze nomes de compostos apresentados na tabela a seguir (Tabela 9), contudo, também há necessidade de análise complementar para confirmar os traços das substâncias indicadas.

Tabela 8: Indicação de traços de assinaturas de monômeros, compostos orgânicos e outras substâncias contidas nas amostras de nanoplásticos do igarapé do Mindu.

Microplásticos					
Espectro (cm⁻¹)	Nome do composto	Utilização	Fórmula molecular	Fórmula estrutural	Grupo funcional associado
1760	Cloridrato Ciclohexilamina	Uso em borrachas químicas, inibidor, tinta, pigmento, inseticida e absorvente de oxigênio	C ₆ H ₁₄ ClN		Amina
1385	1,2,3,4 tetra-hidronaftaleno	Agente degradante, solvente, derivado parcialmente hidrogenado do naftaleno (superplástificante)	C ₁₀ H ₁₂		Hidrocarboneto
1117	Poli (2,6-dimetil-1,4- éter fenileno)	Poliéter saturado, importante plástico de engenharia (termoplástico)	CSH ₁₀ O		Amida
1030	Poliamida 8 Poli (octano-8-lactama)	Emoliente utilizado em bálsamos de limpeza, óleos, protetores solar	C ₈ H ₁₅ NO		Amida

912	Poli(perfluorooctametileno-6-trifluorometil-2,4-triazeno)	Elastômero incolor	C ₆ F ₉ N ₃		Ácidos carboxílicos Éter
831	Poli(metilmetacrilato:vinilideno cloreto)	Utilizado na fabricação de tubos plásticos e filmes	H ₂ C=CH-Cl		Alceno
777	Poli (4-t-butil ciclohexil metacrilato)	Derivado do polimetacrilato de metila, utilizados em adesivos sensíveis a pressão, compostos selantes	H ₂ C=CHCO ₂ C ₆ H ₁₀ (CH ₃) ₃		Cetona
750	Poli (oxidecametileno)	Material sintético termoplástico, utilizado em brinquedos, máquinas de lavar, escovas de dente, canetas de insulina, entre outros produtos.	CH ₂ On		Aldeído
690	Poli (2-fenil etil metacrilato)	Derivado de polimetacrilato de metila, utilizados em adesivos sensíveis a pressão, absorvente de UV utilizado em lentes, prismas e refletores	C ₁₂ H ₁₄ O ₂		Éster Ácido carboxílico

614	Poli (butadieno :: estireno)	Borracha de poli (estireno-butadieno) usada em pneus de carros e asfalto modificado	$C_6H_5CH=CH_2:(CH_2=CH)_2$		Amina
549	Poliol de formaldeído + Pb (OAc) ₄	Compostos que ajudam a formar o poliuretanos (PUs) – espumas flexíveis e elastômeros/ A oxidação de Pb (OAc) ₄ de <u>álcoois homoalíficos</u> à temperatura ambiente leva à formação de uma variedade de produtos de fragmentação	$C_6H_{14}O_3 + Pb(OAc)_4$		Éter
542	Poliuretano c / NCO resíduos	Presente em colchões, esponjas, solas de sapato, entre outros produtos/O grupo NCO (isocianatos) são muito voláteis e oferece risco a saúde	$NCO-R-N=C=O$		Éter Amina

Fonte: Biblioteca Hummel Polymer and Additives, 2007; Fisher Scientific par of Thermo Fisher Scientific, 2020.

Cabe ressaltar que a amostra de micro e nanoplástico não se trataram de partículas sólidas individuais, mas de pastilhas (homogeneização das amostras sólidas) elaboradas para a análise de FTIR, devido ao tamanho inferior a 0,3 mm e inferior a 2 μm . Portanto, a variedade de espectros advindos destas partículas nos informa sobre a complexidade e heterogeneidade contidas nas mesmas.

Na espectroscopia FTIR também podem ser acompanhadas a cisão da cadeia polimérica e eventos que acompanham a oxidação. Em caso de reticulação, geralmente ocorre à diminuição na insaturação do vinilideno (ANTHONY e ANDRADY, 2017).

Os autores salientam ainda que espumas de poliuretano são usadas em carros alegóricos, adesivos ou tintas epóxi. Compostos de poliéster insaturado reforçado (GRP) usados na fabricação de embarcações e pneus de borracha são exemplos de termofixos usados no ambiente marinho. Outra preocupação com os produtos advindo de poliuretano são o grupo NCO, que possuem variedade de isocianatos originando polímeros lineares e reticulados e permite ligações além das uretânicas, inclusive de extensores de cadeia.

Segundo Lambert e Wagner (2017), lixiviados de cloreto de polivinil (PVC), presente na amostra de nanoplástico do igarapé do Mindu, possuem toxicidade alta e mistura complexa de substâncias. Os lixiviados de diferentes materiais de PVC diferem na sua toxicidade e os lixiviados de embalagens de PVC aumentam após o intemperismo artificial. Portanto, o grau de toxicidade se torna uma importante preocupação ambiental, visto que possui potencial de impacto em graus distintos.

Segundo Mitrano et al (2019), diferentes monômeros usados na polimerização por radicais livres também são de interesse ambiental. Podem ser adicionados em diferentes materiais como borracha de poli (estireno-butadieno) usada em pneus de carros e asfalto modificado, cloreto de polivinil usado em cabos elétricos, construção ou vestuário e poli (estireno-acrilonitrila) comumente usado em utensílios de cozinha.

Os nanoplásticos se tornam uma grande preocupação global pela dificuldade de detecção, adsorção, acúmulo e transporte de aditivos químicos e liberação dos mesmos. A presença de coloides inorgânicos afeta a identidade ambiental de nanopartículas via heteroagregação. A presença de matéria orgânica natural da água pode ter um efeito estabilizador das nanopartículas, ou levar a redispersão dos agregados formados (ORIEKHOVA e STOOL, 2018).

Segundo Besseling et al (2017), a heteroagregação, a agregação de nano e microplásticos com sólidos suspensos, é altamente afetada pela eficiência de ligação entre partículas α_{het} , um parâmetro no entanto, é desconhecido para estes contaminantes.

Apesar de que mais de uma partícula de microplástico possa se ligar a um sólido suspenso em rios. O excesso de concentração de coloides naturais e sólidos no rio podem influenciar essas ligações de forma positiva ou negativa, ou seja, a eficiência de fixação no ambiente depende em parte das características dos sólidos suspensos.

Diferentes frações moleculares de matéria orgânica e inorgânica podem ser adsorvidas nas superfícies dos nanoplásticos modificando a carga superficial dos mesmos. A matéria orgânica carregada negativamente adsorve na superfície nanoplástica carregada positivamente e partículas como Ca^{2+} e Mg^{2+} atuam como ponte entre os nanoplásticos, favorecendo a heteroagregação. Em experimentos de adsorção com o poliestireno, ao aumentar a concentração deste polímero no meio ambiente, observa-se novamente a inversão de cargas na superfície (ORIEKHOVA e STOOL, 2018).

A mudança e inversão de cargas das nanopartículas dificultam a identificação de microplásticos, principalmente em tamanhos nanométricos. O cloreto de polivinil é geralmente mais tóxico do que o polietileno e o poliestireno, devido à toxicidade de seus aditivos e lixiviados (WINDSOR et al, 2019).

Porém, metais como cádmio (Cd) e chumbo (Pb) são adicionados como pigmentos coloridos e o chumbo (Pb) e zinco (Zn) como estabilizadores em plásticos. Os teores na composição polimérica podem ser de até 1% para Cd, 2% para Pb e 10% para Zn. No entanto, quando inseridos nos ambientes podem adsorver mais metais, o que também modificam as matrizes (TOWN et al, 2018).

Outros poluentes que podem ser facilmente adsorvidos nas superfícies de micro e nanoplásticos são substâncias bioacumuláveis e tóxicas, bifenilos policlorados (PBTs), éteres difenílicos polibromados (PBDEs), diclorodifeniltricloroetano (DDT), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e outro hidrocarbonetos de petróleo (RIBEIRO et al, 2019).

Porém, polímeros desgastados tem probabilidade maior de adsorver metais devido às modificações superficiais após longos períodos de intemperismo, contudo, micro e nanoplásticos possuem interações em escalas diferentes com metais (BELLINGERI et al, 2019).

Apesar de alguns grupos funcionais de polímeros apresentarem picos de assinaturas em amostras microplásticas, o tempo de exposição às condições químicas e físicas do ambiente não podem ser estimadas, e, conseqüentemente, a idade, também não podem ser estimada com segurança para detritos encontrados em ambientes naturais. No entanto, é possível prever taxas aproximadas para pelotas de resina virgem sobre condições controladas em laboratório (ANTHONY e ANDRADE, 2017).

Lambert e Wagner (2016), em seu trabalho sobre a caracterização de nanoplásticos durante a degradação do poliestireno (PS), utilizaram cortes de uma tampa de xícara de café sobre exposição de luz visível e ultravioleta em 30°C e exposição direta (24 horas), com coletas após 7, 14, 28 e 56 dias. Os resultados indicaram um aumento na formação de nanoplásticos após 14 dias e com 56 dias a amostra apresentou concentração de $1,26 \times 10^8$ partículas(nm)/mL em comparação com o controle, que apresentava $0,41 \times 10^8$ partículas/mL, comprovando que em condições controladas estimativas podem ser realizadas.

Devido os micro e nanoplásticos desta pesquisa ter sido isolado a partir de amostras de água coletados in loco do igarapé do Mindu, ou seja, em ambiente natural, não é possível prever a idade desses polímeros. O igarapé do Mindu tem suas águas poluídas desde a década de 70, mesma época que ocorreu o ápice da expansão urbana na cidade de Manaus, influenciada pela zona franca de Manaus (ZFM) (SILVA et al, 2018).

Sugere-se que os macroplásticos necessitem de longos períodos de intemperismo no ambiente para alcançar tamanhos nanométricos ($< 1\text{mm}$). No ambiente marinho é estimada em centenas de anos, porém, o monitoramento da fragmentação do plástico é quase impossível devido às perdas que estes fragmentos sofrem em diferentes ambientes (JULIENNE et al, 2019).

5.4 Quantitativo das concentrações micro e nanoplásticas

Em relação ao tamanho dos detritos plásticos, o grupo de especialistas sobre os aspectos científicos da proteção do meio marinho – GESAMP (2015) apresenta a classificação para detritos plásticos no tamanho de microplásticos como tendo de 0,1 cm (1000 μm) a 1 μm . Para detritos plásticos nanoplásticos a faixa de tamanho é inferior a 1 μm .

Anthony e Andrade (2017) apresentam as faixas de tamanhos considerados pelo subgrupo técnico do MSFD GES sobre lixo marinho, em que os microplásticos são definidos com tamanhos entre 0,5 cm (5000 μm) a 1 μm , e nanoplásticos com tamanho inferior a 1 μm , sendo esta faixa amplamente considerada por diversos autores (HORTON et al, 2017; RODRIGUES et al, 2018; SCHWAFERTS et al, 2019).

Após as etapas da metodologia para isolamento de microplásticos das águas do igarapé do Mindu, obteve-se os dados quantitativos referentes aos tamanhos: microplásticos (entre 0,3 mm e 2 μ) e nanoplástico (inferior a 2 μ).

Não houve isolamentos de microplásticos com tamanhos entre $< 5\text{ mm}$ a $< 0,3\text{ mm}$. Os materiais retidos no peneiramento vertical para este tamanho foram predominantemente

materiais de origem orgânica como folhas, galhos, raízes e artrópodes (Figura 23a e Figura 23b).

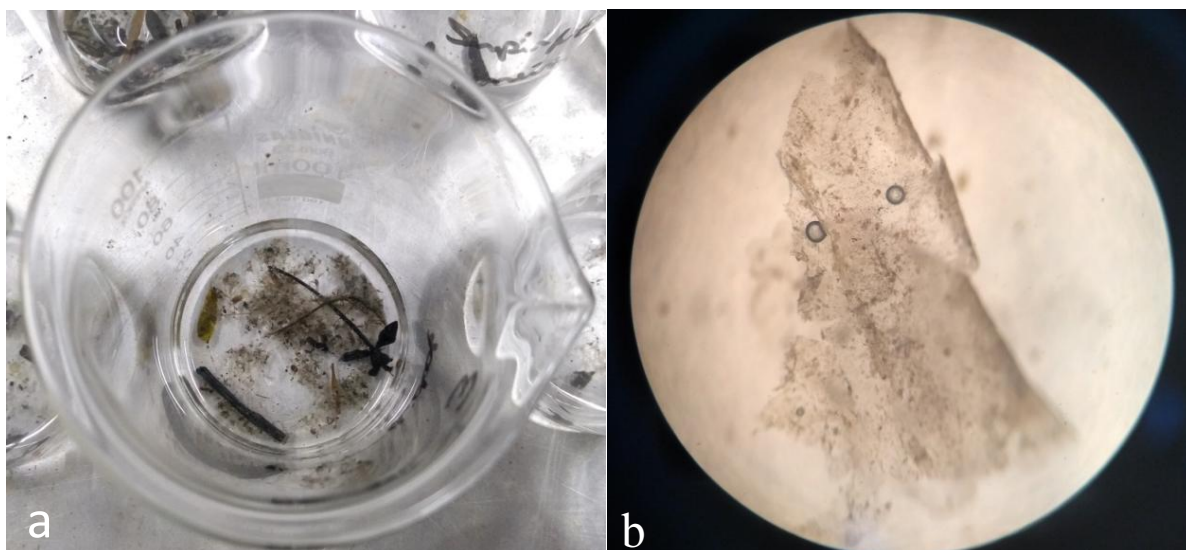


Figura 23: a) Amostra resultante do peneiramento da água do igarapé do Mindu. b) visualização do exoesqueleto de folha em microscópio após etapa de degradação da matéria orgânica.

Fonte: Autor, 2019.

O material retido passou pelo processo de degradação da matéria orgânica (MO), tendo como produto final películas de folhas, galhos e exoesqueletos, devido à descoloração por peróxido úmido. Houve a necessidade de repetição do processo de degradação da MO em todas as amostras na faixa entre < 5 mm a $< 0,3$ mm, por recomendações metodológicas, devido a elevada quantidade de matéria orgânica retida nestas superfícies.

Nesta pesquisa adotaram-se os quantitativos referentes ao isolamento de microplásticos na nascente do igarapé do Mindu como “branco ambiental”, já que para este local (P1) não houve detecção de poluição micro e nanoplástica em nenhuma etapa do período de coleta.

Posteriormente, os materiais sólidos foram observados com o auxílio do microscópio óptico no aumento de 40x, ficando evidenciado não se tratar de plástico primário ou secundário, portanto, extinguiu-se a necessidade de análise de espectroscopia de infravermelho (FTIR).

Os polímeros resultantes deste trabalho tratam-se de microplásticos na faixa de tamanho $> 0,3$ mm e $< 0,2\mu\text{m}$ e nanoplásticos $> 2 \mu\text{m}$.

Os dados quantitativos sobre as concentrações obtidas durante o período de coleta constam a seguir (Tabela 10).

Tabela 9: Concentrações de microplásticos e nanoplásticos por litro de água (g/L) nos perfis superficial (SUP.) e profundidade (PROF.)

PONTO	TIPO	ENCHENTE		CHEIA		VAZANTE		SECA	
		SUP.	PROF	SUP.	PROF	SUP.	PROF	SUP.	PROF
<i>Microplástico</i>									
P1	Microplástico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	Microplástico	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08
P3	Microplástico	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,12
P4	Microplástico	0,04	0,40	0,08	0,04	0,07	0,12	0,04	0,04
P5	Microplástico	0,04	0,04	0,12	0,14	0,05	0,08	0,08	0,04
P6	Microplástico	0,08	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,08
P7	Microplástico	0,08	0,08	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,08
	Mediana	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08
	Moda	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08
<i>Nanoplástico</i>									
P1	Nanoplástico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	Nanoplástico	0,40	0,10	0,60	0,50	0,40	0,60	0,20	0,40
P3	Nanoplástico	0,10	0,20	0,50	0,20	0,60	0,40	0,20	0,30
P4	Nanoplástico	0,10	0,30	0,20	0,40	0,50	0,60	0,10	0,10
P5	Nanoplástico	0,20	0,20	0,30	0,40	0,60	0,70	0,30	0,10
P6	Nanoplástico	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,10	0,10	0,20
P7	Nanoplástico	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,50	0,30	0,10
	Mediana	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,20	0,10
	Moda	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,60	0,10	0,10

Fonte: Autor, 2020.

Através dos valores das concentrações e do cálculo da mediana e moda para cada regime do tipo microplástico (micro e nanoplástico), dá-se que as concentrações para microplásticos apresentaram semelhança de valores durante os períodos de enchente, cheia e vazante, havendo variação no período de seca e perfil profundidade do igarapé do Mindu. Para os nanoplásticos, as concentrações aproximadas foram nos regimes de enchente, cheia e

seca, com predominância maior de concentração do regime de vazante, também com maior valor para o perfil profundidade.

Durante o período de coleta, dois valores se sobressaíram aos demais, para ambos os tamanhos, a maior concentração para microplástico foi de 0,40 g/L (valor em vermelho) quantificada no ponto P4 (Parque Municipal do Mindu), no perfil profundidade do regime de enchente do rio Negro. Neste regime compreendido no mês de junho, o ponto P4 apresentou condutividade elétrica de $327 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, profundidade de 2,74 m, vazão de 29,16 m³/s e valor de pH de 7,8, ambas as medições, apresentando os maior valores para todo o período de coleta neste ponto.

Como ressaltado anteriormente, a condutividade elétrica alta e a basicidade do pH constituem importantes parâmetros para águas contaminadas por efluentes, o que diretamente contribui para a presença de detritos plásticos.

Para os nanoplásticos, a maior concentração foi de 0,70 g/L (valor em vermelho), quantificada no ponto P5 (Parque Municipal Ponte dos Bilhares), no perfil profundidade do regime de vazante. A condutividade elétrica foi de $430 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, maior valor apresentado para este ponto durante o período de coleta. A medição de profundidade foi de 1,97 m, vazão de 42,84 m³/s e pH de 6,9.

Segundo Luo et al (2019), o transporte de microplástico em larga escala é irreversível, e em águas profundas, os sedimento podem se tornar um deposito permanente, já que os plásticos e microplásticos podem descer pela coluna de água diretamente para o leito do rio ou podem ser transportadas de cima para baixo em zonas de encontro com outros corpos d'água. A característica de profundidade é mais visível a partir do ponto P4 e ocorre simultaneamente com o contato das águas do igarapé com a vegetação ciliar, conforme a profundidade aumenta.

Ao final das etapas de isolamento, os microplásticos e nanoplásticos foram pesados em balança analítica, sendo previamente visualizados em microscópio óptico no aumento de 40x (Figura 24a e Figura 24b). Posteriormente foram armazenados em frascos do tipo eppendorf para seguir para a etapa de análise de FTIR.

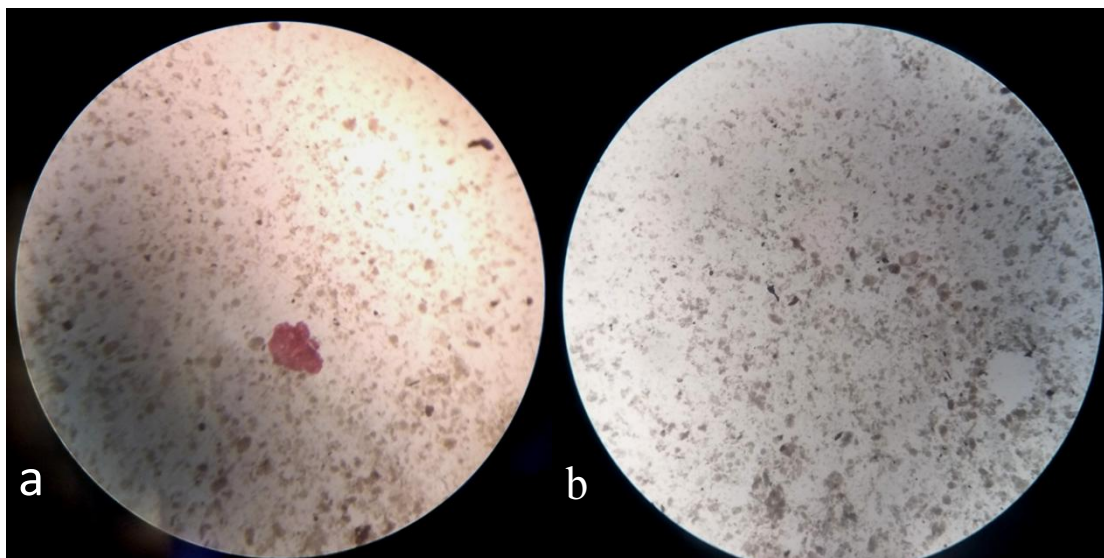


Figura 24: a) Visualização em microscópio de uma amostra de microplástico. b) Visualização em microscópio de amostra de nanoplástico.

Fonte: Autor, 2019.

Em todo o período de coleta, as concentrações de nanoplásticos apresentaram-se superiores as de microplásticos. O peso dos nanoplásticos pode constituir altos números de partículas, apesar de baixas massas por amostra (SCHWAFERTS et al, 2019). De acordo com Horton et al (2017), a abundância de partículas microplástica deve-se a urbanização circundante ao corpo hídrico, que possui aumento de deposição em períodos de chuva.

A abundância de microplásticos menores que 1 mm em experimentos realizados em diferentes estações chuvosas também foi observado nos trabalhos de Ivar do Sul (2014) e Castro et al (2016). As características do curso hídrico também influenciam na quantidade de microplásticos. Segundo Luo et al (2019), maiores concentrações de microplásticos são encontrados em sistemas pequenos de água doce do que em estuários e no ambiente marinho.

Entre os pontos P5 e P7, a variação da topografia é de 15 metros, enquanto que a variação da nascente (P1) até a foz do igarapé do Mindu (P7) possui diferença de 47 metros. Dessa forma, o regime hidrológico do rio Negro é mais ativo no trecho entre o ponto P5 até o ponto P7, onde ocorreram variações significativas nos níveis de profundidade do igarapé do Mindu.

Os meses em que a cidade de Manaus possui maior pluviosidade, a drenagem tende a ser maior em direção aos igarapés, o que faz com que o acúmulo de resíduos nesses corpos hídricos seja maior. Nos meses de junho e setembro houve episódios de chuvas torrenciais na cidade, o que influenciou no aumento quantitativo de microplásticos, que apresentou as

maiores concentrações por fase, nos regimes de enchente e vazante e para nanoplásticos no regime de vazante.

Este aumento de concentrações microplásticas após eventos de tempestades também foram observados no trabalho de Yonkos et al (2014) em rios estuarinos na Baía de Chesapeake nos Estados Unidos.

Anthony e Andrady (2017), afirmam que o lixo plástico é mais provável em locais de fabricação de produtos e em centros urbanos de alta densidade populacional, principalmente se estes se situam próximos a zonas costeiras ou a rios, tornando mais possível à alta incidência de lixo.

O igarapé do Mindu é fortemente antropizado às suas margens (Figura 25). Dos sete pontos de coleta, apenas 2 se situam em áreas verdes, o Parque Nascentes do Mindu (P1) e o Parque Municipal do Mindu (P4). Apesar disso, a maior quantidade de microplásticos foram isolados a partir do ponto P4 durante o período de coleta. Este local possui grande capacidade de retenção de poluentes devido à densa mata ciliar.

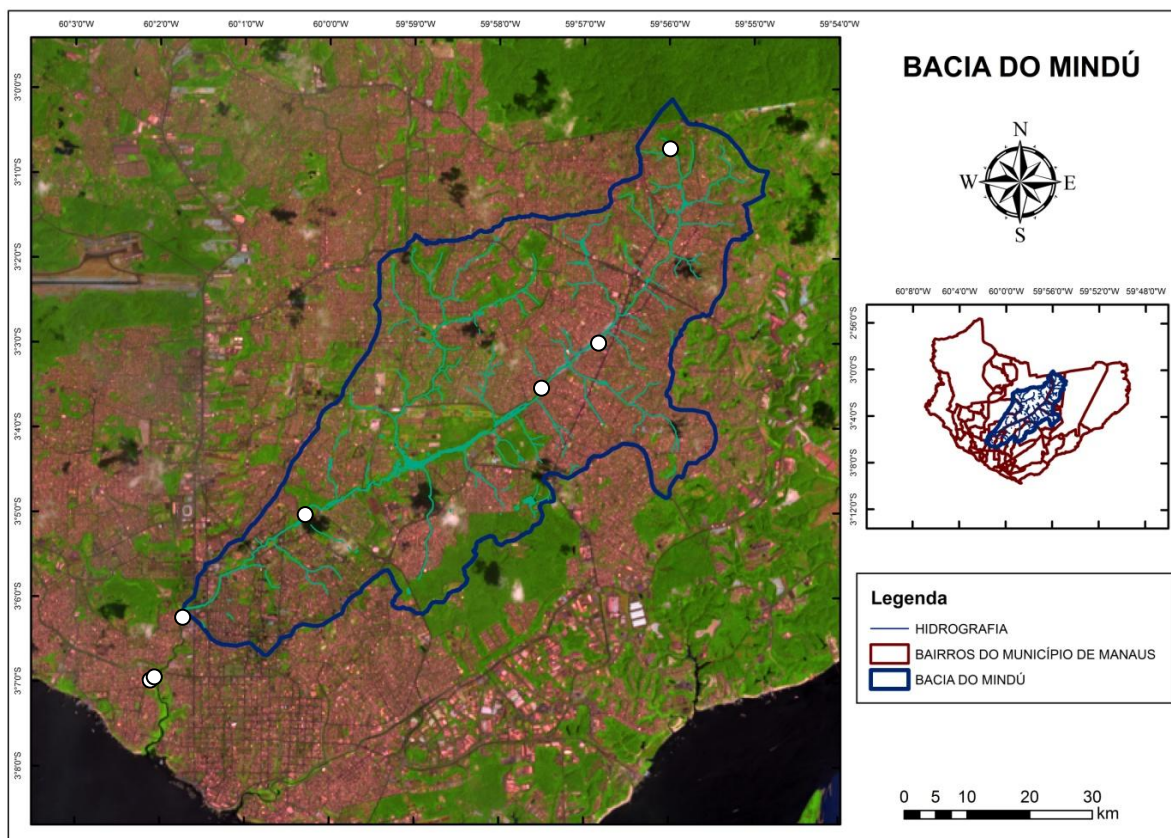


Figura 25: Mapa com imagem antropizada da cidade de Manaus com os pontos de coleta destacados. Imagem de setembro de 2019 do satélite Landsat 08.

Fonte: Autor, 2020

Luo et al (2019) salienta que a abundância de microplásticos são mais significativas próximas ao centro da cidade, devido a aglomeração de pessoas e construções. No caso do

igarapé do Mindu, a extensão do igarapé é densamente povoada, e as concentrações apresentadas nos pontos de coleta são semelhantes, apesar de está em diferentes zonas da cidade.

De acordo com Windsor et al (2019), os sistemas fluviais atuam como conectores entre os ecossistemas terrestres, de várzea e de transição de partículas entre os habitats de suas bacias hidrográficas. A retenção dos plásticos está associada às características das partículas (tamanho e densidade) e ambientais, como os sistemas de vazões, que no caso do igarapé do Mindu são mais evidenciados a partir do Parque Municipal do Mindu.

Em relação aos nanoplásticos, a maior quantidade foi coletada no ponto P2, no bairro Águas Claras. Este local estava tendo interferência antrópica devido a obras de reestruturação viária, ocasião em que houve aumento da movimentação da água, assoreamento, compactação e retirada de vegetação ciliar. De acordo com Luo et al (2019) locais com hidrovias tende a ter aumento na abundância microplástica.

Segundo Free et al (2014), os plásticos se degradam mais facilmente quando estão secos e expostos em terra do que na água. O ritmo de degradação pode ser altamente impulsionado por fatores ocorridos em terra do que em ambiente de água doce ou salgada. De acordo com Julienne et al (2019) os polímeros plásticos sobre a ação da radiação solar facilitam a entrada de partes oxigenadas que levam a modificação química e por fim a oxidação.

5.5 Relação das concentrações de micro e nanoplásticas sobre influência do regime hidrológico e perfis de água do igarapé do Mindu

Foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk, teste de homogeneidade de Levene e teste de esfericidade de Mauchly, utilizando o software IBM SPSS. Os resultados dos três testes apresentaram significância acima de 0,05 ($P > 0,05$).

Portanto os dados apresentam distribuição normal, homogênea e não existem diferenças significativas entre as variâncias das diferenças, sendo a esfericidade dos dados das amostras atendida.

Para análise da Anova mista com dois fatores e medidas repetidas, o período de coleta (tempo) foi interpretado como a variável intra-sujeito e os tipos de polímeros (microplásticos e nanoplásticos) foram interpretados como as variáveis entre-sujeitos, ambas analisadas nos dois perfis de água, superficial e profundidade.

A saída de dados retornou resultados univariados e multivariados. Para continuidade da análise da anova mista, é necessária a verificação da esfericidade dos dados através do teste de Mauchly's (Tabela 10).

Tabela 10: Teste de esfericidade de Mauchly's.

Efeito dentro do sujeito	Medida	Mauchly's W	GL	Valor-P.
Período de coleta	Superficial	0,716	5	0,714
	Profundidade	0,694	5	0,674

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

Para a esfericidade ser atendida o Valor-P deve estar acima de 0,05. Dessa forma, os dados contidos nas medidas superficiais e profundidade durante o período de coleta são esféricos. Esse resultado nos permite determinar a escolha do Valor-P no resultado do teste univariado (Tabela 11), sobre o efeito da interação entre o período de coleta e o tipo microplástico nos perfis de água do igarapé do Mindu.

Tabela 11: Valores do teste univariado do efeito entre a interação do período de coleta e o tipo microplástico nos perfis de água do igarapé do Mindu.

Variável	Medida	GL	F	Valor-P
Período_de_coleta*Tipo	Superficial	3	2,506	0,078
	Profundidade	3	3,141	0,040
Erro(Período_de_coleta)	Superficial	30	-	-
	Profundidade	30	-	-

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

O resultado retornou que a interação entre o período de coleta e o tipo microplástico não apresentou efeito significativo para o perfil superficial [$F(3,30)=2,506$; $p > 0,05$], ou seja, as concentrações neste perfil de água apresentam-se de forma similar, enquanto que para o perfil profundidade [$F(3,30)=3,141$; $p < 0,05$], houve efeito positivo desta interação, o que permite inferir que para este perfil de água ocorre maior variação com valores significativos.

Aplicando a comparação por pares de Sidak, de forma a comparar se as concentrações médias são similares ou distintas entre os grupos micro e nanoplásticos nos perfis de água do igarapé do Mindu, o resultado retornou que os microplásticos diferem das concentrações de nanoplásticos nos dois perfis de água apresentando com Valor-P $< 0,05$ (Tabela 12).

Tabela 12: Valores da comparação por pares entre os tipos microplásticos nos perfis de água.

Medida	(I) Classe do tamanho microplástico	(J) Classe do tamanho microplástico	Diferença média (I-J)	Erro	Valor-P
Superficial	Microplástico	Nanoplástico	-0,771*	0,078	0,000
	Nanoplástico	Microplástico	0,771*	0,078	0,000
Profundidade	Microplástico	Nanoplástico	-0,610*	0,072	0,000
	Nanoplástico	Microplástico	0,610*	0,072	0,000

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

Para reiterar a afirmativa acima os testes multiraviados também foram aplicados para verificar a aceitação ou rejeição da hipótese nula em que não há efeito do perfil de água sobre as concentrações do tamanho microplástico e da hipótese alternativa, de que existe efeito do perfil de água sobre as concentrações (Tabela 13).

Tabela 13: Valores dos testes multivariados para os tipos microplásticos nos perfis de água.

Efeito dentro do sujeito	Valor	F	Hipótese – GL	Erro - GL	Valor-P
Traço de Pillai	0,922	53,455	2,000	9,000	0,000
Lambda de Wilks	0,078	53,455	2,000	9,000	0,000
Traço de Hotelling	11,879	53,455	2,000	9,000	0,000
Maior raiz de Roy	11,879	53,455	2,000	9,000	0,000

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

Adotando o teste de Lambda de Wilks que possui Valor-P < 0,05, a hipótese nula é rejeitada e confirma-se a heterogeneidade das concentrações de micro e nanoplásticos nos dois perfis de água quando comparados em pares.

Para o período de coleta, a comparação por pares de Sidak nos permite inferir em quais etapas do regime hidrológico existem diferenças significativas nas concentrações de micro e nanoplásticos (Tabela 14).

Tabela 14: Valores da comparação por pares entre os tipos microplásticos nos período de coleta

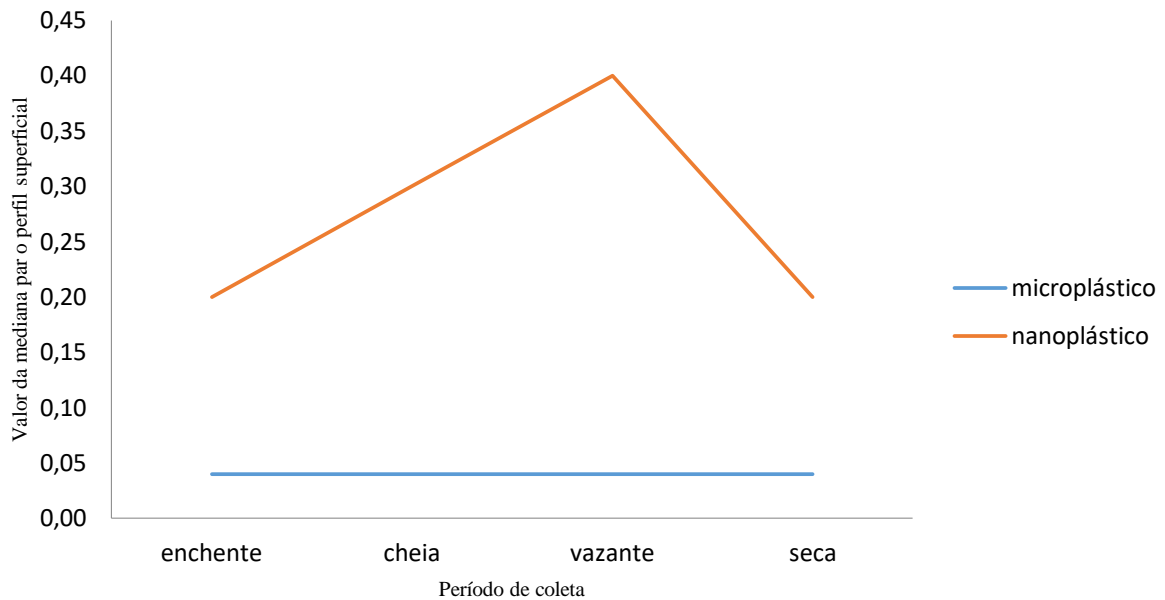
Medida	Período de coleta	(I) Classe de tamanho	(J) Classe de tamanho	Diferença média (I-J)	Erro	Valor-P
Superficial	Enchente	Microplástico	Nanoplástico	-0,707	0,128	0,000
		Nanoplástico	Microplástico	0,707	0,128	0,000
	Cheia	Microplástico	Nanoplástico	-0,824	0,176	0,001
		Nanoplástico	Microplástico	0,824	0,176	0,001
	Vazante	Microplástico	Nanoplástico	-0,997	0,080	0,000
		Nanoplástico	Microplástico	0,997	0,080	0,000
	Seca	Microplástico	Nanoplástico	-0,557	0,109	0,000
		Nanoplástico	Microplástico	0,557	0,109	0,000
Profundidade	Enchente	Microplástico	Nanoplástico	-0,440	0,174	0,030
		Nanoplástico	Microplástico	0,440	0,174	0,030
	Cheia	Microplástico	Nanoplástico	-0,834	0,172	0,001
		Nanoplástico	Microplástico	0,834	0,172	0,001
	Vazante	Microplástico	Nanoplástico	-0,885	0,154	0,000
		Nanoplástico	Microplástico	0,885	0,154	0,000
	Seca	Microplástico	Nanoplástico	-0,281	0,145	0,081
		Nanoplástico	Microplástico	0,281	0,145	0,081

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

Os valores de P abaixo da significância de 0,05 representam diferença significativa nas concentrações no período de coleta correspondente de cada linha. O perfil de coleta do perfil superficial apresentou diferenças significativas em todas as etapas do regime hidrológico com características intrínsecas de cada grupo microplástico, com predominância de valores altos para os nanoplásticos.

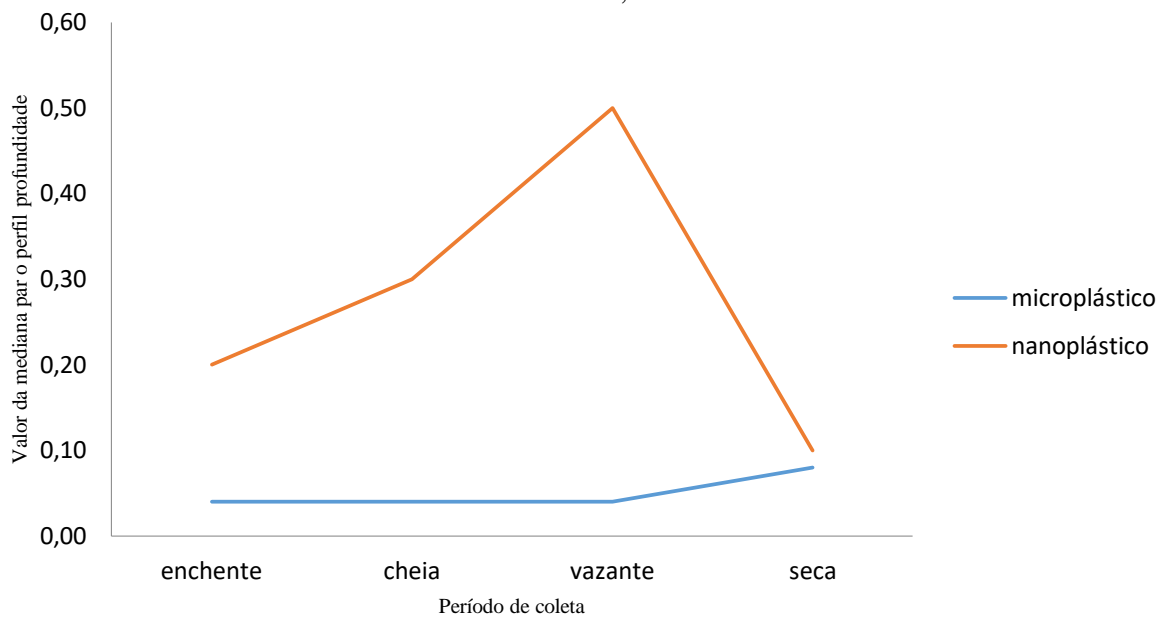
Para o perfil profundidade, os regimes hidrológicos de enchente, cheia e vazante apresentaram Valor-P também abaixo da significância de 0,05, o que permite afirmar a diferença nas concentrações de micro e nanoplásticos de cada etapa do regime hidrológico. Dos três regimes comparados, o regime de vazante apresentou significância maior que os demais para os dois tamanhos microplásticos. Para os microplásticos ocorreram as menores concentrações do período de coleta e para os nanoplásticos o inverso, as maiores concentrações aferidas no período de coleta.

No regime de seca do perfil profundidade, o Valor-P apresentou-se acima de 0,05, dessa forma, as concentrações nesta etapa não apresentaram maiores significâncias. Através do cálculo da mediana das concentrações por etapa do regime hidrológico (Gráfico 8), os resultados para o regime de seca no perfil profundidade apresentaram-se próximos (Gráfico 9), o que justifica a ausência de diferença significativa entre os dois tamanhos microplásticos, contudo, nesta etapa também foi observada a maior concentração durante o período de coleta para o tamanho microplástico e a menor para o tamanho nanoplástico.



Gráficos 8: cálculo da mediana das concentrações por etapa do regime hidrológico para o perfil superficial.

Fonte: Autor, 2020



Gráficos 9: cálculo da mediana das concentrações por etapa do regime hidrológico para o perfil profundidade.

Fonte: Autor, 2020

Para reiterar a afirmativa acima, os testes multiraviados também foram aplicados neste item para verificar a aceitação ou rejeição da hipótese nula em que não há efeito das etapas do regime hidrológico do período de coleta sobre as concentrações do tamanho microplástico e da hipótese alternativa, de que existe efeito das etapas do regime hidrológico do período de coleta sobre as concentrações (Tabela 15).

Tabela 15: Valores dos testes multivariados para as etapas do regime hidrológico sobre as concentrações de micro e nanoplásticos.

	Período_de_coleta	Valor	F	Hipótese - GL	Erro - GL	Valor-P
Enchente	Traço de Pillai	0,854	26,253	2,000	9,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,146	26,253	2,000	9,000	0,000
	Traço de Hotelling	5,834	26,253	2,000	9,000	0,000
	Maior raiz de Roy	5,834	26,253	2,000	9,000	0,000
Cheia	Traço de Pillai	0,736	12,514	2,000	9,000	0,003
	Lambda de Wilks	0,264	12,514	2,000	9,000	0,003
	Traço de Hotelling	2,781	12,514	2,000	9,000	0,003
	Maior raiz de Roy	2,781	12,514	2,000	9,000	0,003
Vazante	Traço de Pillai	0,940	70,960	2,000	9,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,060	70,960	2,000	9,000	0,000
	Traço de Hotelling	15,769	70,960	2,000	9,000	0,000
	Maior raiz de Roy	15,769	70,960	2,000	9,000	0,000
Seca	Traço de Pillai	0,802	18,276	2,000	9,000	0,001
	Lambda de Wilks	0,198	18,276	2,000	9,000	0,001
	Traço de Hotelling	4,061	18,276	2,000	9,000	0,001
	Maior raiz de Roy	4,061	18,276	2,000	9,000	0,001

Fonte: Autor (2020) com dados do SPSS.

Adotando o teste de Lambda de Wilks que possui Valor-P < 0,05 em todas as etapas do regime hidrológico, a hipótese nula é rejeitada e confirma-se o efeito das etapas do regime hidrológico sobre as concentrações de nano e microplásticos isolados da água do igarapé do Mindu.

O potencial de bioacumulação aumenta com a diminuição da partícula, podendo atingir altas densidades no meio (HORTON et al, 2017; RODRIGUES et al, 2018). Microplásticos menores (nanoplásticos) apresentam menor velocidade de subida, sendo mais

suscetíveis ao transporte vertical. Portanto, podem estar mais presentes em diferentes profundidades e no leito do corpo hídrico, devido em parte, a capacidade de formar homoagregados ou coagregados com fitoplânctons.

No mês de setembro, que compreendeu o regime de vazante do corpo hídrico, houve episódios de chuvas torrenciais na cidade de Manaus, contribuindo para o escoamento pluvial em direção ao igarapé e aumento do comportamento hidrodinâmico, que apresentou maior quantidade de nanoplásticos. Contudo, antes da vazante, as concentrações de nanoplásticos estavam aumentando com o nível de água do igarapé do Mindu.

O tamanho médio da partícula microplástica em águas superficiais, aumenta exponencialmente com a diminuição do tamanho da partícula, dessa forma, ambientes com grande quantidade de sólidos em suspensão e matéria orgânica contribuem para a formação de homoagregados. Segundo Luo et al (2019), o comportamento dos microplásticos é semelhante a dos sólidos em suspensão e outros materiais particulados, podendo ser acumulados pelos mesmos processos que estes sólidos existentes naturalmente na água.

O igarapé do Mindu segue com a água comprometida por poluição a partir da saída do Parque Nascentes do Mindu. As características físicas e químicas apresentadas para este igarapé durante o período de estudo, possuem forte influência antrópica tornando-o instável e contribuindo para a perda da capacidade de autodepuração. Conseqüentemente, a deposição de resíduos plásticos nos 22 quilômetros da extensão do igarapé contribui para o aumento da concentração de microplásticos e nanoplásticos neste corpo hídrico.

Julienne et al (2019) no trabalho intitulado “Dos macroplásticos aos microplásticos: papel da água na fragmentação do polietileno”, realizaram um estudo em laboratório acerca do intemperismo artificial a longo prazo nos filmes de polietileno (LPDE) para monitorar os estágios iniciais da fragmentação no ar e na água. Após 25 semanas ambas as situações fizeram os filmes apresentarem desgaste e forte modificação química. Os resultados apresentaram 90% de fragmentos do tamanho > 1 nm.

Como resultado da ação química, no ar, os índices carbonil e hidroxila apresentaram valores maiores do que na água levando a oxidação, que levaram a formação de segmentos livres de baixo peso molecular, reorganizando-se em uma fase cristalina (quimi-cristalização), tornando o polímero rígido. O aumento da rigidez reduz a formação de vazios e diminui a formação de trincas.

Na água, os filmes de LPDE apresentaram menor oxidação, devido flutuarem na superfície da água, apresentou temperatura menor do que no ar, diminuindo o grau de oxidação, como consequência, polímeros com baixa cristalinidade apresentam menor rigidez.

Esta característica é influenciada pela ação plastificante da água, que insere pequenas moléculas de água na cadeia do polímero.

O intemperismo sofrido na água pode aumentar a hidrofobicidade do polímero, fazendo com que a água atue como promotora de craqueamento, levando ao aumento das trincas e a formação de fissuras sem a necessidade de ação externa. No ar, somente a oxidação do polímero não é suficiente para levar a fragmentação do mesmo, necessitando de ação externa para ocasionar a fragmentação.

Através do trabalho de Julienne et al (2019) evidenciou-se o papel da água como influencia nas vias de fragmentação, porém, como menor oxidação, devido a absorção de radiação solar pelas moléculas de água. Os microplásticos que flutuam na superfície da água tem sua temperatura reduzida, o que diminui o grau de oxidação.

O igarapé do Mindu é claramente poluído por macroplásticos em toda sua extensão. A poluição ocorrida neste corpo hídrico é condicionada e intensificada por sua proximidade a aglomerados populacionais, vias públicas e subprodutos da drenagem urbana. Como consequência, são várias as vias de entrada de macro, micro e nanoplásticos para o igarapé.

A poluição de microplásticos para rios e córregos de água doce é advinda do escoamento superficial das regiões metropolitanas. Oriekhova e Stool (2019) afirmam que a principal fonte de microplásticos na água marinha é o escoamento de água doce.

Os regimes hidrológicos das bacias hidrográficas urbanas são influenciados pela localização geográfica e interação com a população circundante. Existem vias de escoamento da drenagem urbana para os corpos hídricos que contribuem para a eutrofização e poluição de rios e córregos de água doce. Existem ainda sumidouros que retém fragmentos de diferentes composições químicas nos compartimentos urbanos.

Estudos que contribuam com a elucidação das interações entre os compartimentos ambientais e os poluentes são extremamente importantes. A diferença do comportamento da população como preceptores de promoção da saúde ambiental e receptores do impacto da poluição também deve ser elucidada como forma de diminuição de descartes incorretos de resíduos sólidos, em especial plásticos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A onipresença e dano ambiental que os materiais microplásticos ocasionam em diferentes compartimentos ambientais, incluindo a fauna, a flora e o ser humano, transforma este material como potencializador de doenças e redutor da saúde ambiental. A ineficiência dos sistemas de saneamento ambiental, em especial o gerenciamento de resíduos sólidos traz a possibilidade da permanência e aumento de resíduos plásticos no meio ambiente.

A demanda de produção de resíduos plásticos não acompanha o tratamento para destinação final ambientalmente correta dos mesmos. A população tem papel fundamental na promoção da saúde ambiental e redução dos descartes incorretos. As bacias hidrográficas urbanas estão circundadas de aglomerados populacionais e de comércios que intensificam os descartes pontuais e difusos em determinadas regiões dos corpos hídricos.

Enfatiza-se também que as fibras possuem dimensões muito pequenas, e são muito difíceis de ser retidas por malhas e peneiras, mesmo que o comprimento seja maior que o instrumento utilizado, dessa forma, acredita-se que a quantidade de micro e nanoplásticos por litro de água do igarapé do Mindu seja superior ao isolado nesta pesquisa. Os microplásticos além de agrega-se a outras substâncias contidas no meio, também podem agregar-se entre si, aumentando a densidade e precipitando, elevando a taxa de sedimentação e diminuindo o isolamento em amostras de água (HORTON et al, 2017).

A nível da região norte do Brasil, Filho e Monteiro (2019) salientam que em regiões com práticas pesqueiras, existe o abandono de artefatos de pesca, tanto na água quanto na praia. Outra questão é quanto às fibras de roupas, isopor e fios nylon que são advindos do processo de lavagem de roupas. Apesar das máquinas de lavar possuírem filtros, os resíduos de lavagem são continuamente descartados nos efluentes domésticos, chegando aos córregos e rios através do sistema de drenagem da cidade.

Os plásticos ainda estão em alta demanda na era moderna, como forma de melhoramento da qualidade de vida da sociedade, contribuindo para uma produção em escala global de 300 milhões de toneladas métricas de plásticos fabricados anualmente (OGUNOLA et al, 2018). O plástico tem benefício social e promoveu muitos avanços tecnológicos, da educação, saúde e indústria. Contudo, a poluição plástica impacta o setor de turismo, atividades pesqueiras por contaminação dos peixes e degrada a saúde ambiental (ORIEKHOVA e STOOL, 2019).

No estudo realizado pelo Fundo Mundial para a Natureza – WWF (2019), o Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo com 11,3 milhões de toneladas, ficando apenas

dos Estados Unidos, China e Índia. Desse quantitativo produzido pelo país apenas 1,28% é reciclado.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019 da Abrelpe (2019), o Brasil gerou no ano de 2018, 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Deste montante 92% foram coletados pelos serviços de limpeza, contudo, apenas 59,5% tiveram destinação adequada em aterros sanitários. Os demais 40,5% foram despejados em locais inadequados. Dos resíduos que foram coletados pelas cooperativas e associações de catadores, o material plástico apresentou quantitativo de 11.308 toneladas no ano de 2018. A região Norte gerou, em 2018, 16.073 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, das quais 81,31% foram coletadas.

Esses quantitativos sobre a coleta e destinação ambientalmente correta são importantes para mensurar o estado em que se encontra o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil e na região Norte. Manaus é uma das metrópoles que mais contribui com o quantitativo de RSU da região Norte. De janeiro a dezembro de 2019, o aterro de resíduos sólidos de Manaus recebeu 967.277 toneladas de resíduos sólidos, os quais 98,6% de RSU e 1,4% de resíduos de terceiros, deste quantitativo, apenas 0,05% são destinados à reciclagem. A média é de 2.650,1 toneladas de resíduos dispostas por dia no aterro (SEMULSP, 2020).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, hoje, um terço do lixo doméstico é composto por embalagens, sendo que cerca de 80% das embalagens são descartadas após ser utilizada uma única vez. Ressaltando que o plástico leva mais de 400 anos para se decompor na natureza. Devido à taxa de degradação extremamente lenta desse material, a taxa de produção de produtos plásticos e ineficiência do tratamento deste resíduo, transforma este polímero em uma preocupação global.

Para Filho e Monteiro (2019) e Pontes (2019), o rio Amazonas pode transportar de 32.200 a 38.900 toneladas de plásticos por ano, sendo considerado o 7º maior rio poluidor do mundo. Andrade et al (2019) estima quase o dobro desse quantitativo, cerca de 60.000 toneladas por ano. A preocupação sobre o impacto da geração e as medidas de redução do impacto plástico e microplástico não são uma problemática apenas das cidades, e sim a nível mundial devido à biomagnificação da poluição.

A ONU Meio Ambiente reconhece que os rios são importantes zonas de transporte de poluentes para os mares e oceanos. Dessa forma, em junho de 2018, a PNUMA lançou o programa “Rios Limpos para Mares Limpos” na Fundação Amazonas Sustentável (FAS) em Manaus. Na ocasião ocorria o Seminário “Dos Rios Limpos para Mares Mais Limpos com os ODS”. O objetivo é integrar a Amazônia ao combate à poluição plástica que invade os

oceanos, o que permite a conservação dos rios, igarapés e outros afluentes da região. Salienta-se também a importância de Manaus como contribuinte do Rio Amazonas e da floresta Amazônica.

A FAS salienta ainda que a ação é voltada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 6 e 14, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos, e garantir até 2030 a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, respectivamente (ONU/BR, 2018²).

A antropização influencia diretamente a descarga de materiais plásticos e derivados para os corpos hídricos urbanos. Da mesma, a hidrodinâmica local impulsiona o transporte e a deposição de plásticos e microplásticos, esses fatores juntamente com o clima local possuem papel atuante na fragmentação de microplásticos e consequente poluição ambiental.

Não existem métodos unificados para isolamento de microplásticos no ambiente de água doce (HORTON et al, 2017; RODRIGUES et al, 2018).

FREE et al (2014), LAMBERT e WAGNER (2016), BESSELING et al (2017) e SCHWAFERTS et al (2019) afirmam que a análise para partículas sub e nanométricas enfrentam lacunas metodológicas, tanto na parte laboratorial quanto na coleta e processamento de amostra in loco.

De acordo com Rodrigues et al (2018), a não unificação de um método de isolamento para microplásticos (micro e nano) resultam em resultados difíceis de serem comparados, por diferirem em qualidade e resolução em diferentes trabalhos. No entanto, rotinas como: peneiramento, digestão da MO, separação por densidade, filtração, classificação visual e por FTIR são abordadas por vários autores para isolamento de microplásticos em ambientes de água doce, como no caso deste trabalho.

Estudos sobre a poluição microplástica em corpos hídricos de diferentes tamanhos em ambientes urbanos são necessários e imprescindíveis para compreensão da dinâmica destes poluentes em áreas urbanas. No caso de Manaus, o transporte de micro e nanoplásticos pelo igarapé do Mindu até o rio Negro contribuem para a carga de poluição plástica do Rio Amazonas. Destaca-se que no percurso são impactadas: fauna, flora, populações tradicionais, atividades turísticas e a qualidade da água.

Com a aplicação de mais estudos em ambientes de água doce também são feitas contribuições para cunhar uma metodologia específica para estes ambientes, de acordo com as especificidades ambientais. Salientando o papel da importância da compreensão das vias de magnificação da poluição microplástica que impactam todo o mundo.

7. CONCLUSÃO

A análise quantitativa por meio da adaptação da metodologia da NOAA e trabalhos científicos acerca do tema permitiram o isolamento de detritos micro e nanoplásticos das amostras de água do igarapé do Mindu. O estudo realizado comprovou que existe poluição microplástica no igarapé do Mindu, na cidade de Manaus, com exceção da nascente.

O estudo em diferentes perfis da água do igarapé do Mindu foi um diferencial para este trabalho, pois com a interação de partículas já presentes na água e a ação da radiação UV, os microplásticos podem estar presentes em diferentes profundidades, o que foi comprovado nesta pesquisa, que obteve as maiores concentrações destes poluentes para o perfil profundidade.

A maior quantificação foi para o poluente nanoplástico, o que trouxe um alerta importante sobre o impacto que os corpos hídricos urbanos estão sujeitos, principalmente por partículas micrométricas que podem ser biomagnificados em grandes escalas. Salientando que quanto menor o tamanho do detrito, maior será seu potencial de impacto.

A análise qualitativa de FTIR permitiu identificar espectros principais da amostra microplástica e nanoplástica e através da consulta na biblioteca Hummel de polímeros e aditivos foi possível indicar oito traços de assinaturas na amostra microplástica e doze traços na amostra nanoplástica de monômeros, elastômeros, compostos orgânicos e substâncias utilizadas em diferentes polímeros plásticos, atreladas a fabricação e composição de componentes plásticos. É necessário realizar análises adicionais para confirmar os traços de assinaturas destas substâncias. Contudo, a análise de FTIR comprovou que as amostras analisadas não se tratavam de apenas um tipo microplástico e sim de uma amostra complexa.

O igarapé do Mindu apresenta na sua extensão forte influência antrópica, diversidade de vegetação ciliar, aprisionamento de lixo no seu leito e contribuição de descarga de efluentes, que contribuem para a poluição microplástica como subprodutos da drenagem urbana e deficiência na educação ambiental da população.

Das características ambientais analisadas, o pH apresentou valores acima dos considerados ideais para as águas de igarapés de Manaus, com medições entre 6,3 a 7,9 indicam a influência antrópica por descarga de poluentes. Os sete pontos analisados, incluindo a nascente, apresentaram esta alteração.

Sobre a condutividade elétrica, com exceção da nascente, os demais seis pontos apresentaram valores acima de $100 \mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$, variando de 158 a $450 \mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$. Os maiores valores nos dois perfis de água foram observados no período de vazante em que o igarapé

apresentava profundidade média, nesta etapa também houve episódios de chuvas torrenciais na cidade de Manaus, que contribuíram para o aumento das concentrações nanoplásticas.

Contrariamente, os menores valores de condutividade elétrica foram medidos no regime de cheia, etapa em que o igarapé possuía maior interação com a vegetação ciliar com grande profundidade que favorecia o aprisionamento de poluentes.

O regime hidrológico (enchente, cheia, vazante e seca) e o perfil de água do igarapé possuem influência nas concentrações de micro e nanoplásticos, que apresentaram concentrações diferentes em cada etapa. As maiores concentrações de microplásticos foram quantificadas no regime de seca e de nanoplástico no regime de vazante, ambos no perfil profundidade. As menores concentrações foram quantificadas no regime de vazante para microplástico e no regime de seca para nanoplásticos, também no perfil profundidade.

De maneira geral, os nanoplásticos apresentaram maior dinâmica, com crescimento de concentração do regime de enchente para vazante, e posterior decaimento em ambos os perfis de água. Os microplásticos apresentaram crescimento mais discreto, contudo, no período de seca houve crescimento de concentração no perfil profundidade.

A dinâmica dos microplásticos no igarapé do Mindu é influenciada pela profundidade e interação com a vegetação ciliar, e no caso dos nanoplásticos também possuem influência da condutividade elétrica. No caso da profundidade mínima, a vazão no regime de seca apresenta-se superior a vazão do regime de vazante, portanto, os nanoplásticos são mais facilmente carregados pela água por possuírem tamanho menor que os microplásticos. Quando o nível da água está alto ocorre maior dispersão vertical de nanoplásticos e conseqüentemente as concentrações são maiores, sendo maiores que os microplásticos.

Através dos resultados deste trabalho espera-se que tomadas de decisões quanto à gestão de resíduos sólidos na cidade de Manaus possam ser realizadas de forma holística sobre o tratamento de resíduos sólidos plásticos em escalas micro e macrométricas. Da mesma forma, enfatiza-se a necessidade de práticas de educação ambiental mais assíduas, principalmente para residentes próximos aos igarapés da cidade de Manaus, em especial o igarapé do Mindu.

Existe a necessidade de realização de outros trabalhos em corpos hídricos urbanos para compreensão da dinâmica destes poluentes e como forma de contribuir para cunhar uma metodologia específica para ambientes de água doce.

8. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **A Amazônia: do discurso à Práxis**. 2º ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

ABIPLAST. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **.Perfil 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/08/perfil-2018-web.pdf>>. Acesso em: Outubro, 2019.

ABRE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Tipos de Embalagens**. 2019. Disponível em:<<http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/tipos-de-embalagens/>>. Acesso em: Setembro, 2019.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. 2019. Disponível em: <[abrelpe.org.br > download-panorama-2018-2019](http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019)>. Acesso em: Março, 2020.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>>. Acesso em 30 jan 2019

ALVES, N. S.; CARVALHO, B. L.; RODRIGUES, R. C. C.; et al. Fatores condicionantes do risco de inundações na bacia hidrográfica do igarapé do Mindu, Manaus-AM. XI SINAGEO. Maringá-Paraná, 2016. Disponível em: < <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-46-1418.html>>. Acesso em: Janeiro, 2020.

ANDRADE, M. C.; WINEMILLER, K. O.; BARBOSA, P. S.; et al. **First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits**. Environmental Pollution. Volume 244, (2019), Pages 766-773. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.088>>. Acesso em: Janeiro, 2020.

ANDERSON, J. C.; PARK, B. J.; PALACE, V. P. **Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems**. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116305620?via%3Dihub>>. Acesso em 30 de outubro de 2010.

ANDRADY, A. L.; PANDEY, K. K.; HEIKKILA, A. M. **Interactive effects of solar UV radiation and climate change on material damage**. Photocochemical & Photobiological Sciences. 2019, vl. 18, 804-825. Disponível em: < DOI: 10.1039/c8pp90065e>. Acesso em: Janeiro, 2020.

ANDRADY, A. L. **The plastic in microplastics: A review**. Marine Pollution Bulletin 119 (2017) 12-22. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>>. Acesso em: Outubro, 2020.

ANTHONY L. ANDRADY. **The plastic in microplastics: A review**. Marine Pollution Bulletin 119 (2017) 12-22. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

ATIKINS, P. W. **Moléculas**. 2006. 2 reimpr., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1 edição.

AZEVEDO, F. A; CHASIN, A. A. M. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Carlos: RiMa, 2003. São Paulo: Intertox, 2003. 340p.

BARNES, D. K; GALGANI, F; THOMPSON, R; BARLAZ, M. **Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments**, 2009. The Royal Society Publishing. (1526):1985-1998. Disponível em: <10.1098 / rstb.2008.0205>. Acesso em 12 jan 2019

BESSELING, E; QUIK, J. T; SUN, M; KOELMANS, A. A. **Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study**. Science Direct. 2017. VI.220. 540-548. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>>. Acesso em: 12 dez 2018

BLETTLER, M. C. M.; ULLA, M. A.; RABUFFETTI, A. P.; et al. **Plastic pollution in freshwater ecosystems: macro-, meso-, and microplastic debris in a floodplain lake**. Environ Monit Assess (2017) 189: 581. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6305-8>>. Acesso em: Janeiro, 2020.

BORGES, M. G. M. **Gestão de áreas protegidas no espaço urbano: relações de conflitos e (re) territorialização no parque nascentes do Mindu – Manaus/Amazonas**. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. ISBN: 978-85-98539-04-1. 2014. Disponível em: <http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404698838_ARQUIVO_Artigo_CBG2014.pdf>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

BORGES, M. G. M.; SANTOS, E. C. **Gestão ambiental e preservação de nascentes: um estudo para elaboração de políticas de gestão ambiental da nascente do igarapé do Mindú, no bairro Cidade de Deus – Manaus/AM**. Revista Geográfica de América Central. 2011. Disponível em: < www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2696>. Acesso em: 30 dezembro 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.329, de outubro de 2007. **Cria o Corredor Ecológico Urbano do Igarapé do Mindu, para fins de proteção ambiental e dá outras providências**. Disponível em: <<http://semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/Decreto-9.329-de-26-de-outubro-de-2007.pdf>>. Acesso em: 18 Janeiro, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: Janeiro 2019.

BRASIL. **LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: Fevereiro, 2020

BRASIL. **Rios e bacias do Brasil formam uma das maiores redes fluviais do mundo**. 2009. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2009/10/rios-e-bacias-do-brasil-formam-uma-das-maiores-redes-fluviais-do-mundo>>. Acesso: Novembro, 2019

BRITISHPLASTICFEDERATION-BPF. **A history of plastics**. 2018. Disponível em: <http://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics_history/Default.aspx>. Acesso: Outubro de 2018

CARPENTER, E. J.; ANDERSON, S. J. HARVEY, G. R.; MIKLAS, H. P. PECK, B. B. **Spherical Polystyrene in Coastal Waters**. Science 178(4062): pp.749-50. 1972. Disponível em: <[10.1126/science.178.4062.749](https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749)>. Acesso em: Fevereiro, 2019.

CASSIANO, K. R. M. **Análise geográfica de áreas de risco na bacia hidrográfica no igarapé do Mindu - Manaus (AM)**. Dissertação de mestrado (mestrado em geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: SC. 2013. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106841/319871.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

CASTRO, R. O.; SILVA, M. L.; MARQUES, M. R. C.; ARAÚJO, F. V. **Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove, Niterói, RJ, Brazil, an area of mussels farming**. ScienceDirect-Marine Pollution Bulletin. Volume 110, Issue 1, 15 September 2016, Pages 555-558. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.037>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

CETESB/ANA. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/ AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. 327 p. 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: Julho, 2019.

COSTA, J. P.; REIS, V.; PAÇO, A. et al. **Micro(nano)plastics e Analytical challenges towards risk evaluation**. Trends in Analytical Chemistry 111 (2019) 173-184. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.013>>. Acesso em: Dezembro, 2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Boletim de monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia ocidental**. 2018. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php#>. Acesso: Novembro de 2018.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Alerta de Eventos Críticos-SACE**. 2018. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php#>. Acesso em: Novembro de 2018.

CPTEC/INPE. **Climatologia mensal das capitais**. 2019. Disponível em: <<http://img0.cptec.inpe.br/~rclima/climatologias/mensal/capitais/novas/>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

DAVRANCHE, M.; VECLIN, C.; PIERSON-WICKMAN, C.; et al. **Are nanoplastics able to bind significant amount of metals? The lead example**. Environmental Pollution 249 (2019) 940-948. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.087>>. Acesso em: Janeiro, 2020.

DOM. DIÁRIO OFICIAL DO MUNICIPIO DE MANAUS. **DECRETO Nº 4.440, DE 05 DE JUNHO DE 2019**. Ano XX, Edição 4612. Disponível em: <http://dom.manaus.am.gov.br/pdf/2019/junho/DOM%204612%2005.06.2019%20CAD%201.pdf/at_download/file>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

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.** Science Direct-Water Research. Volume 75, 15 may 2015, pages, 63-82. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

FAN, Y.; ZHENG, K.; ZHU, Z.; CHEN, G.; PENG, X. **Distribution, sedimentary record, and persistence of microplastics in the Pearl River catchment, China.** Environmental Pollution 251 (2019) 862e870, ScienceDirect. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.056>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

FILD, A. **Descobrimo a estatística usando o SPSS.** [recurso eletrônico]. Tradução Lorí Viali. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Zq059wGcnvWC&pg=PA397&lpg=PA397&dq=teste+de+esfericidade+de+mauchly+no+spss&source=bl&ots=B6gq3R265C&sig=ACfU3U2dRsDfJ1Ri_--VSeG8TDqIzK82lg&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwjNtPymg9LnAhUiH7kGHeHdBooQ6AEwCXoECAoQAQ#v=onepage&q=teste%20de%20esfericidade%20de%20mauchly%20no%20spss&f=false>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

FILHO, J. E. M.; MONTEIRO, R. C. P. **Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach.** Marine Pollution Bulletin. Volume 145, (2019), Pages 219-223. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.049>>. Acesso em: Março, 2020.

FILHO, S. E. N. C.; WALKER, I. Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um Igarapé da cidade de Manaus/AM - Amazônia Central. Acta Amazônia. 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1809-43922001311089>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

FREE, C.M.; JENSEN, O. P.; MASON, S. A.; ERIKSEN, M.; WILLIAMSON, N. J.; BOLDGIV, B. **High levels of microplastic pollution in a large remote lake.** 2014. Sience Direct. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>>. Acesso: Outubro, 2018.

FUNDATION MACARTHUR ELLEN. **The New Plastics Economy Catalysing Action.** 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/New-Plastics-Economy_Catalysing-Action_13-1-17.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2019.

GIRARD, J. **Princípios de Química Ambiental.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GOLDSTEIN, M. C; CHENF, M R L. **Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect.** Biology Letters. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0298>>. Acesso em: 11 dez 2018.

HORTON, A. A.; WALTON, A.; SPURGEON, D. et al. **Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities.** Science oh the Total Environment 586 (2017) 127-141. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>>. Acesso em: Outubro, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama Manaus**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>>. Acesso em: Novembro, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Senso 2019 da população de Manaus**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>>. Acesso em: dezembro, 2019.

ISWA. International Solid Waste Association. **ISWA Global Newsletter December 2018**. Disponível em: <<https://mailchi.mp/iswa/global-newsletter-december-2018>>. Acesso em: Janeiro, 2019

IVAR DO SUL, J. A. **Contaminação ambiental por microplásticos em Fernando de Noronha, Abrolhos e Trindade**. Tese de Doutorado (Doutorado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18853/1/TESE_Juliana%20Ivar%20do%20Su1_SEM%20assinaturas.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2019.

JULIENNE, F.; DELORME, N.; LAGARDE, F. **From macroplastics to microplastics: Role of water in the fragmentation of polyethylene**. *Chemosphere* 236 (2019) 124409. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124409>>. Acesso em: Novembro 2019.

JUNG, M. R.; HORGEN, D.; ORSKI, S. V.; et al. **Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms**. *Marine Pollution Bulletin* 127 (2018) 704-716. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>>. Acesso em: Março, 2020.

KENYON, K. W.; KRIDLER, E. **Laysan Albatrosses swallow indigestible matter**. Vol. 86, n. 2, pág. 339-343. 1969. Disponível em: <<https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/auk/v086n02/p0339-p0343.pdf>>. Acesso em: Fevereiro, 2019.

KOELMANS, A. **Proxies for nanoplastic**. *Environmental Nanotechnology*. Vol. 14. (2019). 307–312. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41565-019-0416-z>>. Acesso em: Novembro, 2019.

LAERD STATISTIC. **ANOVA with Repeated Measures using SPSS Statistics**. Disponível em: <<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/one-way-anova-repeated-measures-using-spss-statistics.php>>. Acesso em: Março, 2019.

LAMBERT, S.; WAGNER, M. **Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview**. *Freshwater Microplastics* pp 1-23. Part of the The Handbook of Environmental Chemistry book series (HEC, volume 58). 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-61615-5_1>. Acesso em: Fevereiro, 2019.

LEBRETON, L; SLAT, B; FERRARI, F; SAIN TE-ROSE, B; MARTHOUSE, R; HAJBANE, S; CUNSOLO, S; et al. **Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic**. 2018. *Scientific Reports*. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>>. Acesso em: Outubro de 2018.

LI, J.; LIU, H.; CHEN, J. P. **Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection**. ScienceDirect-Water Reserach. Volume 137, 15 June 2018, Pages 362-374. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3ª edição.

LIMA, M. B. **O processo de gestão do parque municipal nascentes do Mindu**. Dissertação de mestrado (mestrado em Gestão de Áreas Protegidas). Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia – INPA. 2018. Disponível em: <<https://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/2859/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado%20MPGAP%20-%20M%C3%A1rcio%20Bentes%20Lima.pdf>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

LITHNER, D.; LARSSON, A.; DAVE, G. **Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition**. 2011. Science of The Total Environment. VI 409, Issue 18, pages 3309-3324. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>>. Acesso em: Maio, 2019.

LUO, E.; SU, L.; CRAIG, N.; et al. **Comparison of microplastic pollution in different water bodies, from urban streams to coastal Waters**. Environmental Pollution. Vol. 246 (2019). 174-182. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>>. Acesso em: Dezembro, 2019.

MACENA, L. S. L; COSTA, R. C. **A cidade como espaço de risco: estudo em bacias hidrográficas de Manaus, Amazonas-BR**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.1, N.4, p.318 – 330, 2012. Disponível em: <https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Macena_e_Costa_2012.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2019

MACHADO, A. L. S. **A educação ambiental para gestão sustentável da água: estudo de caso do igarapé do Mindu-Manaus, AM**. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília, 2012. 245 p. Disponível em: < repositorio.unb.br/bitstream/10482/12845/3/2012_AnaLuciaSoaresMachado.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2019.

MASURA, J., et al. 2015. **Os métodos laboratoriais para a análise de microplásticos no ambiente marinho: recomendações para a quantificação de partículas sintéticas em águas e sedimentos**. NOAA Técnica memorando NOS-OR e R-48

MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. **Antropic Influence On The Water Of Streams In The City Of Manaus – Amazonas**. CAMINHOS DE GEOGRAFIA 5 (16) 40 - 47, out/2005 - revista on line. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15445>>. Acesso em: Março, 2020.

MIRANDA, M. J. O. **O uso de geotecnologias na análise temporal do processo de expansão urbana sobre a bacia hidrográfica do Puraquequara: Manaus-AM**. Dissertação

de mestrado (mestrado em geográfica). Universidade Federal do Amazonas-UFAM. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5788>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. **Unidades de Conservação federais de domínio público.** 2020. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/gestao/patrimonio-da-uniao/bens-da-uniao/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: Fev, 2020.

MITRANO, D. M.; BELTZUNG, A.; FREHLAND, S.; et al. **Synthesis of metal-doped nanoplastics and their utility to investigate fate and behaviour in complex environmental systems.** Nature Nanotechnology. Vol. 14. (2019). 362–368. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41565-018-0360-3>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

MOLINIER, M. et al. **Hidrologia da Bacia do Rio Amazonas.** Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 1995.

OLIVATTO, G. P. **Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara.** Dissertação de mestrado (mestrado em química). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/29926/29926.PDF>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. **Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno.** Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), no prelo. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/MontagnerNoPrelo.pdf>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

OGUNOLA, O. S; ONADA, O. A.; FALAYE, A. E. **Mitigation measures to avert the impacts of plastics and microplastics in the marine environment (a review).**2018. SpringerLink. Volume 25, edição 10 , pp 9293-9310. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez2.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-018-1499-z>>. Acesso em: Abril, 2019.

ONU/BR¹. Nações Unidas do Brasil. **Acabe com a Poluição Plástica.** 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/meioambiente/>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

ONU/BR². ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS/BRASIL. **ONU Meio Ambiente lança iniciativa ‘Rios Limpos para Mares Limpos’ no Amazonas.** 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-meio-ambiente-lanca-iniciativa-rios-limpos-para-mares-limpos-no-amazonas/>>. Acesso em: Janeiro, 2020.

OLIVEIRA, M. C. B. R. (2012). “Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil”. Dissertação de Mestrado (mestrado em Planejamento Estratégico). Universidade Federal do Rio de Janeiro. antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/maria_deoliveira.pdf. Maio, 2019.

ORIEKHIVA, O.; STOLL, S. **Heteroaggregation of nanoplastic particles in the presence of inorganic colloids and natural organic matter.** Environmental Science Nano (2018), 5:792-799. Disponível em: < DOI: 10.1039/c7en01119a>. Acesso em: Dezembro, 2020.

PEREIRA, T. B. **MICROPLÁSTICOS E A CONVENÇÃO PARA O CONTROLE E GESTÃO DA ÁGUA DE LASTRO EM NAVIOS (CONVENÇÃO BWM)**. Trabalho de Conclusão de curso (bacharel em Engenharia Naval). Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191787/TCC%20Eng%20Naval%20hais%20Buse.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R. et al. **The human action effects on the hydrogeochemistry of Negro river at the Manaus shoreline**. Acta Amazonica vol. 39(3) 2009: 627 – 638. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/aa/v39n3/v39n3a18.pdf>>. Acesso em: Abril, 2020.

PLASTICEUROPE. **Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data**. 2017. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf>. Acesso em: Outubro de 2018.

PLASTICSEUROPE. **What are plastics?**. 2018. Disponível em: <<https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>>. Acesso em: Outubro de 2018

PMM. **Plano de Manejo do Corredor Ecológico Urbano do Igarapé do Mindu/Parque Municipal do Mindu**. Manaus, 2008.

PMM. Prefeitura Municipal de Manaus. **Decreto nº 8.351, de 17 de março de 2006 – Cria o Parque Municipal das Nascentes do Mindú**. 2006. Disponível em: <<http://semmas.manaus.am.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/Decreto-8.351-de-17-de-mar%C3%A7o-de-2006.pdf>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

PMM. Prefeitura Municipal de Manaus. **Introdução sobre os Igarapés de Manaus e o Corredor Ecológico Urbano do Igarapé do Mindu**. Manaus, 2010. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/am/sala-de-imprensa/docs/acp-dragagem-igarapes-20090512>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

PONTES, N. A. **Efeito dos microplásticos no desenvolvimento do caranguejo de água doce Dilocarcinus pagei capturados em Itacoatiara (AM), Brasil**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos). Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2019. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7641#preview-link0>>. Acesso em: Março, 2020.

RAPOSO, T. S. **ANOVA mista de dois fatores com medidas repetidas ou teste t não pareado da diferença dos escores. Uma aplicação em dados de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete**. Monografia de Estatística (graduação em Estatística). Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16733/1/2016_ThayanneSalesRaposo_tcc.pdf>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

RIBEIRO, F.; O'BRIEN, J. W.; GALLOWAY, T. et al. **Accumulation and fate of nano- and micro-plastics and associated contaminants in organisms**. Trends in Analytical

Chemistry 111 (2019) 139-147. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.010>>. Acesso em: Março, 2020.

ROCHA, K. R.; JUNIOR, A. J. B. **Anova medidas repetidas e seus pressupostos: análise passo a passo de um experimento**. Perspectiva da Ciência e Tecnologia, v.10. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2018.v10.p.29-51>>. Acesso em: Março, 2019

RODRIGUES, M.O.; GONÇALVES, A. MM.; GONÇALVES, F. JM.; MARQUES, J. C.; ABRANTES, N. **Effectiveness of a methodology for isolating microplastics for environmental monitoring in systems freshwater**. Ecological Indicators, Vol 89, June 2018, pages 488-495, Science Direct. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.038>>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

SCHWAFERTS, C.; NIESSNER, R.; ELSNER, M.; et al. **Methods for the analysis of submicrometer- and nanoplastic particles in the environment**. Trends in Analytical Chemistry 112 (2019) 52-65. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.014>>. Acesso em: Março, 2020.

SEDECTI. SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Indicadores e Mapas: Mapa da população por bairro de Manaus**. 2015. Disponível em: <http://www.seducti.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/Mapa_da_popula%C3%A7%C3%A3o_por_bairro_de_Manus.pdf>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Boletim hidrometeorológico 110**. Governo do Estado do Amazonas. 2019. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Boletim_110_2019.pdf>. Acesso em: Fevereiro, 2020.

SEMMAS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Áreas Protegidas**. 2013. Disponível em: <<http://semmas.manaus.am.gov.br/areas-protegidas/>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

SEMULPS. SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA E SERVIÇOS PÚBLICOS. **Aterro Sanitário**. 2020. Disponível em: < <http://semulps.manaus.am.gov.br/aterro-sanitario/>>. Acesso em: Abril, 2020.

SIGHICELLI, M.; PIETRELLI, L.; LECCE, F.; LANNILLI, V.; FALCONIERI, M.; COSCIA, L.; DI VITO, S.; et al. **Microplastic pollution in surface waters of Italian subalpine lakes**. 2018. Science Direct. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.008>>. Acesso em: Outubro, 2018.

SILVA, C. V.; CHAGAS, C. S. T.; OLIVEIRA; C. N. ALVES. **Características ambientais do igarapé do Mindu e sua relação com o parque dos bilhares, em Manaus-AM**. 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas, 2018. Disponível em: < <http://www.meioambientepocos.com.br/Anais2018/Conserva%C3%A7%C3%A3o%20e%20Educa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Recursos%20H%C3%ADricos/79.%20CARACTER%20DSTICAS%20AMBIENTAIS%20DO%20IGARAP%C3%89%20DO%20MINDU%20C3%9A%20E%20SUA%20RELA%C3%87%C3%83O%20COM%20O%20PARQUE.pdf>>. Acesso em: Abril, 2020.

SILVA, I. M. P. **Desafios de gestão do Parque Municipal do Mindu (Manaus-AM)**. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano). Universidade Federal do Pará- UFPA, 2014. Disponível em: < <http://ppcs.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2014/iria.pdf>>. Acesso em: Dezembro, 2019.

SOUZA-FILHO, E. A.; BATISTA, I. H.; ALBUQUERQUE, C. S. **Survey of physical-chemical aspects of mindu microbacy waters in Manaus-Amazonas**. Rev. Geog. Amer. Central n.63 Heredia Jul./Dec. (2019). Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.13>>. Acesso em: Março, 2020.

SPSS/TUTORIALS. **Mixed ANOVA using SPSS Statistics**. Laerd Statistics, 2018. Disponível em: < <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/mixed-anova-using-spss-statistics.php>>. Acesso: Fevereiro, 2020.

SUL, J A. I; COSTA, M. F. **The present and future of microplastic pollution in the marine environment**. Science Direct. P352-364. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>>. Acesso em: Dezembro, 2018

THERMO FISHER SCIENTIFIC. **Hummel Polymer and Additives**. 2007. Disponível em: <http://www.thermo.com.cn/resources/200802/productpdf_2098.pdf>. Acesso em: Março, 2020.

TOWN. R. M.; LEEUWEN, H. P. C.; BLUST, R. **Biochemical properties of metal ions linked by micro and nano-plastics in aquatic media**. Frontiers in Chemistry (2018). 6:627. Disponível em: < 10.3389 / fchem.2018.00627>. Acesso em: Março, 2020.

TRIEBSKORN, R.; BRAUNBECK, T.; GRUMMT, T. et al. **Relevance of nano- and microplastics for freshwater ecosystems: A critical review**. Trends in Analytical Chemistry 110 (2019) 375-392. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.023>>. Acesso em: Março, 2020.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. **Cidades na floresta: os “grandes objetos” como expressões do meio técnico-científico informacional no espaço amazônico**. Revista ieb, n. 50, set./mar. p. 13-138, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i51p113-150>>. Acesso em: Janeiro, 2019.

VANDRESEN, M. **Influência dos estuários na abundância de microplásticos superficiais da região centro-norte de santa catarina, Brasil**. 2017. Monografia de oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://biogeoqmar.paginas.ufsc.br/files/2018/03/Mariana-Vandresen_INFLU%C3%80NCIA-DOS-ESTU%C3%81RIOS-NA-ABUND%C3%82NCIA-DE-MICROPL%C3%81STICOS-SUPERFICIAS-DA-REGI%C3%83O-CENTRO-NORTE-DE-SANTA-CATARINA-BRASIL.pdf>. Acesso em: Dezembro, 2019.

VIANA, M. C.; OLIVEIRA, T. C. S. **Estudo de contaminantes em água, sólidos totais suspensos e sedimentos de igarapés na zona urbana de Manaus-Amazonas**. 2018. 108 f. Dissertação (mestrado em química) – Universidade Federal do Amazonas, 2018.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbanoambientais.** (Tese de Doutorado), Florianópolis: UFSC, 2008.

WINDSOR, F. M.; DURANCE, I.; HORTON, A. A. et al. **A catchment-scale perspective of plastic pollution.** *Global Change Biology* (2019),25:1207–1221. Disponível em: < DOI: 10.1111/gcb.14572>. Acesso em: Novembro, 2019.

WWF. World Wide Fund For Nature. **To solve plastic Pollution. Site Word Wide Fund For Nature.** 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: Maio, 2019.

YONKOS, L. T; FRIEDEL, E .A; PEREZ-REYES, A. C; et al. **Microplásticos em quatro rios estuarinos na Baía de Chesapeake, EUA.** *Environmental Science & Technology*. 2014. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es5036317>>. Acesso em: Dezembro, 2018.

9. ANEXO 1 - OFICIO Nº 006/2019-PPGCASA.



Poder Executivo
Ministério de Educação
Universidade Federal do Amazonas
Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia



Mestrado conceito 4 Homologado pelo CNE (Port. MEC 1077, de 31/08/2012, DOU 13/09/2012, seq. 1, p. 25)
Doutorado 4 Homologado pelo CNE (Portaria 1325, de 21/9/2011, D.O.U 22/9/2011, seq. 1, p. 634)

Ofício nº006/2019-PPGCASA

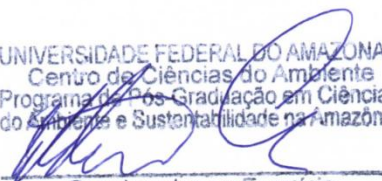
Manaus, 16 de maio de 2019.

Ao Senhor

Antônio Nelson de Oliveira Filho

Secretário Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Solicito junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS, o acesso às áreas de Unidades de Conservação do município, sendo elas: Parque Nascentes do Mindú, Parque Municipal do Mindú e Parque dos Bilhares, para que a Senhora **Gleice Rodrigues de Souza**, portadora do RG nº 2210285-0 e CPF nº 941870882-53, residente e domiciliada à rua Papucaia, nº 104, Jorge Teixeira, em Manaus/AM, aluna de mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia – PPGCASA/CCA, desta Universidade Federal do Amazonas – UFAM, turma 2018, sob a matrícula nº 2180270, realize coletas de água e sedimento de fundo, por um período mensal entre os meses de maio à novembro de 2019. As Unidades de Conservação citadas perfazem três dos sete pontos de coletas para pesquisa de dissertação de mestrado intitulada “**Avaliação da poluição por microplásticos em águas de ambientes urbanos Amazônicos**”, sob a orientação do Professor Doutor Neliton Marques da Silva. Os demais pontos de coleta estão nas localidades: Feira do Mutirão, Avenida Nathan Xavier de Albuquerque, Avenida Álvaro Maia e Avenida Brasil, cujo objetivo é avaliar a presença de poluição microplástica da nascente à foz do igarapé do Mindú.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Centro de Ciências do Ambiente
Programa de Pós-Graduação em Ciências
do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia

Coordenador em Exercício

10. ANEXO 2 - AUTORIZAÇÃO Nº 07/2019 – SEMMAS.



PROGRAMA DE CONHECIMENTO

TERMO DE COMPROMISSO E AUTORIZAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE PESQUISA
Nº07/2019 – SEMMAS

1. DADOS DO REQUERENTE

Discente responsável: Gleice Rodrigues de Souza		Cidade: Manaus
CPF: 941.870.882-53	RG: 2210285-0	
DDD/Telefone: (92) 98806-1795		E-mail: gleicerodrigues23@gmail.com
Orientador responsável: Neliton Marques da Silva		Instituição: UFAM
Curso: Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.	Contato: 98806-1795	E-mail: ppgcasasecretaria@ufam.edu.br

2. DADOS DA SECRETARIA

Nome: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMMAS	Fone: (92) 3236-6070
Setor Responsável: Departamento de Áreas Protegidas - DEAPR	Fone: (92) 3236-7420

3. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

TÍTULO: AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS DE AMBIENTES URBANOS AMAZÔNICOS.
IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO: Analisara a dinâmica de microplásticos na água e sedimento de um corpo hídrico no ambiente urbano de Manaus, de acordo com o regime hidrológico local.

4. CRONOGRAMA

Serão realizadas coletas nos meses de maio a novembro de 2019.

Atividade	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aula de qualificação	X								
Coleta de campo		X	X	X	X	X		X	
Tabulação de dados		X	X	X	X	X	X	X	X
Redação da dissertação	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5. CONDICIONANTES



- O docente responsável deverá ter ciência e dar cumprimento no Protocolo e na Resolução nº 002/2002 – COMDEMA (Regimento de Uso das Unidades de Conservação Municipais);
- Os responsáveis pela pesquisa deverão arcar com os materiais e demais recursos que se fizerem necessários à execução da pesquisa;
- **Em caso de coleta, informar a quantidade e natureza do material, a metodologia de coleta e/ou captura, bem como à instituição onde o material coletado será depositado (para pesquisadores devidamente licenciados pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO);**
- Esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado para o Programa de Conhecimento (programadeconhecimento@pmm.am.gov.br) no prazo de até 30 dias após a data do aniversário da emissão.
- **Ao final da visita/pesquisa o responsável deve apresentar a SEMNAS relatório descritivo e em PDF contendo registros fotográficos e textuais das atividades realizadas, bem como resultados alcançados para apreciação do Conselho da Unidade;**
- Os resultados da pesquisa estarão à disposição desta SEMNAS;
- Esta autorização não dispensa a apresentação de outros documentos solicitados a posteriori.

6. CONSIDERAÇÕES

O trabalho permitirá analisar por meio dos resultados de concentrações se houve crescimento ou diminuição dos valores dos poluentes em direção à foz do Igarapé do Mindu. Espera-se relacionar os dados para compreender a dinâmica do local e influência do mesmo na descarga de poluentes.

7. AUTORIZAÇÃO

Fica autorizada a realização de Pesquisa **Avaliação da Poluição por Microplásticos em Águas de Ambientes Urbanos Amazônicos**, conforme solicitação da discente responsável.

Este documento tem validade para o período de **12 (doze) meses** a contar da data da assinatura deste **Termo**, prorrogável por igual período.

Márcio Bentes Lima

Márcio Bentes Lima

Diretor do Departamento de Áreas Protegidas

Maria de Fátima P. do Nascimento

Maria de Fátima P. do Nascimento

Gestora do Parque Municipal

Fátima Nascimento
Gestora do Parque Municipal das Nascentes do Mindu

Gleice Rodrigues de Souza

Gleice Rodrigues de Souza

Responsável pela Pesquisa

Manaus, 27 de maio de 2019.