

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

STEPHANIE LUANA URATA

**PRESSÃO URBANA EM ÁGUA SUPERFICIAL DO RIBEIRÃO LINDÓIA:
QUALIDADE, TOXICIDADE E CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS**

LONDRINA

2023

STEPHANIE LUANA URATA

**PRESSÃO URBANA EM ÁGUA SUPERFICIAL DO RIBEIRÃO LINDÓIA:
QUALIDADE, TOXICIDADE E CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS**

**Urban pressure in Lindóia stream's surface water: quality, toxicity and
microplastic contamination**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Kátia Valéria Marques
Cardoso Prates.

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. Joseane Débora Peruço
Theodoro.

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

STEPHANIE LUANA URATA

**PRESSÃO URBANA EM ÁGUA SUPERFICIAL DO RIBEIRÃO LINDÓIA:
QUALIDADE, TOXICIDADE E CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 26/Junho/2023

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª. Drª. Edilaine Regina Pereira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª. Drª. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA
2023

AGRADECIMENTOS

São muitas as pessoas a quem devo meus agradecimentos.

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Direna e Wanderley Urata, minhas irmãs Laryssa e Isabelle Urata, e meu namorado, Gustavo Delfine, por serem a base de quem sou hoje e por me acompanharem nessa jornada que é a vida. Tenho orgulho de compartilharmos esse laço. Sem vocês, nada teria importância.

À minha querida orientadora, Prof^a Dr.^a Kátia Valéria Marques Cardoso Prates, a quem moldou minha formação acadêmica, sou grata por todos estes anos de ensinamentos. A senhora, minha admiração.

Meus agradecimentos à minha co-orientadora Prof^a Dr.^a Joseane Débora Peruço Theodoro, pela disponibilidade e toda atenção.

Ao técnico de laboratório, Thiago Marques Andrade, a quem acompanhou as coletas e análises deste trabalho, sempre companheiro.

À minha banca, professores Dr. Ajadir Fazolo e Dr^a Edilaine Regina Pereira por aceitarem meu convite e contribuírem com suas experiências.

Aos meus colegas de Iniciação Científica, Duda Pesenti, Paula Taniwaki e Vitor Campos, por toda a ajuda e atenção nos momentos em que precisei; à Beatriz Belchor pelas sugestões em minha apresentação, e também, à minha companheira de laboratório, Ana Caroline Pestana, a quem dividi as dificuldades e alegrias deste TCC, minha eterna gratidão.

Agradeço também ao motorista da UTFPR, Celso, compartilhando de seus conhecimentos e pela caminhada ao ribeirão Lindóia.

Por fim, agradeço à minha dupla, Amanda do Prado, com quem compartilhei os semestres finais da graduação, e todos aqueles que não citei diretamente, mas que me acompanharam ao longo desses anos. Levo cada um em meu coração.

Esta conquista não seria possível sem o apoio de cada um de vocês, sendo este trabalho o fruto de um esforço coletivo. A todos nós, muito sucesso.

A trajetória somos nós mesmos.
Em matéria de viver, nunca se pode chegar antes.
(*Clarice Lispector, 1964*).

RESUMO

URATA, Stephanie Luana. **Pressão urbana em água superficial do ribeirão Lindóia: qualidade, toxicidade e contaminação por microplásticos**. 2023. 105 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2023.

Embora apresente transformações socioeconômicas positivas, a urbanização está ligada ao impacto substancial no meio ambiente. Nos últimos anos, os impactos às matrizes ambientais vêm se intensificando devido aos padrões de produção e consumo em grande escala, aumentando o descarte inadequado de resíduos sólidos, além de passar a abrigar substâncias perigosas para a saúde humana e ambiental em seus produtos, denominadas como poluentes emergentes, ocasionando problemas ambientais como a poluição de corpos hídricos. Deste modo, faz-se necessário o monitoramento dos ecossistemas. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo analisar a influência das atividades antrópicas na qualidade da água superficial da microbacia hidrográfica ribeirão Lindóia, no município de Londrina, assim como a verificação das primeiras evidências de contaminação emergente por microplásticos. Para isto foram determinados cinco pontos amostrais ao longo do ribeirão Lindóia, dividindo-os em seções amostrais; elaborando mapas temáticos de uso do solo e realizadas análises físico-químicas, microbiológicas, ensaios de toxicidade com sementes de *Allium cepa* e aplicações de diferentes metodologias para qualificação dos microplásticos na água. Pela análise dos mapas temáticos constata-se que a microbacia do ribeirão Lindóia é predominantemente urbana. Nas visitas a campo foram encontrados vários pontos de descarte irregular de resíduos sólidos na maioria de seus pontos amostrais, seja em áreas próximas ao ribeirão Lindóia como em suas margens, se tornando um dos problemas ambientais mais recorrentes à área de estudo. A poluição antrópica pôde ser analisada a partir da correlação dos parâmetros de condutividade elétrica, pH, coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.coli*), principalmente após evento de chuva, de modo que o corpo hídrico incorpora em seu meio as consequências do que ocorre em seu entorno predominante urbano. Ademais, o indicador de contaminação fecal, *E.coli*, ultrapassa os valores estabelecidos pela legislação para o enquadramento do ribeirão Lindóia, indicando uma fonte potencial de poluição. Quanto às análises toxicológicas, a água superficial do ribeirão Lindóia foi determinada de toxicidade baixa a moderada. Por fim, foram encontrados microplásticos em todos os pontos amostrais, evidenciando novamente a pressão antropogênica que o ribeirão sofre. Dentre as micropartículas encontradas, destacam-se os fragmentos avermelhados de 20 a 50 µm e fibras azuis e pretas, de 50 a 200 µm, sendo estas últimas, as únicas que foram visíveis a olho nu.

Palavras-chave: uso e ocupação do solo; parâmetros de qualidade; ensaio toxicológico; poluente emergente.

ABSTRACT

URATA, Stephanie Luana. **Urban pressure in Lindóia stream's surface water: quality, toxicity and microplastic contamination**. 2023. 105 p. Term paper (Bachelor of Environmental and Sanitary Engineering). – Course of Environmental Engineering and Sanitary - Federal Technological University of Parana (UTFPR), Londrina, 2023.

Although it brings positive socioeconomic transformations, urbanization links with substantial environmental impact. In recent years, the effects on the environment matrices have intensified due to large-scale production and consumption patterns, leading to increased improper solid waste disposal and the presence of hazardous substances in urban products known as emerging pollutants, causing environmental problems such as water pollution. Therefore, ecosystem monitoring becomes necessary. In this context, this study aimed to analyze the influence of anthropogenic activities on the surface water quality of the Lindóia stream micro-watershed in the city of Londrina, as well as to investigate the first evidence of emerging contamination by microplastics. Five sampling points were determined along the Lindóia stream, dividing them into sampling sections; thematic maps of "land use" were created, and physicochemical and microbiological analyses were conducted, with toxicity tests using *Allium cepa* seeds and application of different methodologies for microplastic identification in water. Analysis of the thematic maps revealed that the Lindóia stream micro-watershed is predominantly urban. During field visits, several points of improper solid waste disposal were found in most sampling points, either in areas near the Lindóia stream or its banks, becoming one of the most recurrent environmental problems in the study area. Anthropogenic pollution was observed through the correlation of electrical conductivity, pH, total coliforms, and *Escherichia coli* (*E. coli*) parameters, especially after rainfall events, indicating that the water body incorporates the consequences of its predominantly urban surroundings. Also, the fecal contamination indicator, *E. coli*, exceeded the values established by legislation for the classification of the Lindóia stream, indicating a potential source of pollution. As for the toxicological analyses, the surface water of the Lindóia stream showed low to moderate toxicity. Finally, microplastics were found in all sampling points, once again highlighting the anthropogenic pressure the stream suffers from. Among the microplastic particles found, reddish fragments ranging from 20 to 50 µm and blue and black fibers ranging from 50 to 200 µm were notable, with the latter being the only ones visible to the naked eye.

Keywords: land use and land cover; quality parameters; toxicological testing; emerging pollutant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos	18
Figura 2 – Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil em 2020	21
Figura 3 - Participação no tratamento de resíduos plásticos por grupo de renda	23
Figura 4 - Possíveis vias de transporte de microplásticos para o ambiente aquático e suas interações biológicas	26
Figura 5 - Panorama das possibilidades de um método analítico para a determinação de microplásticos no ambiente, considerando amostragem, preparo de amostras e caracterização	29
Figura 6 - Separação por densidade contendo microplásticos de diferentes composições poliméricas utilizando as principais soluções salinas saturadas (NaCl, NaI, ZnBr ₂) e água do mar	31
Figura 7 - Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos encaminhados para aterro sanitário em Londrina no ano de 2021	34
Figura 8 - Arruamento do perímetro urbano de Londrina com pontos em vermelho indicando o descarte irregular de resíduos sólidos e em azul a área em estudo	35
Figura 9 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia e dos pontos amostrais	36
Figura 10 - Pontos amostrais do ribeirão Lindóia e suas coordenadas geográficas	37
Figura 11 - Coleta de amostras de água no ribeirão Lindóia.....	37
Figura 12 - Equipamentos das análises físico-químicas: (a) turbidímetro, (b) pHmetro, (c) condutivímetro, (d) incubadora BOD, (e), (f) espectrofotômetro, (g) extrator de DQO, (h) bandeja agitadora com frascos acoplados ao <i>Oxítóp</i>	40
Figura 13 - Análise microbiológica: (a) materiais e amostras, (b) preparo da amostra em diluição, (c) homogeneização da diluição, (d) distribuição do inóculo em placa 3M <i>Petrifilm Aqua Heterotrophic Count</i> , (e) inoculação em placa 3M <i>Petrifilm EC</i> , (f) incubação.....	43
Figura 14 - Teste de toxicidade com <i>Allium cepa</i> : (a) materiais e amostras, (b) placas de Petri em capela de fluxo laminar com luz UV, (c) sementes distribuídas nas placas, (d) armazenamento em caixa de papelão e (e) incubadora BOD	44
Figura 15 - Metodologias aplicadas para análise de microplásticos em amostra líquida.....	47
Figura 16 - Metodologia I de análise de microplásticos: (a) sistema de separação por densidade, (b) sistema de filtração acoplado à bomba de vácuo	48
Figura 17 - Metodologia II de análise de microplásticos: digestão da matéria orgânica por peróxido de hidrogênio, com enfoque no sobrenadante	49
Figura 18 - Metodologia III de análise de microplásticos: (a) controle da temperatura, (b) amostra com solução Fe II, H ₂ O ₂ 30% e NaCl, (c) amostra com solução Fe III, H ₂ O ₂ 30% e NaCl	50
Figura 19 - Metodologia IV de análise de microplásticos: (a) amostra com solução Fe III e H ₂ O ₂ 30%; (b) enfoque na coloração final	51
Figura 20 - Esquema utilizado para a categorização dos microplásticos	51

Figura 21 - Equipamentos na caracterização visual: (a) microscópio óptico, (b) estereoscópio	52
Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia em 2021	53
Figura 23 - Mapa de uso e ocupação do solo das cinco seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia em 2021	55
Figura 24 - Bairros pertencentes à microbacia ribeirão Lindóia	58
Figura 25 - Ponto amostral 1: (a) entorno, (b) próximo ao ribeirão Lindóia.....	60
Figura 26 - Despejo inadequado de resíduos sólidos entre os pontos 1 e 2	61
Figura 27 - Ponto amostral 2: (a) antes do ponto 2, (b) após ponto 2	61
Figura 28 - Despejo inadequado de resíduos sólidos no ponto amostral 2.....	62
Figura 29 - Despejo inadequado de resíduos sólidos na seção amostral 3.....	63
Figura 30 - Despejo inadequado de resíduos sólidos no ponto 3	63
Figura 31 - Ponto amostral 4	64
Figura 32 - Despejo irregular de resíduos sólidos no ponto amostral 5	64
Figura 33 - Gráfico <i>Box plot</i> do pH nas campanhas amostrais.....	66
Figura 34 - Gráfico <i>Box plot</i> da turbidez nas campanhas amostrais.....	67
Figura 35 - Gráfico <i>Box plot</i> da condutividade elétrica nas campanhas amostrais	68
Figura 36 - Gráfico <i>Box plot</i> da cor aparente nas campanhas amostrais	68
Figura 37 - Gráfico <i>Box plot</i> das colônias de bactérias heterotróficas nas campanhas amostrais.....	71
Figura 38 - Gráfico <i>Box plot</i> das colônias de coliformes totais nas campanhas amostrais	71
Figura 39 - Gráfico <i>Box plot</i> das colônias de <i>Escherichia coli</i> nas campanhas amostrais	72
Figura 40 - Parâmetros correlacionados significativamente na (a,b) 1ª e (c,d) 2ª Campanha	73
Figura 41 - Parâmetros correlacionados significativamente na 3ª Campanha ..	74
Figura 42 - Gráfico <i>Box plot</i> do comprimento (cm) das radículas de <i>Allium cepa</i>	79
Figura 43 - Amostras sem tratamento prévio em visão microscópica (aumento 100x)	80
Figura 44 - Partículas orgânicas dispersas na amostra na etapa de separação por densidade sem tratamento oxidativo.....	81
Figura 45 - Matéria orgânica nas amostras P2 e P5 (aumento de 100x), P3 e P4 (aumento de 200x).....	81
Figura 46 - Enfoque nos cristais de NaCl em microscópio óptico com aumento de 200x	82
Figura 47 - Diferenças na membrana de (a) acetato e (b) fibra de vidro, ambas filtradas com água destilada em aumento de 100x	83
Figura 48 - Dificuldades encontrada na caracterização de microplásticos em membranas de vidro	83
Figura 49 - Microplásticos em amostras após digestão com H ₂ O ₂ por 24h; ao fundo, matéria orgânica remanescente em partículas menores	84
Figura 50 - Microplásticos em amostra após etapa de digestão com solução Fe II e H ₂ O ₂ e separação por densidade, em estereoscópio com aumento de 200x	85

Figura 51 - Possíveis microplásticos em amostras após etapa de digestão com solução Fe III e H ₂ O ₂ e separação por densidade, em microscópio óptico objetiva de 100x.....	86
Figura 52 - Possíveis microplásticos em amostras após etapa de digestão com solução Fe III e H ₂ O ₂	86
Figura 53 - Microplásticos encontrados nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia	87
Figura 54 - Partículas não categorizadas nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia	88
Figura 55 - Tamanhos de microplásticos encontrados nas amostras do ribeirão Lindóia	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos no monitoramento da qualidade das águas superficiais e seus significados ambientais	19
Quadro 2 – Simbologia, identificação e aplicação de materiais plásticos termoplásticos.....	22
Quadro 3 - Levantamento de metodologias para análise de microplásticos.....	32
Quadro 4 - Efeitos no crescimento das radículas	45
Quadro 5 - Níveis toxicológicos dos bioensaios.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do uso do solo na bacia hidrográfica ribeirão Lindóia e suas respectivas porcentagens de ocupação em 2021	54
Tabela 2 - Classificação do uso do solo nas seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia e suas respectivas porcentagens de ocupação	56
Tabela 3 - Bairros de influências nas seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia, do mais para o menos populoso.....	58
Tabela 4- Resultados físico-químicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia	65
Tabela 5 - Resultados químicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia na 3ª campanha de coleta	69
Tabela 6 - Resultados microbiológicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia	70
Tabela 7 - Resultados de germinação, crescimento radicular e índices de toxicidade das sementes de <i>Allium cepa</i> nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia e seus respectivos controles	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>A. cepa</i>	<i>Allium cepa</i>
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABS	Poli (estireno de acrilonitrilo e butadieno)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
ASA	Poli (acrilonitrilo de estireno acrílico)
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMTU	Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina
CN	Controle Negativo
CP	Controle Positivo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ECR	<i>Eriochrome Cyanine R</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
FTIR-ATR	Reflexão Total Atenuada - Infravermelho de Transformada de Fourier
GESAMP	<i>Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection</i>
GRS	Germinação Relativa de Sementes
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICR	Índice de Crescimento Relativo
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IER	Índice de Alongamento Radial Residual Normalizado
IFPR	Instituto Federal do Paraná
IG	Índice de Germinação
IGN	Índice de Germinação Residual Normalizado
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Técnica
NOOA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
PA	Poliacrilato
PAHs	Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares
PC	Policarbonato
PCBs	Bifenilas Policloradas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PM	Peso Molecular
PMMA	Polimetilmetacrilato
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes

PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PUR	Poliureteno
PVC	Policloreto de vinilo
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SAN	Poli (estireno acrilonitrilo)
SIGLON	Sistema de Informação Geográfica de Londrina
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
TG	Taxa de Germinação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Radiação Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta Visível
VR	Valor de Referência
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>
WPO	<i>Wet Peroxide Oxidation</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

H_2O_2	Peróxido de hidrogênio
NaCl	Cloreto de sódio
NaI	Iodeto de potássio
ZnBr_2	Brometo de zinco
Fe^{2+}	Ferro II
Fe^{3+}	Ferro III
OH^-	Hidróxido
$\text{Hg}((\text{SCN})_2)$	Tiocianato de mercúrio
CuSO_4	Sulfato de cobre
FeCl_2	Cloreto de ferro (II)
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
$\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sulfato de ferro (III)
KOH	Hidróxido de potássio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Urbanização e meio ambiente	16
3.2	Pressão urbana em corpos hídricos.....	17
3.2.1	Qualidade da água	17
3.3	Resíduos sólidos urbanos.....	21
3.3.1	Resíduos plásticos	22
3.4	Microplásticos	23
3.4.1	Microplásticos primários	24
3.4.2	Microplásticos secundários	25
3.4.3	Microplásticos em matrizes ambientais aquáticas.....	25
3.4.4	Identificação de microplásticos em amostras de água	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1	Caracterização do município.....	33
4.2	Caracterização da área em estudo.....	34
4.3	Coleta de água	37
4.4	Mapas de uso e ocupação do solo	38
4.5	Análises físico-químicas.....	39
4.5.1	Alumínio dissolvido	40
4.5.2	Cloreto total	40
4.5.3	Condutividade elétrica	41
4.5.4	Cor aparente	41
4.5.5	Demanda bioquímica de oxigênio	41
4.5.6	Demanda química de oxigênio	41
4.5.7	Ferro dissolvido	42
4.5.8	Potencial hidrogeniônico	42
4.5.9	Turbidez	42
4.6	Análises microbiológicas	42
4.7	Análises toxicológicas	43
4.8	Análises estatísticas	46

4.9	Análise de microplásticos	46
4.9.1	Metodologia I	47
4.9.2	Metodologia II	48
4.9.3	Metodologia III	49
4.9.4	Metodologia IV	50
4.9.5	Caracterização dos microplásticos	51
5	RESULTADOS	53
5.1	Uso e ocupação do solo	53
5.1.1	Seções amostrais	54
5.1.2	Descarte irregular de resíduos sólidos nos pontos amostrais	60
5.2	Análises físico-químicas e microbiológicas	65
5.3	Análises toxicológicas	74
5.4	Análises de microplásticos	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
7	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

A urbanização tende a provocar alterações no ambiente, uma vez que o espaço compartilhado entre o ambiente natural e urbano é dinâmico e interligado (TUCCI, 2008). Embora apresente transformações socioeconômicas positivas, a urbanização está ligada ao impacto substancial nos ecossistemas, ocasionando problemas ambientais como a poluição do ar, poluição de corpos hídricos e descarte inadequado de resíduos.

As atividades comerciais, industriais, agrícolas e de transporte geram pressão nos recursos hídricos, ocasionando, em geral, escassez, degradação na qualidade, perda de biodiversidade e contaminação das águas. Além disso, a impermeabilização do solo também é um dos principais fatores na precarização dos corpos d'água.

Outra problemática ambiental ocasionada pelas ações antropogênicas, é o aumento da geração e descarte inadequado de resíduos sólidos. Em especial, na sociedade moderna, a demanda de resíduos plásticos vem crescendo por conta de seu baixo custo, resistência à corrosão, peso leve e alta durabilidade (XIA et al., 2020). Pompêo, Rani-Borges e Paiva (2022) demonstram a dependência do plástico na atualidade, onde:

O plástico pode ser observado em diversas cores e formatos, no interior dos carros, nos diversos tipos de embalagens que utilizamos, empregadas na indústria alimentícia, de remédios, nos supermercados, nos hospitais, nas feiras, etc. Vestimos ele, passamos micropartículas de plástico nas nossas bocas, para auxiliar na limpeza de nossos dentes. São copos e garrafas de inúmeros volumes, canudos, sacos plásticos, bolsas, fios, bolas, tubos de todas as bitolas, brinquedos e outros inúmeros formatos e para centenas de diferentes usos (POMPÊO; RANI-BORGES; PAIVA, 2022, p.4).

Porém, o que torna o plástico útil é exatamente o que o torna prejudicial: ele persiste (ATLAS DO PLÁSTICO, 2020), de modo que quando transformado em resíduo, é considerado um amplo contaminante ambiental (ROY et al., 2011). A poluição por pequenas partículas plásticas denominadas como “microplásticos” e “nanoplásticos”, foram observadas principalmente em ecossistemas aquáticos e em sedimentos, sendo considerando como um poluente emergente.

Os poluentes denominados como emergentes remetem à compostos orgânicos e inorgânicos que apresentam risco potencial para saúde e para o meio ambiente, porém que ainda não possuem requisitos legais, estando presentes em fármacos, produtos de beleza, higiene pessoal e limpeza, esteroides e hormônios, agrotóxicos, microplásticos e entre outros (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017).

Já é sabido que os microplásticos podem ser originados no descarte inadequado de resíduos sólidos que vão sofrendo degradação sucessiva, podendo ser carreados pelo escoamento superficial das chuvas, assim como pela lixiviação da disposição final em aterros sanitários, pelo despejo de esgoto doméstico e outros tipos de efluentes em corpos hídricos receptores ou por perdas acidentais de plásticos nas indústrias e entre outros. Em vista disso, torna-se importante o monitoramento destes poluentes nas matrizes ambientais.

A qualidade de um ecossistema pode ser determinada por diferentes metodologias: em matrizes aquáticas, comumente utiliza-se o monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos que podem alterar o grau de pureza de um corpo d'água (VON SPERLING, 2007). Há também as análises de toxicidade, caracterizado pelo uso sistemático das respostas de organismos-testes a partir de bioensaios (MATTHEWS, BUIKEMA, CAIRNS, 1982; PANDARD et al., 2006), determinando o potencial tóxico que a amostra em estudo possui.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo analisar a influência das atividades antrópicas na água superficial do ribeirão Lindóia, no município de Londrina no norte do Paraná, por meio de análises físico-químicas, microbiológicas e toxicológicas, assim como a verificação da contaminação por microplásticos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água superficial do ribeirão Lindóia e sua possível contaminação por microplásticos.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar mapas de uso e ocupação do solo da microbacia em estudo;
- Determinar a qualidade da água por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, comparando os resultados com a Resolução CONAMA n° 357/2005 para corpos de água doce de classe III;
- Determinar a toxicidade da água por meio de ensaios toxicológicos com sementes de *Allium cepa*;
- Analisar a contaminação por microplásticos na água por meio de diferentes metodologias;
- Qualificar os microplásticos encontrados quanto seu formato, cor e tamanho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Urbanização e meio ambiente

O conceito de ambiente possui várias interpretações. Neste estudo, considera-se o ambiente como um conjunto de resultados das relações do ser humano com o meio físico e outros seres (PIAZERA, 2001), onde conseqüentemente, o uso de recursos naturais pelo ser humano tende a provocar alterações ecológicas no ambiente em que está inserido. Tucci complementa, explicando que o meio formado pelo ambiente natural e urbano pode ser denominado como um ser vivo e dinâmico, gerando, conseqüentemente, um conjunto de efeitos interligados (TUCCI, 2008).

A expansão da urbanização e os problemas de distribuição de riqueza no país resultaram em carências de infraestrutura urbana, gerando em decorrência disto, a ocupação de áreas menos valorizadas ou mais desprotegidas contra invasão (VIEIRA, 2008). Além disso, nos últimos anos, a urbanização vem intensificando os impactos às matrizes ambientais devido aos padrões de produção e consumo em grandes escalas, que passaram a abrigar em seus produtos, elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde, denominadas como poluentes emergentes (GOUVEIA, 2012; MONTAGNER, 2017; SOUZA, 2020).

Tais poluentes são substâncias naturais ou sintéticas e orgânicas ou inorgânicas, que não possuem amparo legislativo, porém consideradas potencialmente nocivas à saúde humana e ambiental (SOARES; SOUZA, 2019). Ainda denominados como “micropoluentes” ou “contaminantes emergentes”, são compostos por produtos farmacêuticos, produtos de cuidado pessoal, surfactantes, hormônios esteroides, químicos industriais, agrotóxicos, resíduos sólidos, microplásticos entre outros, na qual as concentrações destes poluentes estão na faixa de micropartículas ($\mu\text{g/L}$) a nanopartículas (ng/L), sendo as principais fontes de contaminação por esgotos domésticos, efluentes industriais, efluentes de hospital, lixiviados de aterro sanitário ou da disposição inadequada dos resíduos (LUO et al.; 2014).

Estes poluentes não precisam necessariamente persistir no meio ambiente para serem prejudiciais, onde se presentes no ambiente aquático podem ocasionar uma série de efeitos negativos, como a toxicidade a curto e longo prazo, desregulação endócrina e resistência antimicrobiana (FENT; WESTON; CAMINADA, 2006; PRUDEN et al., 2006; LUO et al.; 2014; SOUZA; SOUZA, 2016).

3.2 Pressão urbana em corpos hídricos

Os padrões de uso e ocupação do solo influenciam nos ecossistemas aquáticos, impactando na qualidade da água, nas estruturas de habitat, no regime de fluxo, na cadeia alimentar e nas interações bióticas (KARR, 1991; MENEZES et al., 2014). Para Souza e Gastaldini (2014) “a ocupação desordenada do solo sem os devidos tratos conservacionistas e as ações antrópicas indevidas provocam alterações na qualidade da água local”, induzindo a poluição e contaminação destes recursos hídricos. Estudos apontam que a urbanização das bacias hidrográficas promove impactos ambientais negativos, como a erosão e sedimentação nos corpos hídricos, principalmente pelo processo de impermeabilização do solo (MINELLA; MERTEN, 2011).

Tucci (2003) explica que a degradação das águas urbanas decorre da i) poluição existente no ar e que se precipita junto com a água, ii) lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais, iii) dos resíduos sólidos urbanos - RSU depositados ou transportados pelo sistema de drenagem e iv) pelo despejo de esgoto sanitário. Além disso há também a degradação causada por obras de engenharia, como a dragagem de áreas alagáveis, retificação e canalização dos corpos hídricos, construção de barragens e também, pela retirada de matas ciliares e florestas de seu entorno (ESTEVES, 2011; PEREIRA et al., 2020).

Em vista disso, a qualidade da água é um aspecto indispensável para a compreensão do seu papel na sociedade, tendo em vista a necessidade da gestão e conservação destes corpos, assim como a perspectiva da análise da bacia hidrográfica como um todo (SOUZA et al., 2014).

3.2.1 Qualidade da água

A condição da qualidade da água de um corpo hídrico é determinada por um conjunto de condições e padrões necessários ao atendimento dos usos preponderantes, estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005, indicando a classificação, junto das diretrizes ambientais para o seu enquadramento (BRASIL, 2005). No total, são consideradas treze classes de enquadramento, sendo cinco para águas doces, quatro para águas salobras e quatro para águas salinas (BRASIL, 2005).

Na Figura 1 tem-se a classificação dos corpos d'água doces e seus respectivos usos, variando da classe mais exigente para a menos exigente.

Figura 1 - Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: ANA (2023)

Deste modo, a água pode ser utilizada de diversas formas pelo ser humano, sendo separada em dois grupos de uso: i) uso consuntivo e ii) uso não consuntivo. Os usos consuntivos se dão pela retirada da água do manancial e destinado para consumo, como a irrigação, a utilização na indústria e abastecimento humano; já os usos não consuntivos não envolvem o consumo direto da água, como o lazer, a pesca e a navegação (ANA, 2022).

Para a determinação da qualidade da água para cada um destes usos, são levados em conta critérios físico-químicos, microbiológicos e toxicológicos, sendo em geral: i) a ausência de materiais flutuantes, ii) cor, iii) odor, iv) óleos e graxas, v) corantes, vi) resíduos sólidos objetáveis, vii) coliformes termotolerantes, viii) demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ix) oxigênio dissolvido (OD), x) turbidez, xi) cor verdadeira, xii) pH, xiii) parâmetros orgânicos e inorgânicos e xiv) a verificação de efeito tóxico crônico aos organismos aquáticos (BRASIL, 2005).

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos comumente monitorados em estudos de corpos hídricos estão listados no Quadro 1, incluindo os parâmetros da Resolução CONAMA n°357 e outros complementares.

Quadro 1 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos no monitoramento da qualidade das águas superficiais e seus significados ambientais

Parâmetro	Categoria	Significado
Bactérias heterotróficas	Microbiológico	Indicam indiretamente a quantidade de matéria orgânica no corpo hídrico, sendo um parâmetro relativo e sem concentrações máximas permitidas na legislação.
Coliformes termotolerantes	Microbiológico	Indicador de potencialidade de presença de organismos patogênicos.
Condutividade elétrica (CE)	Físico	Informações sobre concentração total dos íons, produção primária e decomposição, representando uma medida indireta da concentração de poluentes.
Cor	Físico	Informações sobre decomposição de compostos orgânicos e influência de compostos inorgânicos (presença de ferro – coloração marrom, alaranjada e manganês na cor negra), lançamento de esgotos domésticos (cor escura) e de efluentes industriais (variam).
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Químico	Quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável.
Demanda química de oxigênio (DQO)	Químico	Quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico.
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	Microbiológico	Indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.
Fósforo	Químico	Assim como o nitrogênio, o excesso de fósforo conduz a processos de eutrofização das águas.
Nitrogênio	Químico	Pode levar ao enriquecimento do meio tornando-o mais fértil e possibilitando o crescimento de seres vivos que o utilizam, especialmente as algas, causando eutrofização.
Óleos e graxas	Químico	Conjunto de substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, que em processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido, elevando a DBO e a DQO, causando alteração no ecossistema aquático.
Oxigênio Dissolvido (OD)	Químico	Capacidade de um corpo d'água de manter vida aquática aeróbia, assim como realizar a autodepuração, sendo o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição por lançamentos orgânicos.
Potencial hidrogeniônico (pH)	Químico	Determinadas condições de pH contribuem para a precipitação de elementos químicos, como metais tóxicos e outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutriente e afetar o metabolismo de várias espécies aquáticas.
Sólidos totais	Físico	Carga de sólidos em suspensão ou dissolvidos na água, classificados pela sua sedimentabilidade e características químicas.
Temperatura	Físico	Influência sobre solubilidade, transferência de gases, velocidade das reações, quantidade de oxigênio disponível, metabolismos e atividades dos organismos.
Turbidez	Físico	Grau de interferência com a passagem da luz através da água, devido à presença de sólidos em suspensão.

Fonte: Baseado em Brasil (2005); Von Sperling (2007); Programa Água Azul (2015); CETESB (2021)

Quanto aos testes de toxicidade, estes têm por finalidade a determinação do potencial tóxico de um agente químico, misturas complexas, efluentes ou de outras amostras ambientais, sendo os efeitos desses poluentes analisados e mensurados a partir das respostas de organismos-teste (ZAGATTO; GOLDSTEIN, 1991; COSTA et al., 2008). Para a avaliação do efeito tóxico de águas superficiais, a Resolução CONAMA n° 357/2005 recomenda a realização por meio de i) ensaios ecotoxicológicos para determinação do efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos aquáticos, ii) ensaios toxicológicos para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos visando avaliar o potencial de risco à saúde humana ou iii) outros métodos cientificamente reconhecidos (BRASIL, 2005).

Os testes de toxicidade por meio de bioensaios com plantas são considerados mais práticos devido a sua facilidade no armazenamento e manuseio, pelas boas condições cromossômicas, baixo custo e boa correlação com outros sistemas de teste (FISKESJÖ, 1994), sendo considerados mais sensíveis e mais simples se comparados aos que utilizam animais (FERNANDES; MAZZEO; MARIN-MORALES, 2007). Os vegetais *Allium cepa* L., *Vicia faba* L., *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. e *Hordeum vulgare* L. são alguns dos possíveis organismos-testes utilizados para o estudo toxicológico (FISKESJÖ; LEVAN, 1994).

A utilização da *Allium cepa* (*A. cepa*), ou cebola comum, como organismo-teste foi aplicada inicialmente por Levan (1938) para avaliar os efeitos citogenéticos da colchicina em células vivas. Nos anos seguintes, Fiskesjö (1975) cultivou bulbos de *A. cepa* em amostras de água superficial, analisando que o crescimento das raízes foi inibido pela presença de substâncias tóxicas dissolvidas na água. Percebeu-se, também, que a *A. cepa* tolera determinados níveis de estresse, na qual suas funções vitais correlacionadas com o ambiente são capazes de indicar o efeito de fatores ambientais interferentes (BASSANI, 2001; CARITÁ; MARIN-MORALES, 2008).

Deste modo, o efeito toxicológico pode ser determinado a partir do cálculo de índices de germinação e crescimento, de acordo com as metodologias propostas por Walter, Martínez e Cala (2006), González et al. (2011) e Young et al. (2012). É importante ressaltar que tais testes não permitem uma conclusão absoluta sobre o risco que a amostra em estudo apresenta para a população, sendo uma metodologia complementar às análises físico-químicas para avaliar o seu efeito em sistemas biológicos (COSTA et al., 2008).

3.3 Resíduos sólidos urbanos

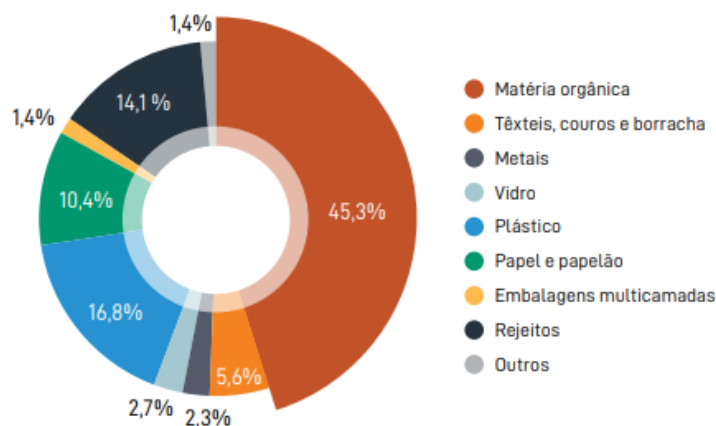
Pela NBR 10.004, os resíduos sólidos (RS) são por definição:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10.004, 1987, p.1).

Dentre as categorizações dos RS, há a classe de RSU, originários das atividades desenvolvidas nas aglomerações do município (ZANTA; FERREIRA, 2003), abrangendo os resíduos domiciliares, comerciais e de limpeza urbana. Tais resíduos representam um dos maiores desafios da sociedade contemporânea (LELEUX, KAAIJ, 2019; ABRELPE, 2021).

No cenário brasileiro, em 2020 gerou 0,987 kg/hab.dia de RSU, na qual sua composição gravimétrica está disposta na Figura 2, sendo os resíduos mais gerados os materiais orgânicos (45,3%), plásticos (16,8%), rejeitos (14,1%) e papel/papelão (10,4%) (ABRELPE, 2020).

Figura 2 – Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil em 2020



Fonte: ABRELPE (2020)

Já em 2022 foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de RSU no Brasil, com uma geração per capita de 1,043 kg/hab.dia, dos quais 61% coletados tiveram disposição final adequada (ABRELPE, 2022).

3.3.1 Resíduos plásticos

Os plásticos são polímeros sintéticos classificados como termoplásticos ou termorrígidos (SPINACÉ; PAOLI, 2005). Os termoplásticos (Quadro 2) podem ser derretidos ou reprocessados sem danificar ou alterar suas propriedades químicas e físicas, diferente dos polímeros termorrígidos (MANZANO, 2009), sendo exemplos deste último a resina de fenol-formaldeído (baquelite) e araldite (epóxi) (NUNES; LOPES, 2014).

Quadro 2 – Simbologia, identificação e aplicação de materiais plásticos termoplásticos

Símbolo	Resina termoplástica	Sigla	Aplicação
	Politereftalato de etileno	PET	Garrafas de bebidas, frascos para alimentos, frascos para produtos de higiene e limpeza pessoal.
	Polietileno de alta densidade	PEAD	Frascos para iogurtes e leites, frascos para produtos de limpeza, tampas de garrafas.
	Policloreto de vinila	PVC	Filmes esticáveis, embalagens rígidas para alimentos, blisters para medicamentos.
	Polietileno de baixa densidade	PEBD	Filme encolhível, embalagens flexíveis para leite, arroz, feijão, açúcar, grãos.
	Polipropileno	PP	Potes para margarina, sorvete, tampas em geral, rótulos (BOPP), copos descartáveis.
	Poliestireno	PS	Copos, pratos e talheres descartáveis, potes para iogurtes, bandejas para alimentos, embalagem para ovos
	Outras resinas	Outros (PC ¹ , PA ² , PMMA ³ , PUR ⁴ , ABS ⁵ , ASA ⁶ , SAN ⁷ , termoplásticos)	Embalagens multicamadas para biscoitos, salgadinhos, embalagens flexíveis coextrudadas

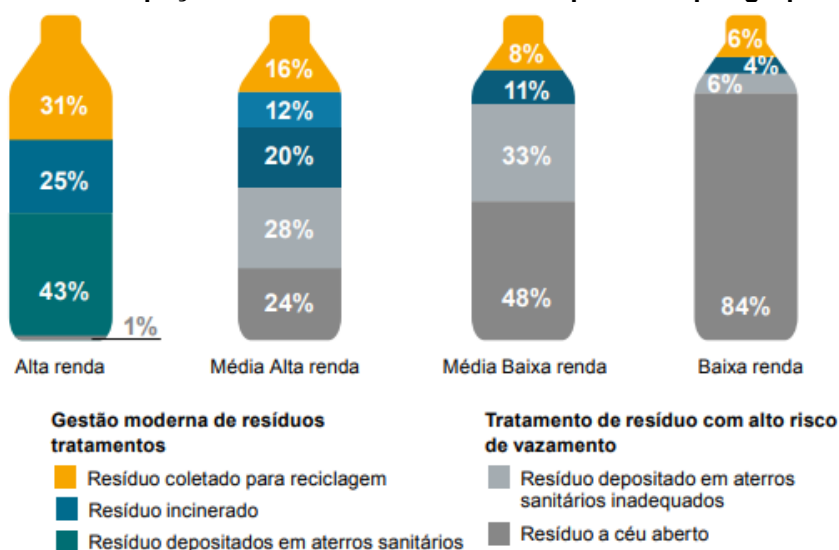
¹(PC) = Policarbonato; ²(PA) = Poliacrilato; ³(PMMA) = Polimetilmetacrilato; ⁴(PUR) = Poliuretano; ⁵(ABS) = Poli (estireno de acrilonitrilo e butadieno); ⁶(ASA) = Poli (Acrilonitrilo de estireno acrílico); ⁷(SAN) = Poli (estireno acrilonitrilo)

Fonte: Baseado em ABNT-NBR 13.230 (2008); Fraga (2014)

A produção de plásticos cresceu a partir da década de 1950 devido seu baixo custo, versatilidade e confiabilidade (WWF, 2018), podendo ser desenvolvidos para acomodar quaisquer tipos de uso (CHALEGRA, 2020).

Devido à estas características, os plásticos possuem diversos usos e aplicações na sociedade moderna, sendo quase inactível a sua substituição. Porém, tais características se tornam problemáticas quando descartados (ROY et al., 2011). Estima-se que dentre os plásticos produzidos, 42% são coletados e os 58% restantes viram um contaminante ambiental (UNIVERSITY OF LEEDS, 2023), na qual essa média pode variar de acordo com a rendas financeiras de cada local, conforme exemplificado na Figura 3.

Figura 3 - Participação no tratamento de resíduos plásticos por grupo de renda



Fonte: WWF (2019)

Em 2020, 13,35 milhões de toneladas de resíduos plásticos foram descartados no Brasil, nos quais cerca de 690 mil tiveram como destino os corpos hídricos (ABRELPE, 2020; ABRELPE, 2021), o que torna o descarte incorreto destes resíduos uma problemática ambiental, uma vez que quando degradados, se transformam em micropartículas poluentes, denominadas microplásticos.

3.4 Microplásticos

O termo “microplástico” foi sugerido inicialmente por Thompson et al. (2004), para definir as partículas de plásticos de tamanho reduzido. Em 2020, com a publicação da norma “*Plastics – Environmental Aspects – State of Knowledge and*

Methodologies” (ISO/TR 21.960:2020), ficou definido como microplástico qualquer partícula plástica sólida insolúvel em água com dimensões entre 1 µm e 1000 µm, determinando que os plásticos entre 1 mm a 5 mm são categorizados como “*large microplastic*”, ou em tradução livre, microplástico grande (MONTAGNER et al., 2021).

3.4.1 Microplásticos primários

Para Boucher e Friot (2017) há sete principais fontes de contaminação por microplásticos primários, sendo eles os i) *pellets*, ii) têxteis sintéticos, iii) marcações na estrada, iv) pneus, v) revestimentos marinhos, vi) produtos de higiene pessoal e cosméticos e vii) *city dust*, ou seja, da poeira urbana advinda do desprendimento de polímeros dos objetos sintéticos usados diariamente.

Em estudos no âmbito nacional, os microplásticos primários mais encontrados são as microesferas utilizadas em cosméticos, *pellets* oriundos da transformação dos polímeros e pelas fibras de roupas sintéticas (OLIVATTO et al., 2018).

Os produtos de cuidado e higiene pessoal, como os cosméticos, fragrâncias, compostos antimicrobianos, antioxidantes, cremes preservativos, inseticidas repelentes e os protetores solares (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017) possuem microplásticos em sua composição, representados principalmente por lipossolúveis com alto potencial de bioacumulação (RICHARDSON; KIMURA, 2016).

No Brasil, a PL 6.528/2016 está em discussão para a proibição da manipulação, fabricação, importação e comercialização, em todo o território nacional, de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumaria que contenham a adição intencional de microesferas de plástico (BRASIL, 2016). Na União Europeia, a Diretiva (UE) 2019/904, prevê a diminuição do impacto de certos produtos plásticos no meio ambiente (EUROPEAN UNION, 2019).

Quanto aos microplásticos em fibras, estes possuem origem na indústria têxtil na produção de tecidos sintéticos (OLIVATTO et al., 2018), onde o procedimento de lavagem de roupas libera as fibras plásticas, podendo contaminar corpos hídricos (BROWNE et al., 2011).

Já os microplásticos em forma de *pellets* são grânulos de plástico utilizados em indústrias de transformação, possuindo diversas formas, tamanhos e cores, podendo, também, ser feitas na forma de flocos e em pó (MANZANO, 2009).

3.4.2 Microplásticos secundários

Os microplásticos secundários são originados pela degradação dos plásticos maiores, que quando expostos a condições específicas, degradam-se em fragmentos cada vez menores, até atingir o tamanho dos microplásticos (MONTAGNER et al., 2021).

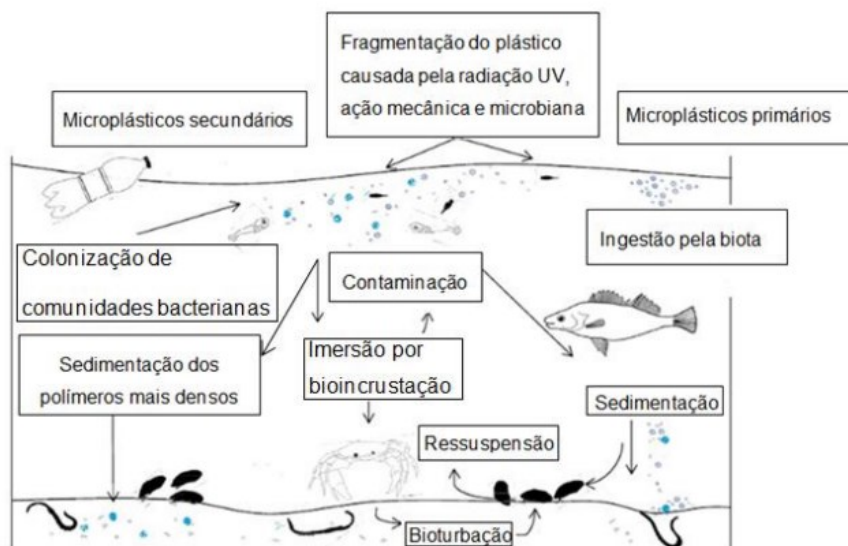
Este é um dos problemas relacionados ao despejo irregular de resíduos sólidos. A degradação destes plásticos, seja por biodegradação (ação por microrganismos), fotodegradação (incidência de radiação UV), degradação termal (influência da variação entre baixas e altas temperaturas), degradação termo-oxidativa (oxidação em temperaturas moderadas) e hidrólise (reação química com a água), acarreta na perda de sua massa molar, aumenta a molhabilidade e cristalização, bem como a formação de fissuras, gerando assim, os fragmentos de microplásticos (BROWNE et al., 2011; GESAMP, 2015; OLIVATTO, 2017; WALDMAN; RILLIG, 2020).

Martins, Rodrigues e Tavares (2023) ressaltam que, às vezes, há uma ideia errônea em pensar que somente polímeros termoplásticos podem se transformar em microplásticos, por conta de sua nomenclatura, sendo que na verdade, qualquer polímero sintético pode se degradar em partículas menores, se aplicando, portanto, às sacolas fabricadas a partir de plásticos oxi-biodegradáveis (OLIVATTO et al., 2018).

3.4.3 Microplásticos em matrizes ambientais aquáticas

Os corpos hídricos são considerados os principais receptores da poluição por microplásticos (Figura 5), uma vez que transportam grande parcela destes poluentes advindos do ambiente terrestre, que além de permanecer na água superficial, podem adentrar na cadeia trófica ou ser alocados no sedimento destes ambientes (OLIVATTO, 2017; QUEIROZ, 2022).

Figura 4 - Possíveis vias de transporte de microplásticos para o ambiente aquático e suas interações biológicas



Fonte: Olivatto (2017) adaptado de Wright et al. (2013)

Além disso, os microplásticos podem causar efeitos ecotoxicológicos em organismos aquáticos (MENDOZA; KARAPANAGIOTI; ÁLVAREZ, 2018), com a possibilidade de aderência de metais, poluentes orgânicos persistentes (POPs), compostos organoclorados (pesticidas e PCBs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PHAs), fármacos e drogas ilícitas (RANI-BORGES; POMPÊO, 2022).

Os microplásticos presentes em roupas e em cosméticos podem se acumular nas redes de esgoto doméstico, que se não eficientemente removidos, podem contaminar os corpos hídricos receptores, ou ainda, incorporar o lodo resultante do tratamento de esgoto (CHALEGRA, 2020). Além disso, há uma maior possibilidade da decomposição dos microplásticos expostos ao ambiente em nanoplásticos (tamanho entre 1 a 1.000 nm) ocasionando riscos ambientais elevados (LI; LIU; CHEN, 2018).

Em relação aos microplásticos presentes em água destinada ao consumo humano, Gouveia (2018) analisou os estudos realizados em oito países (Suécia, Estados Unidos, Escócia, Alemanha, Finlândia, Austrália, Holanda e Portugal), encontrando uma eficiência de remoção mínima de 68% (Portugal) e máxima de 99,9% (Suécia e Estados Unidos) nas estações de tratamento de água - ETA. Já foram registrados a presença de microplásticos em seres vivos, principalmente nos tratos digestórios e respiratórios, onde as vias de acesso ocorrem por inalação, digestão ou por contato com a pele (VETHAAK, LEGLER, 2021).

Os efeitos causados pela presença de microplásticos em organismos vivos podem ser separados em i) efeitos físicos e ii) efeitos químicos: o primeiro está

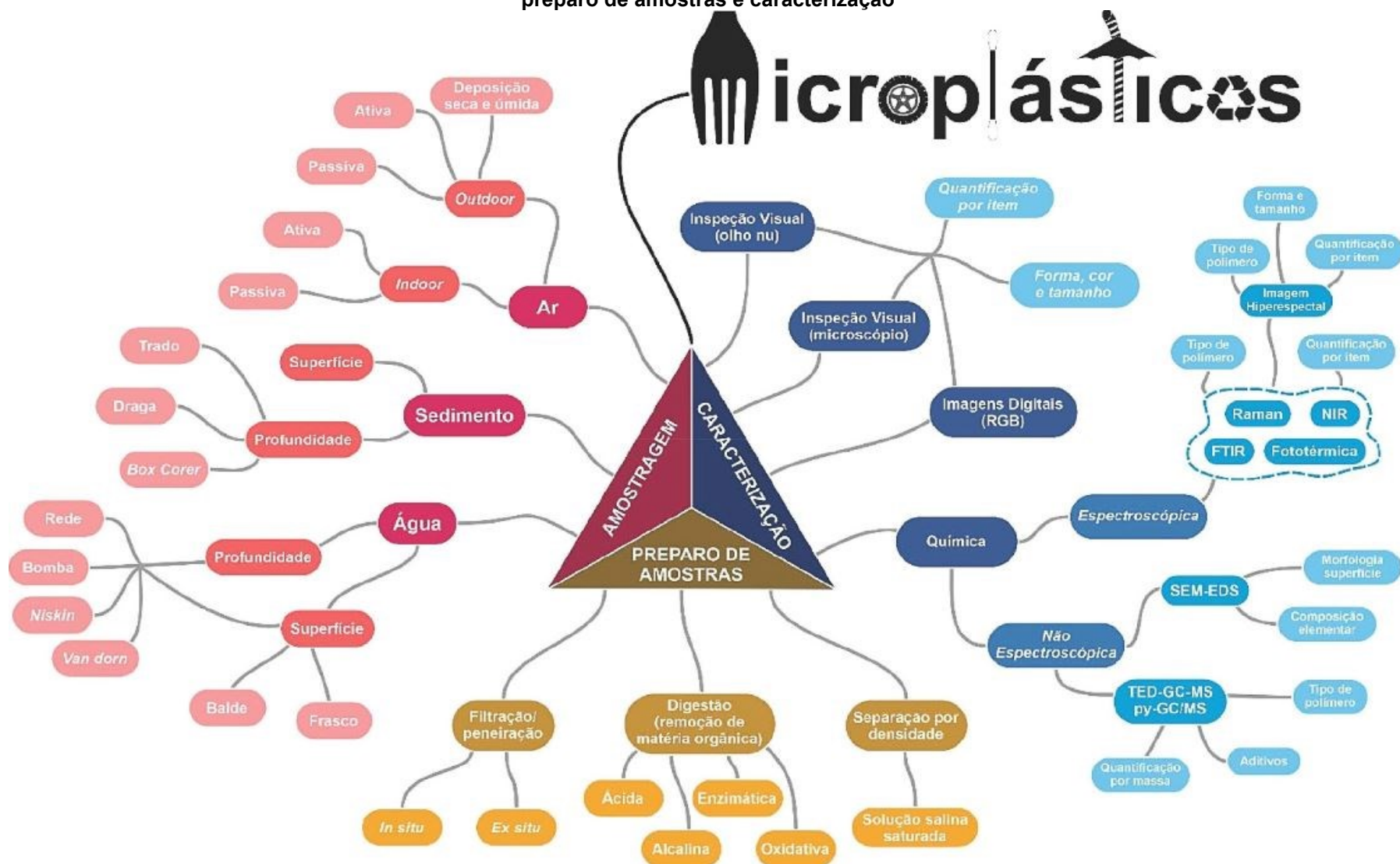
relacionado ao tamanho das partículas, forma e concentração, e o segundo está relacionado aos produtos químicos perigosos que estão associados aos microplásticos, como por exemplo, aditivos (responsáveis pelas qualidades plásticas como cor, transparência e resistência à degradação) e matérias-primas poliméricas (CAMPANALE et al., 2020). Quando ingeridos, cerca de 90% dos fragmentos de plásticos são excretados, mas os restos no intestino podem ocasionar a citotoxicidade, interferindo nos ciclos celulares e aumentando a reatividade das células imunes em reações inflamatórias (CAMPANALE et al., 2020).

3.4.4 Identificação de microplásticos em amostras de água

Embora haja guias para análises de microplásticos, como os desenvolvidos por Masura et al. (2015) pela organização *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA, e também o manual do *Joint Group of Experts on the Scientific of Marine Environmental Protection* – GESAMP, de 2019, ainda não existe uma metodologia padrão, uma vez que o processamento das amostras depende das suas características específicas, cabendo ao analista escolher a metodologia que melhor se enquadra em seus objetivos.

Montagner et al. (2021) esquematizaram as possibilidades de um método analítico para a investigação de microplásticos no ambiente, separando-os em tipo de amostra, processamento e caracterização (Figura 5).

Figura 5 - Panorama das possibilidades de um método analítico para a determinação de microplásticos no ambiente, considerando amostragem, preparo de amostras e caracterização

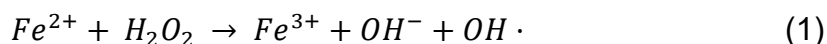


Fonte: Montagner et al. (2021)

Os métodos de preparo de amostras mais populares envolvem duas principais etapas: i) separação das partículas e ii) degradação da matéria orgânica. A separação pode ocorrer por diferentes materiais, como por peneiras granulométricas, rede de zooplâncton cônica, sistemas de filtração e separação por densidade; já a degradação da matéria orgânica consiste, predominantemente, na digestão por soluções ácidas ou alcalinas.

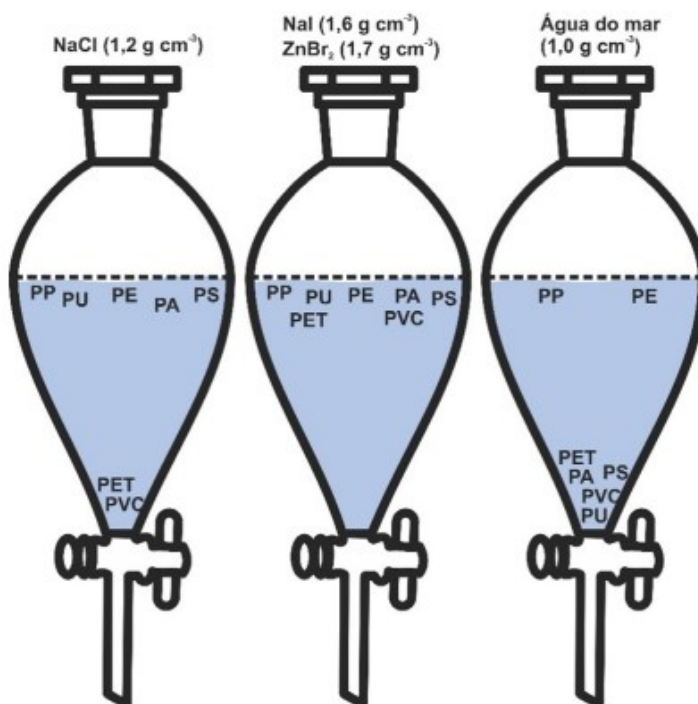
O peneiramento tem por objetivos a separação de materiais mais grosseiros e o isolamento do microplástico, sendo recomendável o uso de peneiras granulométricas entre 0,3 mm e 5,6 mm (MASURA et al., 2015). Em um estudo realizado no Igarapé do Mindu em Manaus, Souza (2020) separou os materiais retidos nas peneiras de 5,6 mm e 0,3 mm como microplásticos com diferentes dimensões, e na água residual da peneira de menor granulometria, como nanoplásticos.

A degradação da matéria orgânica, também chamada de tratamento oxidativo, realiza a digestão da matéria orgânica nas amostras de água, uma vez que estas podem interferir na identificação dos microplásticos. Um dos métodos utilizados é a oxidação com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que promove a digestão de uma forma mais branda, porém que se não controlada, pode interferir nas estruturas dos microplásticos (MONTAGNER et al., 2021). Outra metodologia amplamente utilizada na digestão, é a recomendada por Masura et al. (2015), conhecida como oxidação de peróxido úmido (WPO, do inglês *Wet Peroxide Oxidation*), na qual os detritos de plástico permanecem inalterados, caracterizada pela reação de fenton, com reação inicial descrita na Equação 1, que utiliza o H_2O_2 com um catalisador de ferro; porém sendo uma mistura altamente reativa.



A separação por densidade tem como propósito a separação dos materiais plásticos de outras partículas interferentes, como sedimentos, fragmentos metálicos ou vidro (BERTOLDI, 2022), realizada com a adição de soluções salinas às amostras, sendo o cloreto de sódio (NaCl) a solução mais utilizada. Montagner et al. (2021) exemplificaram as duas frações obtidas no sistema de separação por densidade, dependendo do tipo de solução salina (Figura 6).

Figura 6 - Separação por densidade contendo microplásticos de diferentes composições poliméricas utilizando as principais soluções salinas saturadas (NaCl, NaI, ZnBr₂) e água do mar



Siglas: PP = Polipropileno, PU = Poliuretano, PE = Polietileno, PA = Poliacrilato, PS = Poliestireno; PET = Polietileno tereftalato, PVC = Policloreto de polivinila

Fonte: Montagner et al. (2021)

É possível observar que quando utilizado o NaCl, os microplásticos ficam tanto no sobrenadante (PP, PU, PE, PA e PS) como decantado (PET e PV) e com a solução de iodeto de sódio (NaI) os microplásticos ficam todos como sobrenadantes; já a água do mar possui uma maior quantidade de decantados (PET, PU, PA, PS e PVC).

No Quadro 3 são apresentadas as principais metodologias utilizadas no estudo de contaminação por microplásticos nas matrizes ambientais, assim como os equipamentos utilizados na caracterização final.

Quadro 3 - Levantamento de metodologias para análise de microplásticos

Referência	Tipo de Amostra	Forma de Amostragem	Metodologia	Equipamento
Bertoldi, C.F. (2022)	Água superficial	Frascos de vidro	1. Peneiramento; 2. Tratamento oxidativo; 3. Separação por densidade.	1. Estereomicroscópio; 2. Espectrômetro FTIR.
Conceição, A.S. da. (2021)	Água superficial	Balde de alumínio	1. Filtração; 2. Secagem.	1. Microscópio óptico.
Gerolin, C.R. (2020)	Água superficial e sedimento	Balde metálico	1. Peneiramento; 2. Digestão da matéria orgânica.	1. Estereomicroscópio; 2. Software Zeiss Axiovision.
Masura, J. et al. (2015)	Água superficial	Rede coletora	1. Peneiramento; 2. Oxidação de peróxido úmido (WPO); 3. Separação por densidade.	1. Estereoscópio.
Moraes, N.G. de. (2022)	Água superficial	Balde de alumínio	1. Peneiramento; 2. Digestão da matéria orgânica	1. Estereomicroscópio; 2. Estereomicroscópio óptico acoplado à câmera; 3. Espectrômetro FTIR-ATR.
Silva, P.P.G. (2016)	Água e areia marinha	Balde de alumínio e pá	1. Flotação; 2. Filtração	1. Espectrômetro FTIR.
Teotônio, M.H.R. (2020)	Água de torneira	Frascos de vidro	1. Flotação.	1. Microscopia de fluorescência.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apesar do desenvolvimento de várias metodologias, ainda há dificuldades na determinação de microplásticos em matrizes ambientais. O tipo de metodologia a se seguir depende estritamente do tipo de amostra que vai ser coletada e os objetivos das análises posteriores; além de ser importante saber comparar os resultados, pois ainda não há um padrão de análise.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do município

O município de Londrina, no norte do Paraná, possui uma população estimada de 580.870 habitantes, distribuídos em uma área territorial de 1.652,569 km² (IBGE, 2021). Povoadada em 1935, a cidade teve sua expansão urbana nos anos de 1950 devido a produção cafeeira da região, seguida pela década de 1960 com a migração do campo para a cidade, e nos anos de 1980 apresentava áreas residenciais em praticamente todo seu território (LONDRINA, 2023).

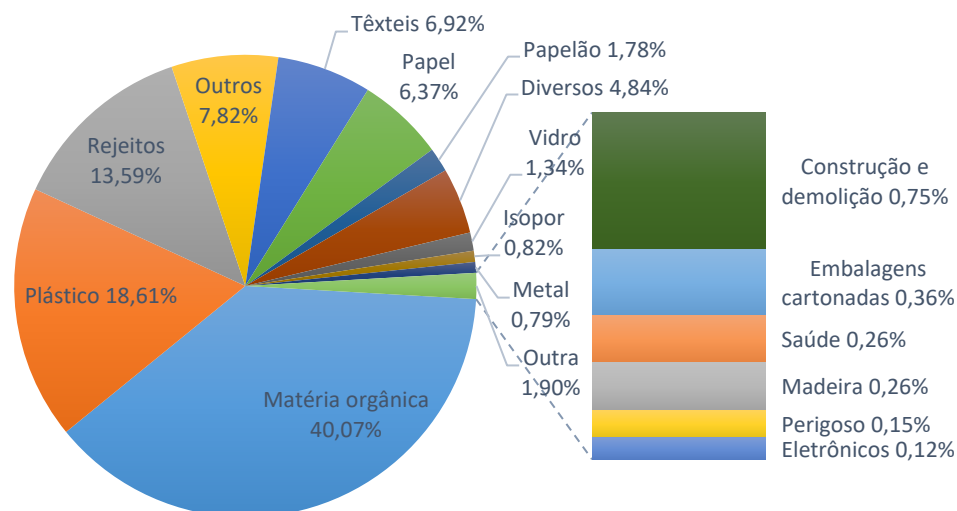
No último censo publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 2010, a região mais populosa do perímetro urbano era a zona norte (126.305 habitantes), seguida pela zona leste (94.407 habitantes), oeste (88.578 habitantes), centro (86.114 habitantes), e por último, a zona sul (84.308 habitantes) (IBGE, 2010).

Seu perímetro urbano está inserido em 5 bacias hidrográficas, sendo elas: Jacutinga, Lindóia, Cambé, Limoeiro, Cafezal e Três Bocas (SIGLON, 2021), ocupando 17% do território municipal, com uma área total de 245,52 km² e uma extensão de 240 km. A bacia ribeirão Cafezal é a maior, com 72 km de extensão e área de 67 km², seguido pela bacia ribeirão Lindóia, área de estudo deste trabalho, com 43 km de extensão e área de 58 km² (BARROS, 2008; LONDRINA, 2018).

Quanto à geração de RS, Londrina possui uma geração per capita de 0,67 kg/hab.dia de RSU, sendo 0,63 kg/hab.dia de resíduos orgânicos e rejeitos e 0,04 kg/hab.dia restantes de recicláveis (LONDRINA, 2021). Quanto a destinação final, a coleta seletiva de orgânicos atinge 97,4% dos domicílios da cidade, dos distritos e algumas vilas rurais; já a coleta seletiva de recicláveis, atende 100% da população urbana (LONDRINA, 2021).

Embora a alta taxa de coleta, Londrina conta com problemas quanto à aderência da população ao destino adequado dos resíduos gerados, como demonstra a Figura 7, com a composição gravimétrica destinada ao aterro sanitário do município.

Figura 7 - Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos encaminhados para aterro sanitário em Londrina no ano de 2021



Fonte: Baseado em Londrina (2021)

4.2 Caracterização da área em estudo

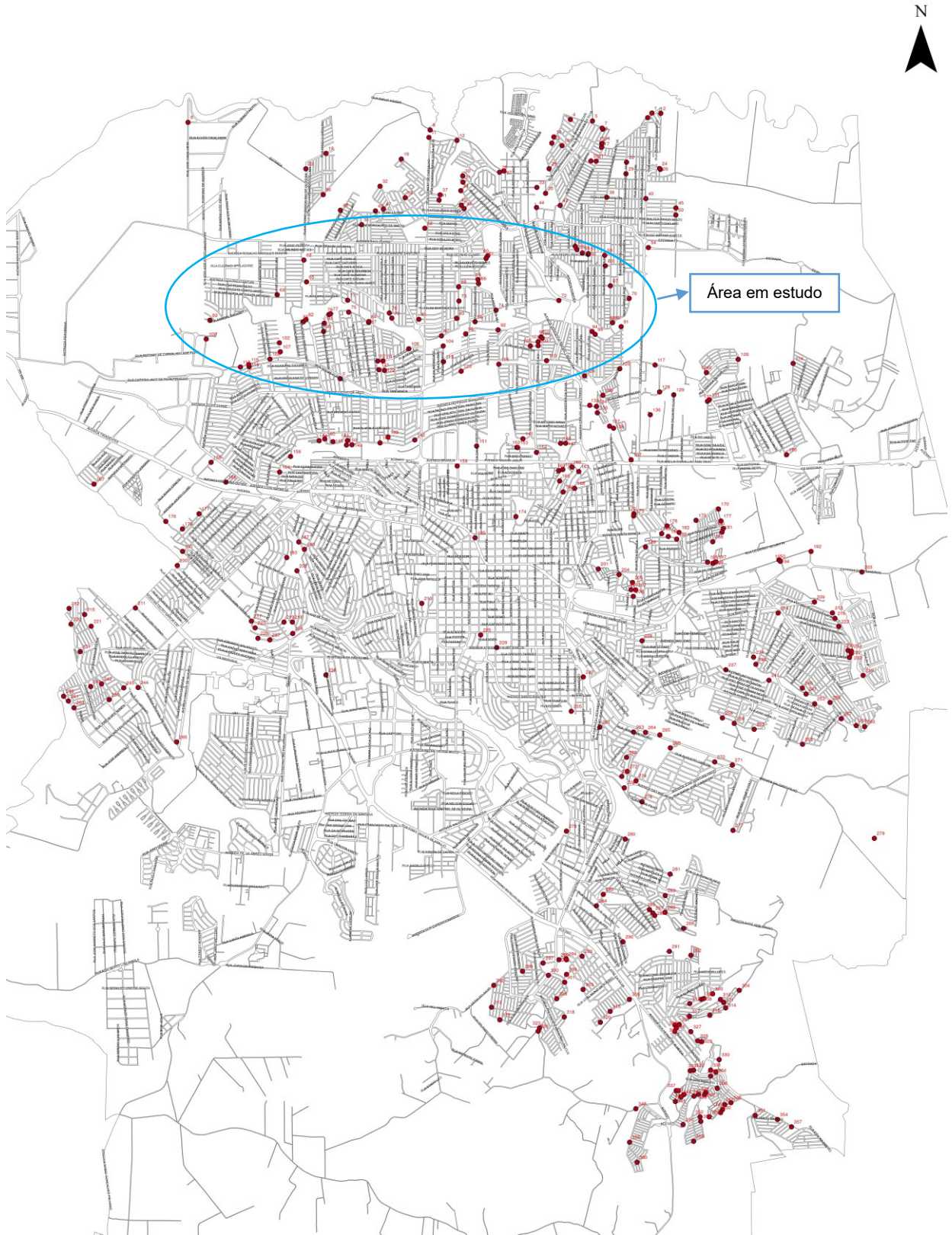
Como ambiente de análise deste estudo, escolheu-se o ribeirão Lindóia, devido sua localidade em área urbana na região mais populosa da cidade de Londrina, com o intuito de avaliar a influência do uso e ocupação do solo em sua água superficial, por meio de análises de parâmetros de qualidade (físico-químicos, microbiológicos e toxicológicos) e também, estabelecer as primeiras evidências da ocorrência de contaminação por microplásticos.

O ribeirão Lindóia é pertencente à bacia hidrográfica de mesmo nome, enquadrado como um corpo d'água classe III. Sua nascente fica na divisa entre Londrina e Cambé, próxima de áreas rurais. Ao longo de sua extensão o ribeirão percorre por diferentes bairros, onde antes de se unir com o ribeirão Quati, o ribeirão Lindóia recebe o despejo de efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da zona norte – ETE NORTE, que apresenta eficiência de tratamento de 78% (LIMBERGER; CORRÊA, 2005; BARROS, 2008; SNIRH, 2017).

Além disso, o ribeirão está localizado entre áreas de despejo irregular de resíduos sólidos, locais estes que foram mapeados em 2018, segundo levantamento feito pela Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina – CMTU (LONDRINA, 2021), determinando 367 pontos de descarte incorreto na cidade, conforme Figura 8.

Figura 8 - Arruamento do perímetro urbano de Londrina com pontos em vermelho indicando o descarte irregular de resíduos sólidos e em azul a área em estudo

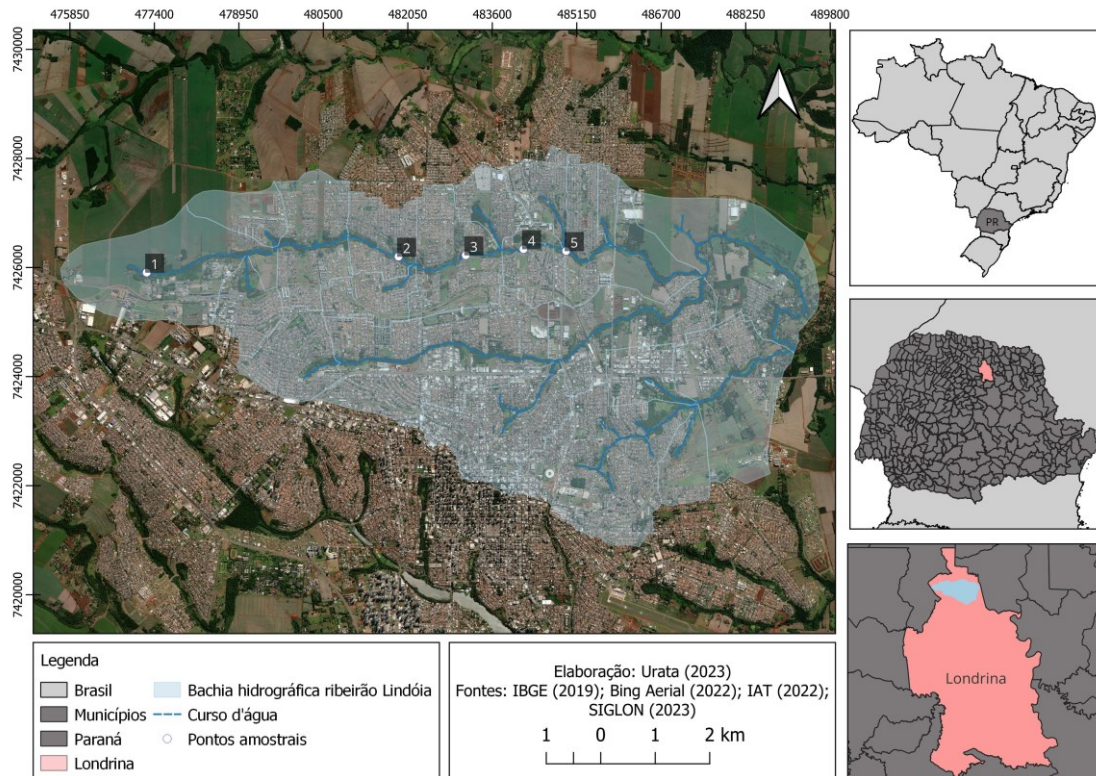
Mapa de Descarte Irregular



Fonte: Modificado de Londrina (2021)

Deste modo, foram determinados cinco pontos amostrais ao longo do ribeirão Lindóia (Figura 9), de acordo com a facilidade de acesso ao corpo hídrico.

Figura 9 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia e dos pontos amostrais



Fonte: Autoria própria (2023)

O primeiro ponto está inserido em uma propriedade privada de criação de gado, com áreas de pastagem e agricultura, a uma distância de quase 400 metros da nascente do ribeirão Lindóia - a nascente em questão, fica localizada em uma região muito íngreme e com mata fechada de difícil acesso, por isso não foi considerada como ponto de amostragem. Além do mais, este primeiro ponto foi considerado como um controle para os demais pontos, que estão totalmente inseridos em área urbana.

O segundo ponto está localizado em área predominante de residências domiciliares. O terceiro ponto fica atrás do Instituto Federal do Paraná - IFPR, próximo também do Autódromo Internacional Ayrton Senna e do Estádio do Café. O quarto ponto é representado pelo Lago Norte, projeto semelhante ao do Lago Igapó com 188.000 m² (LONDRINA, 2018) próximo ao Terminal Milton Gavetti. Por fim, o quinto e último ponto, está localizado na sobreposição pela Rodovia Carlos João Strass.

Os pontos amostrais estão em destaque na Figura 10, assim como as suas coordenadas geográficas.

Figura 10 - Pontos amostrais do ribeirão Lindóia e suas coordenadas geográficas



Fonte: Autoria própria (2023)

4.3 Coleta de água

As coletas de água foram realizadas em três campanhas, nos dias 2, 16 e 29 de maio de 2023, com amostragem realizada de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (ANA, 2011). As amostras de água foram coletadas, em duplicata, com auxílio de um coletor de braço retrátil de aço inoxidável e de um balde de alumínio higienizado (Figura 11). O ponto 5 foi determinado como ponto amostral a partir da segunda campanha, por isso não foi feito sua coleta na primeira campanha.

Figura 11 - Coleta de amostras de água no ribeirão Lindóia



Fonte: Autoria própria (2023)

As amostras coletadas foram transferidas para frascos de vidro âmbar limpos de 1 L destinados para a análise de microplásticos, frascos de vidro âmbar de 500 mL para a análise físico-química, e para frascos estéreis de 100 mL para a análise microbiológica e para o teste de toxicidade, sendo acondicionados em caixa térmica com gelo seco e transportados para os laboratórios de Saneamento e de Microbiologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina sendo armazenados em refrigeração até as respectivas análises.

Além disso, levou em consideração a ocorrência de eventos chuvosos nos 10 dias anteriores da análise, de acordo com os dados disponibilizados no aplicativo do IDR Clima, para avaliar a interferência da precipitação nos parâmetros analisados, uma vez que a chuva pode possuir grande influência na qualidade da água, potencializando a introdução de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos pelo escoamento superficial da água.

4.4 Mapas de uso e ocupação do solo

A fim de identificar as feições que mais geram impactos na área de estudo e sua possível relação com a qualidade da água, foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo. Para isto, foram utilizados os dados em formato matricial com pixel de 30x30m, disponibilizados pelo MapBiomas Brasil versão 7.1 (MAPBIOMAS, 2021).

O tratamento de dados foi realizado na plataforma do *Google Earth Engine* e no software QGis 3.28.5, com arquivos no formato tiff para as camadas de floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpo d'água na bacia hidrográfica ribeirão Lindóia no ano de 2021, nas quais estas classes foram subdivididas posteriormente para melhor acurácia dos resultados.

A classe temática de florestas foi reclassificada como formação florestal, correspondendo ao bioma da Mata Atlântica e representada por áreas de preservação permanente – APP.

A classe de agropecuária foi reclassificada em i) silvicultura, ii) pastagem, iii) mosaico de usos, que junta as feições em que não foram possíveis distinguir entre áreas de pastagem/agricultura e entre área de vegetação cultivada/vegetação natural florestal/vegetação não-florestal, iv) outras lavouras temporárias, correspondente aos cultivos agrícolas de curta ou média duração, v) outras lavouras perenes, cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), vi) café e vii) cana.

A área não vegetada foi subdividida em área urbanizada, caracterizada pela densidade significativa de edificações e vias de acesso e em outras áreas não vegetadas, que correspondem às áreas de superfícies não permeáveis não mapeadas em suas classes.

Por fim, na classe dos corpos d'água compreendia apenas os rios, lagos e oceanos, fazendo-se necessário a adição do percurso d'água do ribeirão em outra camada, pois o MapBiomas não considera os corpos hídricos de menores dimensões.

Foram calculadas as respectivas áreas e as taxas de ocupação das referidas classes de uso do solo na bacia hidrográfica ribeirão Lindóia. Posteriormente, seguindo a metodologia, com modificações, de Piacenza (2022), foi delimitado a microbacia ribeirão Lindóia, subdividido-a em seções amostrais de influência nos pontos amostrais de coleta de água, e a partir disso, foram recalculadas as áreas relativas do uso do solo no trecho de interesse.

Como complemento ao estudo do uso e ocupação do solo, foram levadas em consideração os bairros que compõem a microbacia ribeirão Lindóia, analisando sua população total residente, área, taxa de alfabetização e salário médio normal, disponibilizados pelo censo de 2010 do IBGE (IBGE, 2010) e organizados pela Prefeitura de Londrina em 2019 (LONDRINA, 2019), afim de compreender a dinâmica espacial.

4.5 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UTFPR em todas as campanhas e no laboratório do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE de Ibiporã na última campanha.

Na UTFPR foram realizadas as análises de turbidez, pH, cor aparente e CE nas três campanhas de coleta; no SAMAE foram realizadas as análises de cloretos, alumínio dissolvido, ferro dissolvido, demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Alguns destes parâmetros foram escolhidos por sua presença na Resolução CONAMA nº357/2005, e os monitorados nos estudos realizados pela CETESB. Os equipamentos utilizados são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Equipamentos das análises físico-químicas: (a) turbidímetro, (b) pHmetro, (c) condutivímetro, (d) incubadora BOD, (e), (f) espectrofotômetro, (g) extrator de DQO, (h) bandeja agitadora com frascos acoplados ao Oxítóp



Fonte: Autoria própria (2023)

4.5.1 Alumínio dissolvido

Para o preparo da análise, 50 mL da água coleta foi colocada em contato com um sachê do reagente *Eriochrome®Cyanine R (ECR) Reagent Powder Pillow* em um balão volumétrico. Após homogeneizada a solução, adicionou-se um sachê do reagente *Hexametilenotetramina* e feita a agitação novamente. Em seguida, 25 mL dessa amostra foi colocada em uma cubeta de vidro, que, após a adição de 2 gotas do reagente *ECR Masking Reagent Solution*, foi utilizada como padrão. Em outra cubeta de vidro, adicionou os 25 mL da amostra restante e feita a leitura no espectrofotômetro UV-VIS (Hach/DR2000) (Figura 12f) no comprimento de onda de 535 nm 15 minutos após o processamento, tempo necessário para a reação do ECR.

4.5.2 Cloreto total

Em uma cubeta de vidro, adicionou 25 mL da amostra e pipetou 2 mL de o reagente tiocianato de mercúrio II ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$), realizando a agitação, e logo em seguida, pipetou-se 1 mL de íon férrico (Fe^{3+}) e agitado novamente, seguindo para a leitura no espectrofotômetro UV-VIS (Figura 12f) no comprimento de onda de 455 nm. O mesmo processo foi realizado com a água destilada, utilizada como padrão.

4.5.3 Condutividade elétrica

A CE foi medida por meio de um condutivímetro de bancada (TECNOPON/MCA-150) (Figura 12c), posicionando o eletrodo e o termômetro na amostra em um béquer de 50 mL, até apresentar a estabilidade de leitura.

4.5.4 Cor aparente

A cor aparente foi medida por um espectrofotômetro (Hach/DR5000) (Figura 13e) no comprimento de onda de 400 nm. Para isto, a amostra de água foi colocada em uma cubeta de vidro limpa e posicionada no equipamento para a leitura. Como padrão, foi utilizada a água destilada.

4.5.5 Demanda bioquímica de oxigênio

A análise de DBO seguiu o sistema *Oxitop* (WTW/*OxiTop* - IS6) (Figura 13h). Primeiramente foram separadas 5 garrafas com barra magnética no fundo e transferidos um volume de 432 mL de cada amostra, e após, colocado um recipiente de borracha na abertura da garrafa, adicionando 2 pastilhas de hidróxido de sódio (NaOH). Em seguida foram encaixados o sistema *Oxitop*, ligados, zerados, e incubados sobre uma bandeja de agitação por 5 dias na BOD à 25°C (Figura 12d).

4.5.6 Demanda química de oxigênio

Primeiramente, o extrator de DQO (CIENLAB / CE-350/25) foi ligado e pré-aquecido a 150°C. Em seguida, determinou-se o alcance do reagente em que a amostra seria inserida, na qual a de baixo alcance é utilizada para concentrações de 0 a 150 mg/L, e a de alto alcance é utilizada para concentrações que podem variar de 0 a 1.500 mg/L. Para as amostras do ribeirão Lindóia adotou-se a de baixo alcance, por experiências anteriores dos operadores do SAMAE.

Após, 2 mL da amostra foi inserida no frasco, fechando-o e agitando para ocorrer a mistura do conteúdo. Depois da agitação, a amostra foi levada até o reator onde permaneceu por 2 horas na temperatura de 150°C. Após o tempo de processamento, com a amostra em temperatura ambiente, passou para a leitura no espectrofotômetro UV-VIS (Figura 12f) no comprimento de onda de 420 nm. A água destilada foi utilizada como padrão, seguindo o mesmo processo das amostras coletadas.

4.5.7 Ferro dissolvido

Um volume de 25 mL da amostra foi colocado em uma cubeta de vidro com um sachê do reagente *FerroVer*; após a agitação, realizou-se a leitura da concentração de ferro no espectrofotômetro UV-VIS (Figura 12f) no comprimento de onda de 510 nm, utilizando a água destilada como padrão.

4.5.8 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) foi medido utilizando-se um pHmetro de bancada (IonLab/PH-500B-I) (Figura 12b), posicionando o eletrodo e o termômetro na amostra separada em um béquer de 50 mL, até apresentar a estabilidade de leitura.

4.5.9 Turbidez

A turbidez foi determinada por meio de um turbidímetro de bancada (PoliControl/AP2000) (Figura 12a), pela transferência da amostra para uma cubeta de vidro que foi posicionada no equipamento para a leitura.

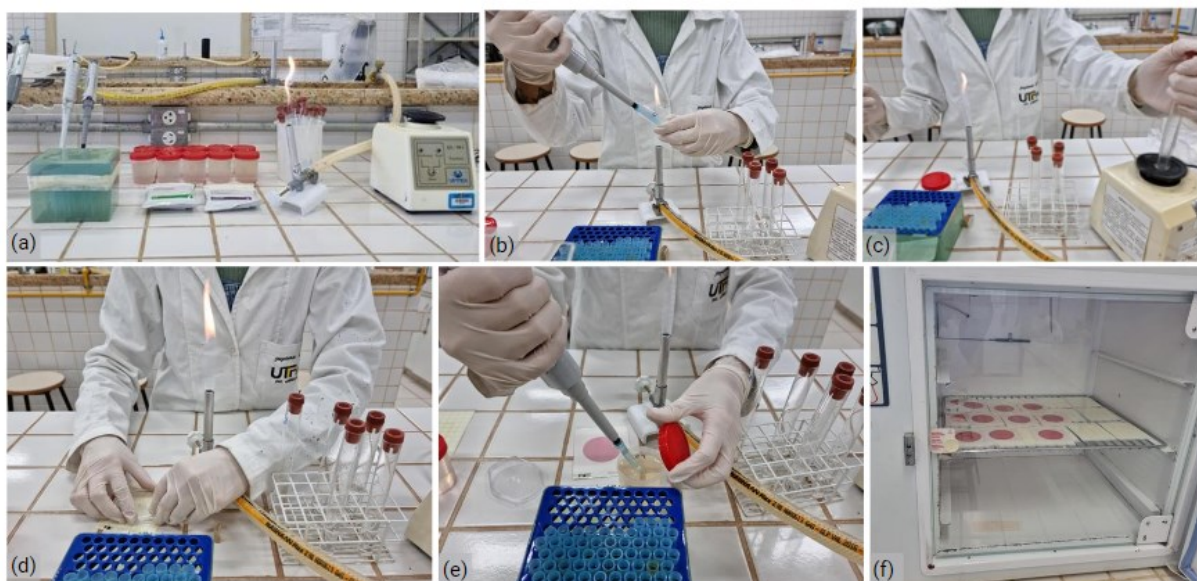
4.6 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da UTFPR, nas três campanhas de amostragem. Foram utilizadas placas 3M *Petrifilm EC* para contagem de *E.coli* e coliformes totais, e placas 3M *Petrifilm Aqua Heterotrophic Count* para a contagem de bactérias heterotróficas.

Para isto, em uma superfície plana e em zona estéril, foram inoculadas 1 mL das amostras homogeneizadas de água no centro das placas, abaixando o filme plástico e feita a distribuição do inóculo com um difusor antes do gel se formar. Após a solidificação do gel, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35°C, por um período de 24 horas para as placas de contagem de coliformes totais e *E.coli*, e por 48 horas para as placas de bactérias heterotróficas. Para a inoculação das bactérias heterotróficas foi realizada a diluição em 10⁻¹ da amostra de água, devido à sua alta concentração nos ambientes aquáticos.

O processamento das amostras pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13 - Análise microbiológica: (a) materiais e amostras, (b) preparo da amostra em diluição, (c) homogeneização da diluição, (d) distribuição do inóculo em placa 3M *Petrifilm Aqua Heterotrophic Count*, (e) inoculação em placa 3M *Petrifilm EC*, (f) incubação



Fonte: Autoria própria (2023)

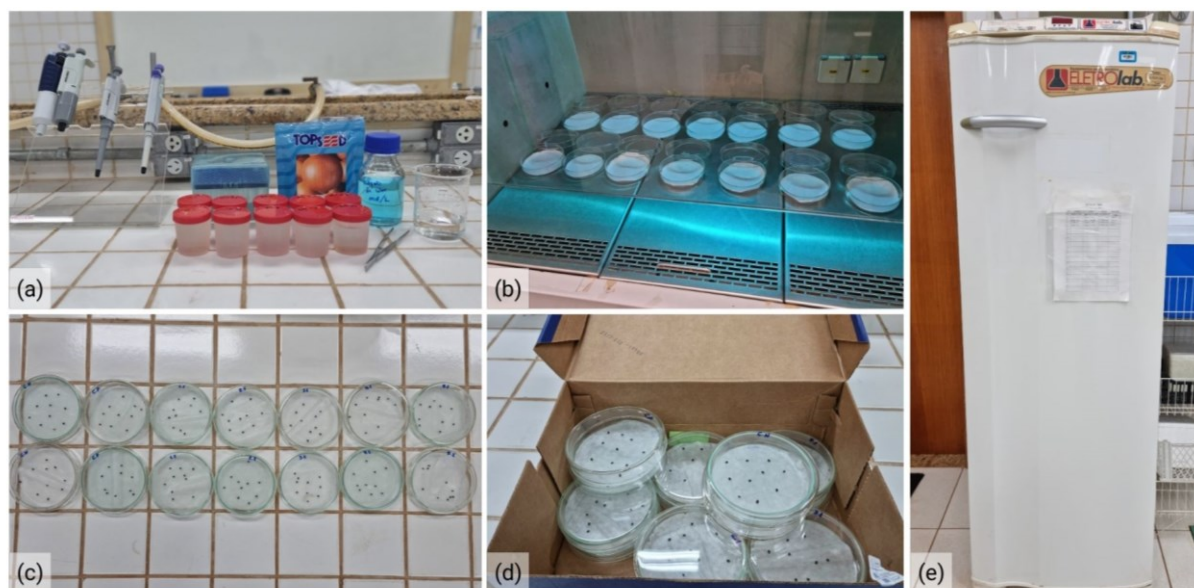
A confirmação da presença dos indicadores microbiológicos seguiu as instruções do fabricante, onde as colônias de coliformes totais e de bactérias heterotróficas produziram gás e apresentavam tons avermelhados, e as *E.coli* eram quaisquer colônias em azul (3M, 2021).

4.7 Análises toxicológicas

As análises toxicológicas foram realizadas por bioensaios com sementes de *A. cepa*, por metodologia desenvolvida em pré-testes, no Laboratório de Microbiologia da UTFPR na última campanha. Não foram concluídos os testes nas outras campanhas devido a problemas com as sementes.

Primeiramente, foram preparadas placas de Petri com papel filtro expostos à luz ultravioleta (UV) por 15 minutos em capela de fluxo laminar para esterilização (Figura 14b). As placas foram preparadas em duplicata para cada ponto amostral, para o controle positivo (sulfato de cobre (CuSO_4) à 0,1 mg/L) e negativo (água destilada), totalizando 14 placas. Após, foram distribuídas dez sementes de *A. cepa* e inoculados 2 mL das amostras da água coletada e seus respectivos controles (Figura 14c). Posteriormente, foram armazenadas em local sem incidência de luz (caixa de papelão, Figura 14d) e alocadas na incubadora BOD à 25°C (Figura 14e) para o crescimento das radículas, por 4 dias (96 horas).

Figura 14 - Teste de toxicidade com *Allium cepa*: (a) materiais e amostras, (b) placas de Petri em capela de fluxo laminar com luz UV, (c) sementes distribuídas nas placas, (d) armazenamento em caixa de papelão e (e) incubadora BOD



Fonte: Autoria própria (2023)

Passado o período de crescimento, as radículas foram submetidas a análise macroscópica, analisando os parâmetros de germinação e crescimento radicular. A medição do crescimento foi realizada utilizando paquímetro.

Destes resultados, aplicou-se as metodologias de Walter, Martínez, Cala (2006), González et al. (2011) e Young et al. (2012) para os cálculos dos índices macroscópicos de:

i) taxa de germinação das sementes (TG), pela equação 2,

$$TG (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas por amostra}}{n^{\circ} \text{ total de sementes por amostra}} \cdot 100 \quad (2)$$

ii) germinação relativa das sementes (GRS), equação 3:

$$GRS (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas por amostra}}{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas no controle negativo}} \cdot 100 \quad (3)$$

iii) índice de crescimento relativo (ICR), pela equação 4, na qual os resultados foram classificados quanto aos possíveis efeitos de crescimento das radículas, de acordo com os valores propostos no Quadro 4.

$$ICR = \frac{\text{comprimento médio da radícula por amostra}}{\text{comprimento médio da radícula no controle negativo}} \quad (4)$$

Quadro 4 - Efeitos no crescimento das radículas

ICR ¹	Classificação
0 a 0,8	Inibição no alongamento
0,8 ou a 1,2	Sem efeito significativo
> 1,2	Estimulação no alongamento

¹(ICR) = Índice de Crescimento Relativo

Fonte: Young et al. (2012)

iv) índice de germinação (IG), pela equação 5:

$$IG (\%) = \left(\frac{GRS \times ICR}{100} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

v) índice de porcentagem de germinação residual normalizado (IGN), pela equação 6, na qual “Germ x” é a porcentagem média de sementes germinadas em cada amostra, e “Germ controle” a porcentagem média de sementes germinadas no controle negativo.

$$IGN (\%) = \frac{Germ\ x - Germ\ controle}{Germ\ controle} \quad (6)$$

vi) índice de porcentagem de alongamento radical residual normalizado (IER) pela equação de 7, sendo “Along x” o comprimento médio da radícula das sementes germinadas em cada amostra, e “Along controle” o comprimento médio da radícula das sementes germinadas no controle negativo.

$$IER (\%) = \frac{Along\ x - Along\ controle}{Along\ controle} \quad (7)$$

Com os índices de IGN e IER, obteve-se os níveis de toxicidade em diferentes categorias, com os valores representados no Quadro 5.

Quadro 5 - Níveis toxicológicos dos bioensaios

IGN ¹ (%) e IER ² (%)	Nível de toxicidade
>0	Hormese
0 a -0,25	Toxicidade baixa
-0,25 a -0,5	Toxicidade moderada
-0,5 a -0,75	Toxicidade alta
-0,75 a -1,0	Toxicidade muito alta

¹(IGN) = Índice de Germinação Residual Normalizado; ²(IER) = Índice de Alongamento Radial Residual Normalizado.

Fonte: Walter, Martínez, Cala (2006); González et al. (2011)

Na qual a “hormese” significa baixas concentrações do contaminante, não podendo ser prejudicial aos organismos testes, indicando uma estimulação do crescimento das sementes (WALTER, MARTÍNEZ, CALA, 2006; GONZÁLEZ et al., 2011).

4.8 Análises estatísticas

Os resultados das análises de qualidade da água foram submetidos à análise estatística para conferição de sua distribuição normal, correlação entre os parâmetros e verificar se houve diferenças significativas entre as campanhas de coleta, realizada pelo programa estatístico Jamovi 2.3.26.

Para a análise de normalidade, utilizou o teste de Shapiro-Wilk; a correlação com a Matriz de Correlações pelo Coeficiente de Pearson e a diferença estatística pelo teste T de *Student*, todos com grau de confiança de 95% (nível de significância α de 5%).

No teste de Shapiro-Wilk e T de *Student* foram consideradas como distribuição normal e estatisticamente semelhantes todas as amostras que obtiveram o $p\text{-valor} > 0,05$.

Já na Matriz de Correlação, foram determinados correlacionados todos os parâmetros com $p\text{-valor} < 0,05$, e a partir do coeficiente R de Pearson (que varia de -1 a 1), os parâmetros próximos de -1 foram classificadas com correlação significativa negativa (inversamente proporcionais), as próximas de 1 com correlação significativa positiva (diretamente proporcionais) e as próximas de 0 como sem correlação significativa.

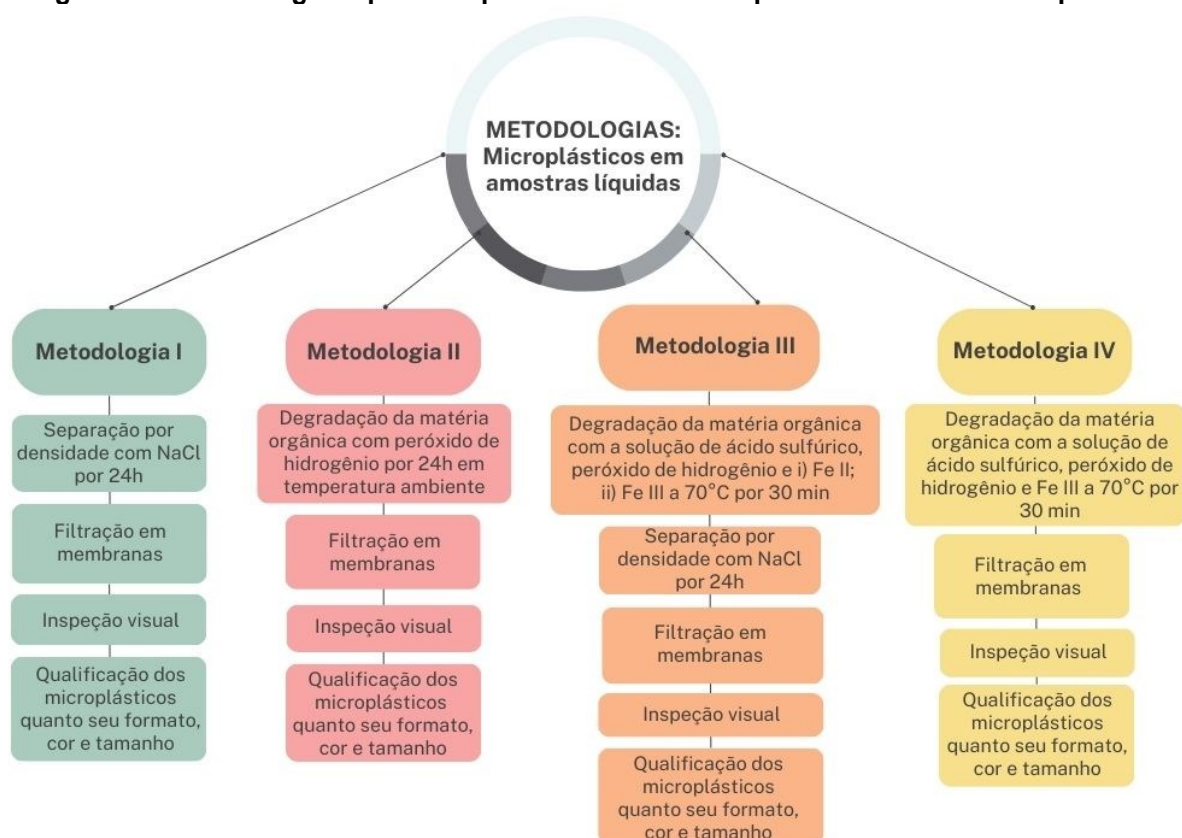
Além disso, quando julgado necessário para melhor compreensão, os resultados foram analisados por sua média e desvio padrão em gráficos *Box plot*.

4.9 Análise de microplásticos

Durante o tratamento das amostras, evitou-se o contato das amostras com materiais plásticos, deixando também, as amostras fechadas para evitar deposição de partículas presentes no ar. O local de processamento era higienizado com álcool 70% e usou-se somente materiais previamente higienizados. Além disso, também foi realizada a filtração da água destilada como controle.

Deste modo, o processamento das amostras ocorreu no Laboratório de Saneamento da UTFPR, nas três campanhas de coleta, com a aplicação de quatro metodologias diferentes (Figura 15), de modo a analisar as vantagens e desvantagens de cada uma.

Figura 15 - Metodologias aplicadas para análise de microplásticos em amostra líquida



Fonte: Autoria própria (2023)

4.9.1 Metodologia I

Esta metodologia seguiu a recomendação de Rani-Borges, Queiroz e Pompêo (2022). Como previamente as amostras não obtiveram turbidez muito alta e a matéria orgânica não era visível, foi realizada as etapas de separação por densidade e filtração.

O frasco contendo a amostra foi agitado vigorosamente de modo que a água estivesse bem homogeneizada, sendo posteriormente, retirados 250 mL da amostra e transferido para um béquer de 1.000 mL, posicionado sobre um agitador magnético com aquecimento (Matoli/100M042).

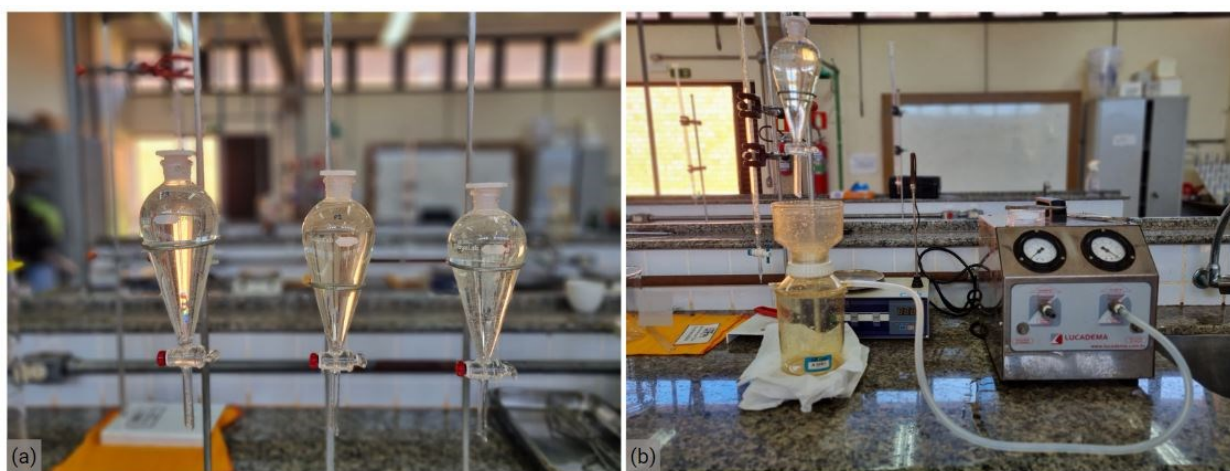
Adicionou, em seguida, 75 gramas de NaCl (AlphaTec ®) - recomendação de 6 gramas de NaCl a cada 20 mL de amostra (Masura et al., 2015), e deixada em agitação até que o sal fosse bem diluído na amostra. Feita a homogeneização, a amostra foi transferida para um funil de separação de vidro tampado e deixado em repouso por 24 horas, para a flotação dos microplásticos (Figura 16a).

Depois do tempo da separação por densidade, a amostra passou pelo sistema de filtração acoplado a uma bomba de vácuo (Figura 16b), utilizando dois tipos de

membrana: i) membrana de fibra de vidro da FilterPro tipo GF/C 47 mm x 1,2 μm e ii) membrana lisa de acetato da Unifil tipo NC 47 mm x 0,45 μm .

O funil de vidro foi lavado com aproximadamente 500 mL de água destilada após a filtração de toda a amostra, para garantir que não houvesse perda de microplásticos aderidos em sua superfície. As membranas foram guardadas sob uma lâmina de vidro em placas de Petri de vidro e deixadas secando em temperatura ambiente.

Figura 16 - Metodologia I de análise de microplásticos: (a) sistema de separação por densidade, (b) sistema de filtração acoplado à bomba de vácuo

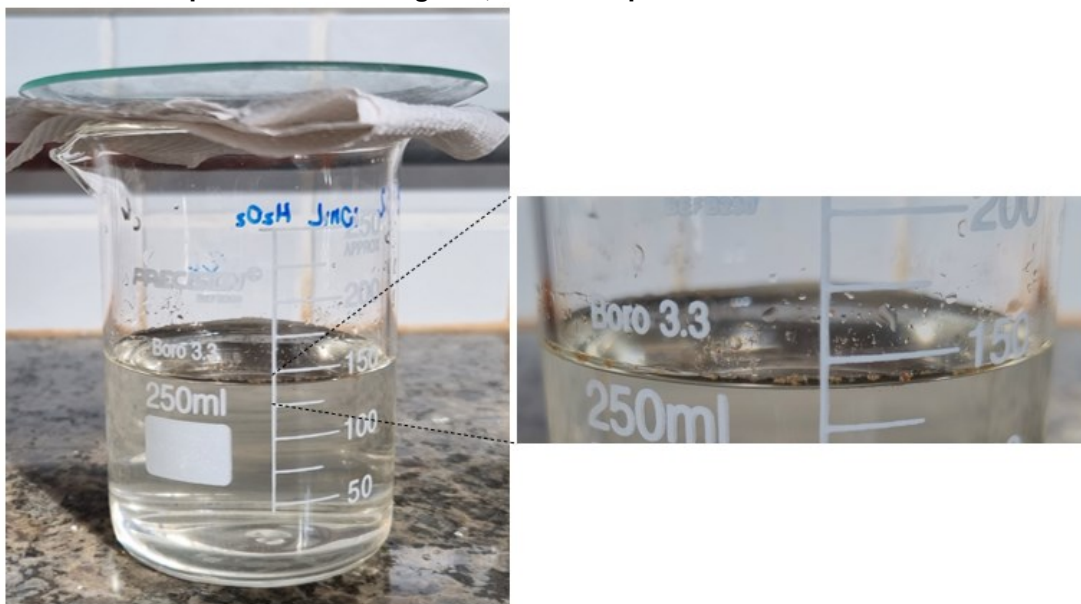


Fonte: Autoria própria (2023)

4.9.2 Metodologia II

O uso de uma segunda metodologia se deu pela necessidade da remoção da matéria orgânica das amostras, que embora não visíveis em um primeiro momento, interferiram na caracterização dos microplásticos na metodologia I. A metodologia II foi, portanto, baseada na degradação da matéria orgânica do estudo de Chalegra (2020), com modificações. Foram adicionados 20 mL da solução de H_2O_2 a 30% em 100 mL de amostra, deixando em repouso por 24 horas (Figura 17). Após, a amostra passou diretamente para a etapa de filtração e acondicionamento conforme metodologia anterior.

Figura 17 - Metodologia II de análise de microplásticos: digestão da matéria orgânica por peróxido de hidrogênio, com enfoque no sobrenadante



Fonte: Autoria própria (2023)

4.9.3 Metodologia III

A metodologia II não foi eficaz na degradação da matéria orgânica das amostras, por isso, a metodologia III foi aplicada. Desta vez, a digestão foi realizada com H_2O_2 a 30% e catalisador férrico, de acordo com o manual desenvolvido por Masura et al. (2015), com modificações. Foram testando dois reagentes a 0,05 M: (a) cloreto de ferro II (FeCl_2) e (b) sulfato férrico III ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Para a preparação da solução de Ferro II a 0,05M, foram diluídos 7,5 g de cloreto de ferro II (Dinâmica Química Contemporânea LDTA) em 500 mL de água destilada e posteriormente, adicionados 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (Química Moderna). Para a solução de Ferro III foram diluídos 10 g de sulfato férrico III (Vetec) em 500 mL de água destilada, adicionando também 3 mL de H_2SO_4 . Esta diluição foi calculada a partir da equação 8, onde já era sabido o valor de mol/L (0,05 M), o peso molecular (PM) de cada reagente vide rótulo e o volume de água destilada (500 mL).

$$\text{Mol/L} = \frac{\text{massa [g]}}{\text{PM [g/mol]} \cdot \text{Volume [L]}} \quad (8)$$

Posteriormente, foram adicionados 20 mL das soluções de Ferro II e 20 mL de H_2O_2 a 30% e deixados em repouso até diminuir a formação de gases. Em seguida, a solução ficou sob agitação à temperatura controlada de 70°C durante 30 minutos (Figura 18a). Se ainda observada matéria orgânica, foram acrescentados mais 20 mL de H_2O_2 a 30%; o mesmo processo foi realizado com a solução de Ferro III. Passado

o tempo, a amostra seguiu para a fase de separação por densidade (Figura 18b,c), filtração e armazenamento descritos anteriormente.

Figura 18 - Metodologia III de análise de microplásticos: (a) controle da temperatura, (b) amostra com solução Fe II, H₂O₂ 30% e NaCl, (c) amostra com solução Fe III, H₂O₂ 30% e NaCl



Fonte: Autoria própria (2023)

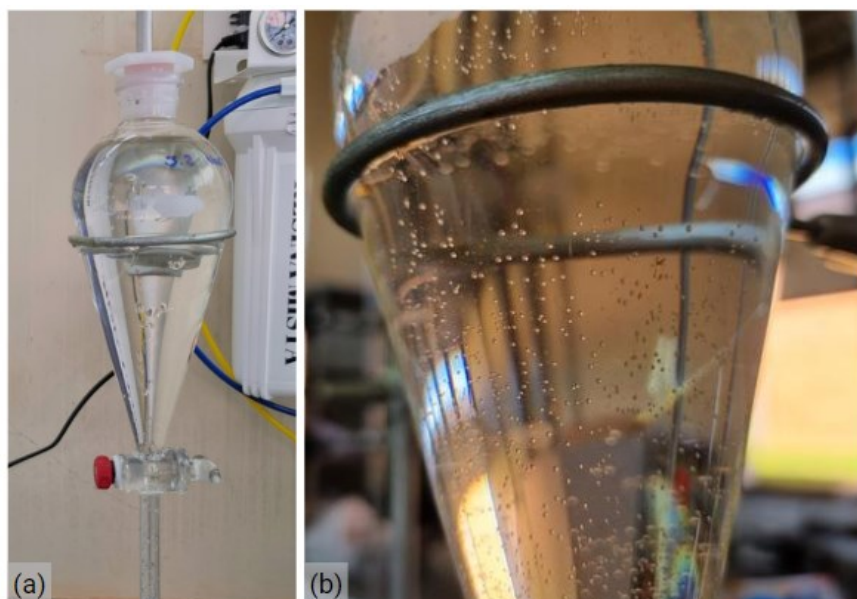
4.9.4 Metodologia IV

O desenvolvimento da Metodologia IV ocorreu, pois, a solução de Ferro II e a mistura da solução de Ferro III com o NaCl provocou uma coloração amarelada nas amostras, o que dificultou a caracterização visual dos microplásticos.

A metodologia III ainda é baseada no protocolo de Masura et al. (2015), utilizando apenas a solução de Ferro III, porém, sem a realização da separação por densidade. Esta metodologia também foi utilizada por Moraes (2022), na qual a autora explica que por conta do pequeno volume amostrado optou por não empregar esta etapa no estudo.

Seguiu-se o mesmo procedimento da metodologia III para a degradação da matéria orgânica (Figura 19) e passou para a filtração e armazenamento descritos nas metodologias anteriores. A amostra foi armazenada no funil, embora não realizada a etapa de separação por densidade, por conta de ser um recipiente fechado que diminuiu as chances de contaminação do ar exterior.

Figura 19 - Metodologia IV de análise de microplásticos: (a) amostra com solução Fe III e H₂O₂ 30%; (b) enfoque na coloração final

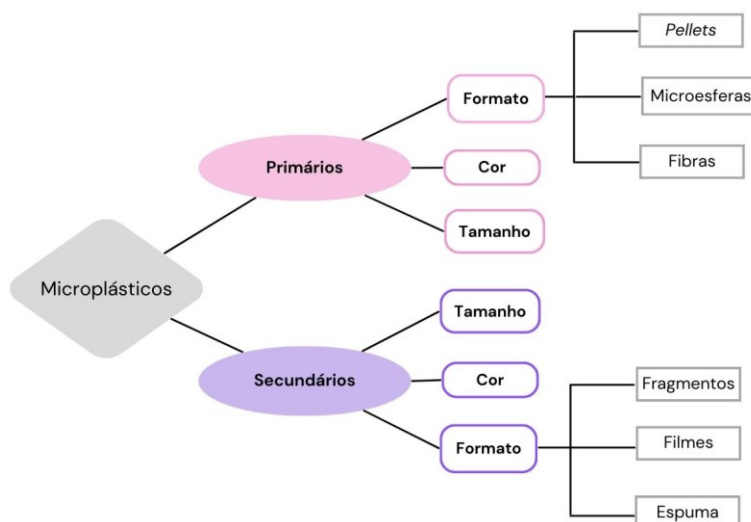


Fonte: Autoria própria (2023)

4.9.5 Caracterização dos microplásticos

As características na identificação dos microplásticos incluíram a sua forma, presença de brilho superficial e/ou cores artificiais e vívidas (MORAES, 2022); já as partículas não plásticas foram diferenciadas pela aparência opaca e sem brilho e com aspecto mais poroso, além da aferição de exoesqueleto ou resto de material orgânico não degradado. Os microplásticos identificados foram classificados conforme metodologia proposta por Moraes (2022), esquematizado na Figura 20.

Figura 20 - Esquema utilizado para a categorização dos microplásticos



Fonte: Baseado em Moraes (2022)

A inspeção visual ocorreu por meio de microscópio óptico com filtro azul (Figura 21a) nos aumentos progressivos de 40 a 200 x e de um estereoscópio (Figura 21b) nos aumentos de 20 e 40 x. As melhores membranas foram selecionadas para análise em microscópio óptico acoplado à câmera digital do departamento de Engenharia de Materiais da UTFPR, campus Londrina, para a obtenção de fotos em melhor qualidade e determinação de seu tamanho em escala.

Figura 21 - Equipamentos na caracterização visual: (a) microscópio óptico, (b) estereoscópio



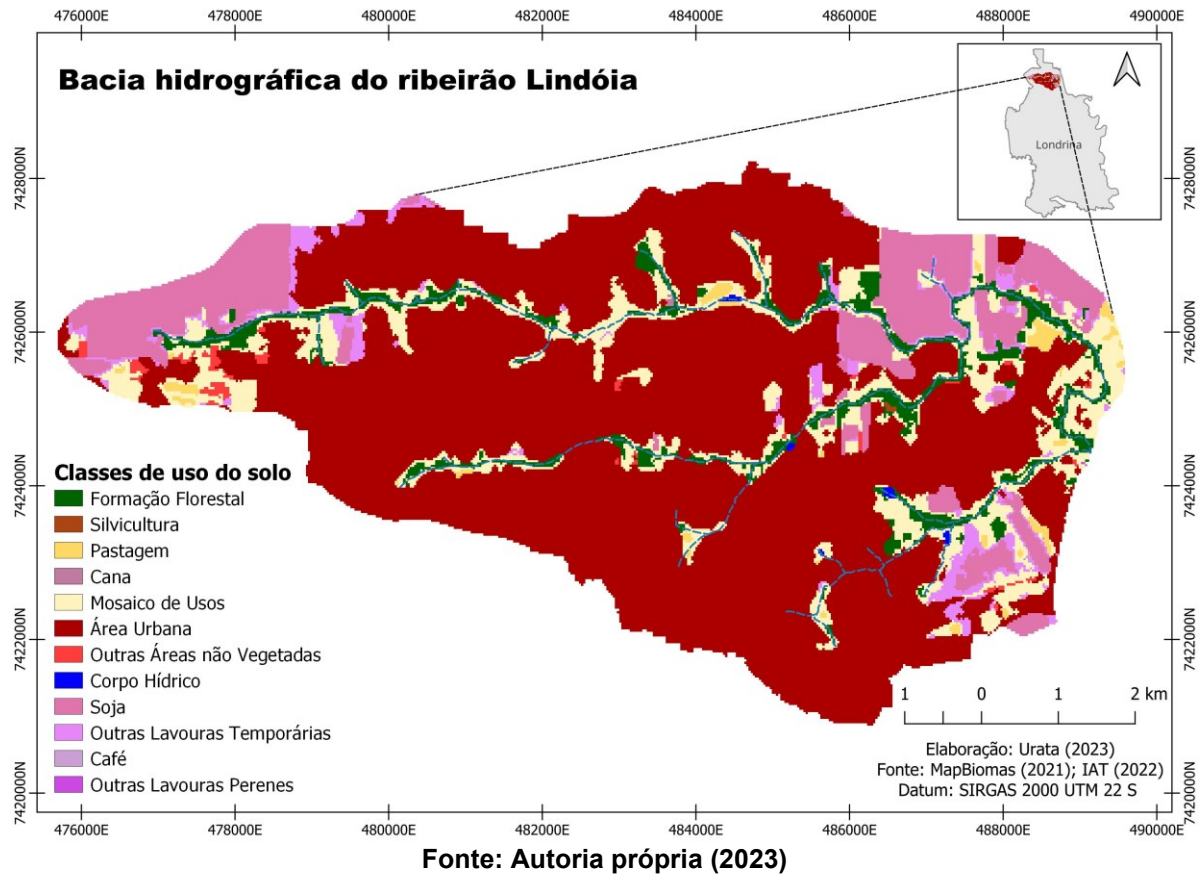
Fonte: Autoria própria (2023)

5 RESULTADOS

5.1 Uso e ocupação do solo

O mapa temático do uso e ocupação da bacia hidrográfica ribeirão Lindóia está disposto na Figura 22.

Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia em 2021



Observa-se que a bacia é ocupada principalmente por zonas urbanas, com algumas áreas agrícolas espalhadas em menores concentrações. Também ficou visível a confusão no processamento dos dados pelo MapBiomias quanto à classe de agricultura e formação florestal, já que na realidade, o entorno do corpo d'água é composto por áreas de APP. Além disso, também se notou a ausência da classificação de arborização nas áreas urbanas, diminuindo a porcentagem final de vegetação.

Para Capanema, Sanches e Escada (2019) as áreas de formação florestal do MapBiomias são áreas superestimadas, no qual o processamento de dados considera apenas o padrão espectral, desconsiderando o contexto dessas áreas. Os autores citados explicam que a classe de mosaico de usos pode gerar uma maior confusão com as áreas de formação florestal pela semelhança entre as áreas de agricultura

familiar, pastagem e vilarejos com as áreas de vegetação secundária (CAPANEMA; SANCHES; ESCADA, 2019).

Portanto, estas confusões ocorrem devido à automatização no processamento e tratamento de dados do MapBiomas, gerando algumas inconsistências nos dados (REIS et al., 2022). Embora a ocorrência destes erros de tratamento levantados, o resultado total satisfaz a intenção do estudo neste trabalho.

Os valores das áreas ocupadas, em hectares (ha), e suas respectivas taxas de ocupação podem ser conferidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do uso do solo na bacia hidrográfica ribeirão Lindóia e suas respectivas porcentagens de ocupação em 2021

Classe	Área (ha)	Área (%)
Área Urbana	3.912,19	67,45
Mosaico de Usos	695,59	11,99
Soja	630,78	10,88
Formação Florestal	299,70	5,17
Outras Lavouras Temporárias	166,88	2,88
Pastagem	51,51	0,89
Outras Áreas Não Vegetadas	33,00	0,57
Corpo Hídrico	6,58	0,11
Silvicultura	1,32	0,02
Cana	1,15	0,02
Café	0,91	0,02
Outras Lavouras Perenes	0,25	0,00
Total	5.800	100

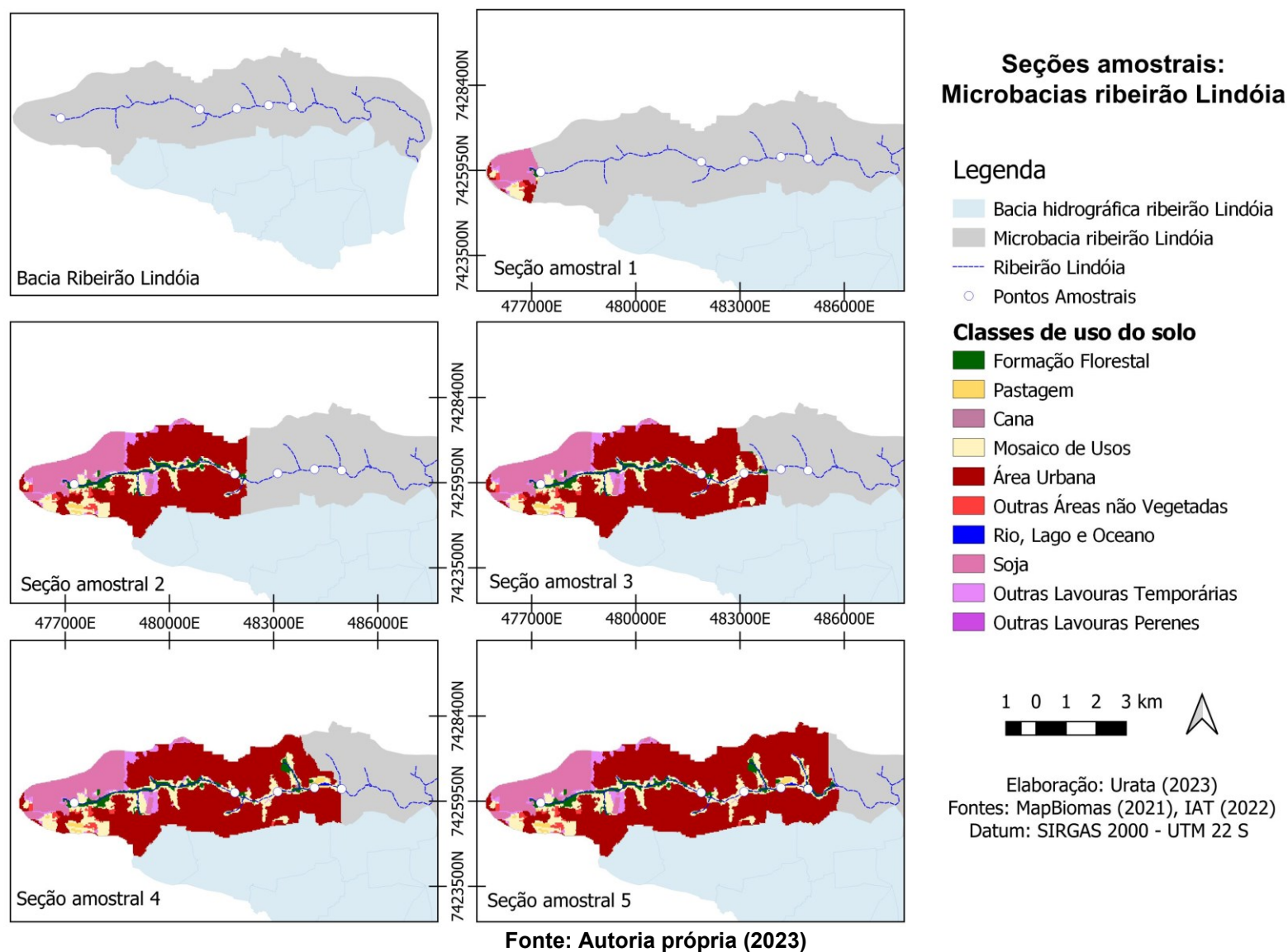
Fonte: Autoria própria (2023)

A área urbana ocupa mais da metade da bacia (67,45%), seguido pelo mosaico de usos (12%) e plantação de soja (10,88%). As classes de silvicultura, cana, café e outras lavouras perenes são minorias, totalizando apenas 0,06% de ocupação.

5.1.1 Seções amostrais

Para estudo da pressão das atividades antropogênicas na qualidade da água, a bacia ribeirão Lindóia foi delimitada em uma microbacia composta por 5 seções amostrais de influência nos pontos amostrais, com resultados apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Mapa de uso e ocupação do solo das cinco seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia em 2021



A cada seção, vai se acumulando as áreas de influências dos pontos anteriores, sendo a seção amostral 5 caracterizada pela afluência de todas as outras seções amostrais. Quanto aos valores absolutos de área e taxa de ocupação, na Tabela 2 estão dispostos os resultados.

Tabela 2 - Classificação do uso do solo nas seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia e suas respectivas porcentagens de ocupação

Classe	Seção amostral 1		Seção amostral 2		Seção amostral 3		Seção amostral 4		Seção amostral 5	
	Área (ha)	Ocupação (%)	Área (ha)	Ocupação (%)	Área (ha)	Ocupação (%)	Área (ha)	Ocupação (%)	Área (ha)	Ocupação (%)
Área Urbana	22,30	13,70	782,79	57,58	1.022,59	61,77	1.234,18	64,38	1.500,01	67,66
Soja	98,34	60,42	257,42	18,94	257,42	15,55	257,42	13,43	257,42	11,61
Mosaico de Usos	21,07	12,94	163,19	12,00	210,75	12,73	237,50	12,39	258,40	11,65
Outras Lavouras Temporárias	10,37	6,37	61,97	4,56	62,96	3,80	62,96	3,28	64,11	2,89
Outras Áreas Não Vegetadas	6,09	3,74	21,56	1,59	22,71	1,37	22,71	1,18	23,12	1,04
Formação Florestal	3,29	2,02	63,61	4,68	69,05	4,17	82,05	4,28	93,41	4,21
Pastagem	1,32	0,81	8,89	0,65	8,97	0,54	17,12	0,89	17,61	0,79
Corpo Hídrico	-	-	-	-	-	-	1,89	0,10	1,89	0,09
Cana	-	-	-	-	0,91	0,05	1,15	0,06	1,15	0,05
Total	162,78	100	1.359,43	100	1.655,36	100	1.916,98	100	2.217,13	100

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao contrário da totalidade da bacia hidrográfica ribeirão Lindóia, a seção amostral 1 é composta principalmente pela plantação de soja (60,42%). A área urbana corresponde a apenas 13,7%, caracterizada por chácaras, pelo Pool-Lab Laboratório de Combustíveis e outros comércios relacionados à distribuição de combustíveis.

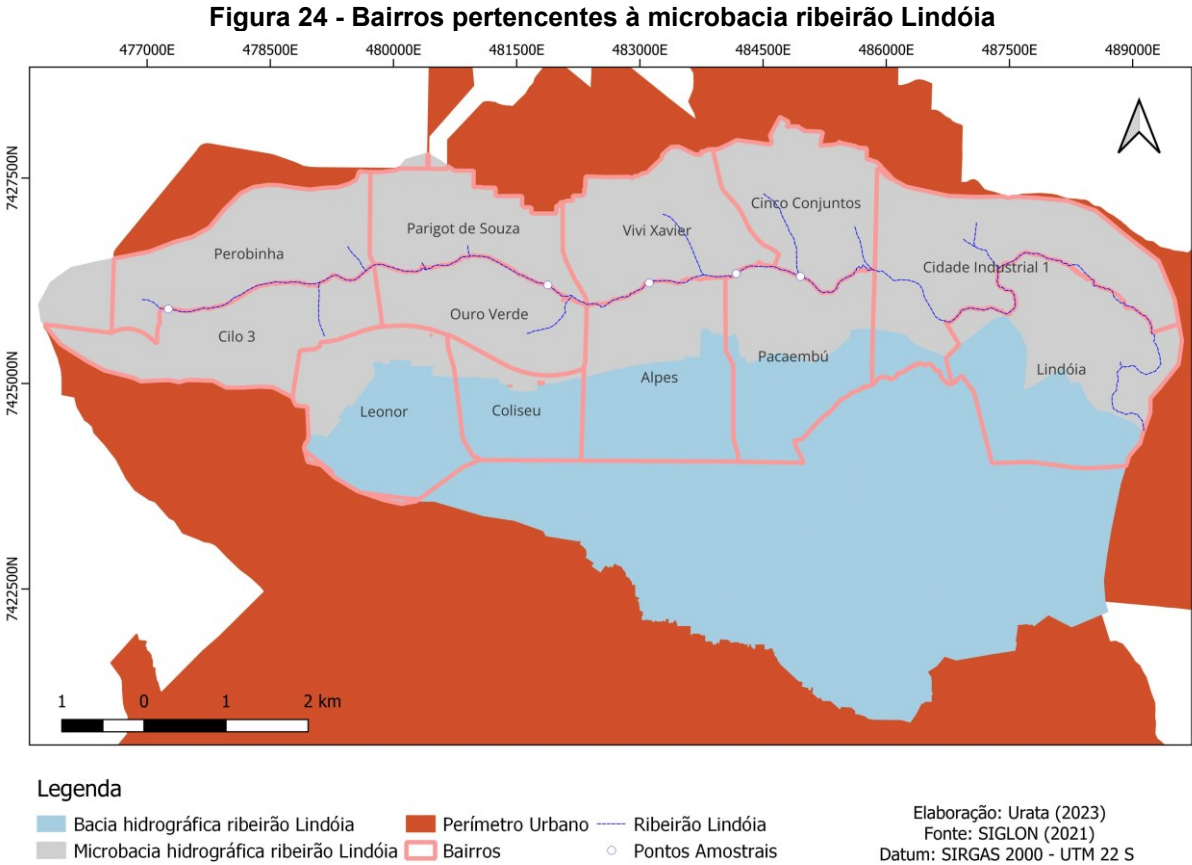
Já para a seção amostral 2, a área urbana é a que possui maior influência, totalizando 57,58% do uso total. A soja e o mosaico de usos são as outras classes que se destacam, com 18,94% e 12%, respectivamente. A classe de outras áreas não vegetadas (1,59%) é representada principalmente edificações isoladas.

Na seção 3, a área urbana compõe 61,77% da zona de interesse, seguindo pela área agrícola de soja e o mosaico de usos com 15,55% e 12,73%, respectivamente. Nesta seção houve a presença da classe de cana, o que não ocorreu nas seções anteriores, correspondendo a apenas 0,91 ha (0,05%).

Pela seção amostral 4 percebe-se que a área urbana, soja e mosaico de usos são as classes predominantes, com respectivamente 64,38%, 13,43% e 12,39%, seguindo o padrão das seções 2 e 3. Além disso, foi apenas nesta classe que o corpo hídrico foi classificado diretamente pelo MapBiomass, sendo representado pelo Lago Norte (0,1%).

Por fim, na última seção amostral (5) a área urbanizada é o maior uso do solo, com 1.500 ha e 67,66% da área total. A classe de mosaico e plantação possuem em média 11,6% cada uma. Como esta seção caracteriza toda a área de estudo, comparado com a área total da bacia hidrográfica ribeirão Lindóia (5.800 ha), esta seção com 2.217,13 ha corresponde a 38% da bacia em sua totalidade, apresentando a mesma ordem das cinco classes de maior influência: i) área urbana, ii) mosaico de usos, iii) soja, iv) formação florestal e v) outras lavouras temporárias.

Analizado a condição socioeconômica da área em estudo, na Figura 24 estão visualizados os bairros que compõem a microbacia ribeirão Lindóia.



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Tabela 3 encontra-se os dados dos bairros, levando em consideração a população residente, área total, taxa de alfabetização e o salário mínimo médio per capita.

Tabela 3 - Bairros de influências nas seções amostrais da microbacia ribeirão Lindóia, do mais para o menos populoso

Bairros	Seções	Área total (km²)	População (hab)	Alfabetização (%)	Salário Médio (R\$) ¹
Cinco Conjuntos	5	680,92	41.285	95,2	1.210,00
Parigot de Souza	2	415,60	23.276	95,1	1.200,00
Vivi Xavier	3, 4	551,00	19.544	95,3	1.250,00
Ouro Verde	2	241,70	12.493	95,8	1.310,00
Alpes	3	375,86	10.603	95,7	1.310,00
Pacaembú	4	336,35	9.686	94,4	1.210,00
Cilo 3	1	537,50	1.622	94,9	990,00
Perobinha	1	487,30	26	83,3	700,00

¹ Salário mínimo médio per capita
Nota: Dados do último censo de 2010

Fonte: Baseado em Londrina (2019); SIGLON (2021)

Considerou-se como bairros de influências aqueles localizados na margem esquerda e direita do ribeirão Lindóia, sendo desconsiderados os bairros Leonor e Coliseu; os bairros Cidade Industrial 1 e Lindóia não compõem as seções amostrais delimitadas neste estudo.

O bairro Perobinhas é o menos populoso de Londrina, com apenas 26 habitantes, com taxa de alfabetização é 83,3% e rendimento salarial per capita em média de R\$700, ficando abaixo da média do município que possui taxa de alfabetização de 95,8% é salário médio per capita de R\$ 1.326, 87, na época de análise (LONDRINA, 2019).

O bairro Cilo 3, ou Cidade Industrial 3, é uma zona predominantemente industrial e, conseqüentemente, com poucas residências, por isso a diferença entre área (537,50 km²) e população (1.622 habitantes), gerando uma distribuição espacial de aproximadamente 3 hab/km².

Os bairros Ouro Verde, Alpes e Pacaembú são os intermediários da microbacia, com distribuição em média de 52 hab/km², 28 hab/km² e 29 hab/km², respectivamente.

O bairro Vivi Xavier é o terceiro mais adensado (19.544 habitantes), composto por 2 conjuntos habitacionais, 4 bairros-jardim e um parque residencial (SIGLON, 2021), com distribuição espacial de 35 hab/km².

O Ouro Verde, com 12.493 habitantes, possui o maior salário mínimo médio per capita da microbacia, se igualando com a média londrinense, com a maior taxa de alfabetização dos demais (95,8%).

Já o bairro Parigot de Souza é segundo mais populoso (23.276 habitantes) na microbacia ribeirão Lindóia e o quarto no município (LONDRINA, 2019). A distribuição espacial é de 32 hab/km², dispersos em 19 seções, abrangendo 5 conjuntos habitacionais, 10 bairros-jardim e 4 residenciais (SIGLON, 2021).

O bairro Cinco Conjuntos é o mais populoso (41.285 habitantes) da seção amostral e do município de Londrina, podendo ser considerado como um centro de capital e prestação de serviços (MORAES, 2016). Analisando sua distribuição espacial, possui cerca de 61 hab/km², abrigando quase o dobro de habitantes do bairro Parigot de Souza em 265 km² a mais – área esta que pode compreender à área total do Ouro Verde que possui 12.493 residentes.

Com isto, percebe-se a grande diferença na desigualdade socioespacial da microbacia em estudo, ocasionada pela expansão desordenada, que além dos

problemas sociais ocorrentes, surgem também os problemas ambientais (GARCIAS; SANCHES, 2009). Os problemas ambientais podem ser relacionados à qualidade de vida da população, sendo que os dados de alfabetização e salário médio per capita são parâmetros de análise do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.

Em geral, a população da microbacia ribeirão Lindóia era da classe média, possuindo em média 2,5 salários mínimos com valor-base de 2010 (LONDRINA, 2019). Para o Fundo Mundial para a Natureza (WWF, da sigla em inglês *World Wide Fund for Nature*), o grupo de renda média recicla entre 8% a 16% dos resíduos gerados, nos quais entre 28% a 33% são depositados em aterros sanitários inadequados e entre 24% a 48% são descartados irregularmente a céu aberto (WWF, 2019).

Comparando com a realidade de Londrina, embora possua 100% de coleta seletiva de recicláveis, cerca de 30% dos resíduos recicláveis são destinados ao aterro sanitário controlado da cidade (LONDRINA, 2021). Isso demonstra que apesar da alta taxa de alfabetização dos cidadãos (95,8%), a falta e descaso à educação ambiental ainda persiste. Na microbacia ribeirão Lindóia é notável este problema, que dentre os 367 pontos de descarte irregular mapeados pela CMTU, cerca de 45 estão localizados nesta área.

5.1.2 Descarte irregular de resíduos sólidos nos pontos amostrais

No ponto amostral 1 não foi identificado nenhum descarte inadequado de RS, possuindo solo ocupado principalmente por área agrícola (Figura 25).

Figura 25 - Ponto amostral 1: (a) entorno, (b) próximo ao ribeirão Lindóia



Fonte: Autoria própria (2023)

Entre os pontos amostrais 1 e 2 está localizado um dos pontos de descarte inadequado identificados pela CMTU, citados anteriormente, observado na Figura 26. Foram predominantes os resíduos recicláveis (vidros e plásticos) e tecidos (roupa e panos de mesa), com indícios de queima.

Figura 26 - Despejo inadequado de resíduos sólidos entre os pontos 1 e 2



Fonte: Autoria própria (2023)

No ponto amostral 2, rodeado por áreas residenciais, há uma pequena ponte de passagem dos moradores sobre o ribeirão (Figura 27b), sendo um local com fluxo de pessoas.

Figura 27 - Ponto amostral 2: (a) antes do ponto 2, (b) após ponto 2



Fonte: Autoria própria (2023)

No caminho visualizado na Figura 27a foi encontrado despejo inadequado, com concentração de resíduos em menos de 5 metros de distância do corpo d'água (Figura 28a,b), e com alguns focos na margem do ribeirão (Figura 28c,d).

Figura 28 - Despejo inadequado de resíduos sólidos no ponto amostral 2



Fonte: Autoria própria (2023)

Foram encontrados diversos RS, como embalagens plásticas de comida e de bebida, embalagens cartonadas, vidro, sacolas plásticas, restos de construção civil, metais, panos e estofados; também se encontrou resíduos queimados.

Próximo ao ponto amostral 3 também houve a presença de despejo irregular de resíduos com uma distância de 70 a 80 metros do ribeirão Lindóia, outro ponto mapeado pela CMTU.

Os RS são descartados nas duas margens da rua, com uma extensão de quase 145 m na margem direita, atrás do IFPR (Figura 29 a-c) e 60 m na margem esquerda, próximo ao ponto 3 (Figura 29d).

Figura 29 - Despejo inadequado de resíduos sólidos na seção amostral 3



Fonte: Autoria própria (2023)

Foram encontrados resíduos recicláveis, tecidos, restos de construção civil, pôsteres de supermercados, embalagens de tintas, vaso sanitário e estofados.

Propriamente no ponto amostral 3, com poucos indícios de ser um local com fluxo de pessoas, possuía resíduos sólidos na margem do ribeirão (Figura 30).

Figura 30 - Despejo inadequado de resíduos sólidos no ponto 3



Fonte: Autoria própria (2023)

No quarto ponto amostral (Figura 31) não foi encontrado resíduos descartados incorretamente, provavelmente por ser um local de lazer à população, recebendo uma maior atenção.

Figura 31 - Ponto amostral 4



Fonte: Autoria própria (2023)

Quanto ao ponto amostral 5 (Figura 32), este é localizado na sobreposição da Rodovia Carlos João Strass. Na margem do ribeirão Lindóia, havia cadeira, mantas e sinais de fogueira, indicando que a população em situação de rua utiliza este espaço. Em uma das coletas, houve fluxo de pessoas e animais (cachorros) para a atividade de pesca um pouco à frente no curso d'água.

Figura 32 – Despejo irregular de resíduos sólidos no ponto amostral 5



Fonte: Autoria própria (2023)

5.2 Análises físico-químicas e microbiológicas

Primeiramente, para as análises físico-químicas e microbiológicas, foram considerados os eventos chuvosos e a precipitação acumulada 10 dias antes das campanhas de amostragem. Com isto, a precipitação acumulada 10 dias anteriores à 1ª, 2ª e 3ª Campanha de coleta foram respectivamente 23,7 mm 12,2 mm e 17,6 mm; na primeira e segunda campanha choveu 6 dias anteriores à coleta, e, na última 1 dia (IDR CLIMA, 2023.)

Os resultados das análises físico-químicas estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados físico-químicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia

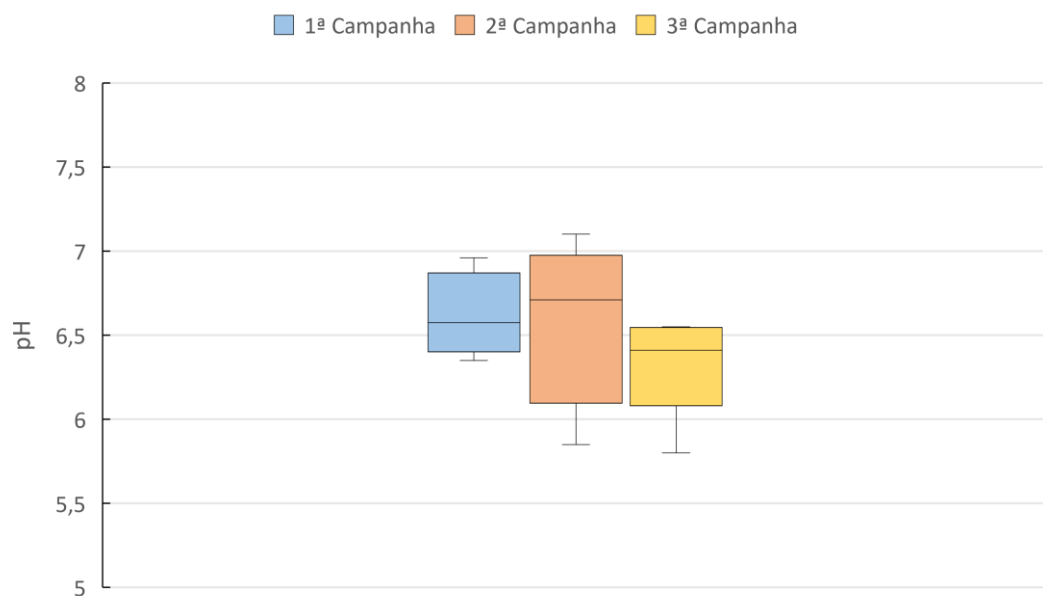
Parâmetros físico-químicos	Unidade	VR*	Pontos Amostrais					
			1	2	3	4	5	
Cor Aparente	mg PtCo/L	-	(1ª) ¹	43	28	29	37	-
			(2ª) ²	47	24	27	51	55
			(3ª) ³	39	22	26	23	73
Condutividade Elétrica	µS/cm	≤ 100***	(1ª)	59,96	242,2	225,9	219,5	-
			(2ª)	51,38	251,9	235,9	224,1	224,3
			(3ª)	52,69	246,6	222,2	218,4	205,2
pH	-	6,0– 9,0**	(1ª)	6,25	6,55	6,96	6,60	-
			(2ª)	5,85	6,34	6,71	7,10	6,85
			(3ª)	5,80	6,36	6,41	6,54	6,55
Turbidez	NTU	≤ 100**	(1ª)	11,3	6,8	7,3	9,1	-
			(2ª)	12,1	5,3	7,4	7,2	17,4
			(3ª)	13,0	5,6	9,3	9,8	22,7

*(VR) = Valor de referência para enquadramento classe III; ** Resolução CONAMA n° 357/2005, ***CETESB (2021), ¹(1) = 1ª Campanha; ²(2) = 2ª Campanha; ³(3ª) = 3ª Campanha

Fonte: Autoria própria (2023)

Comparando os resultados com os valores de referência, o pH do ponto 1 está um pouco abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005, com valores de 5,85 e 5,80 na 2ª e 3ª campanha, respectivamente. O pH de corpos hídricos próximos de suas nascentes tendem a serem mais ácidos, principalmente os inseridos em áreas rurais (PINTO et al., 2009; AGRIZZI, 2018), o que ocorre neste ponto amostral. Maier (1986) explica que uma pequena diminuição no pH pode estar associada ao aumento no teor de matéria orgânica, o que pode ter ocorrido pelo escoamento superficial da chuva ao corpo hídrico na ao longo das campanhas de amostragem.

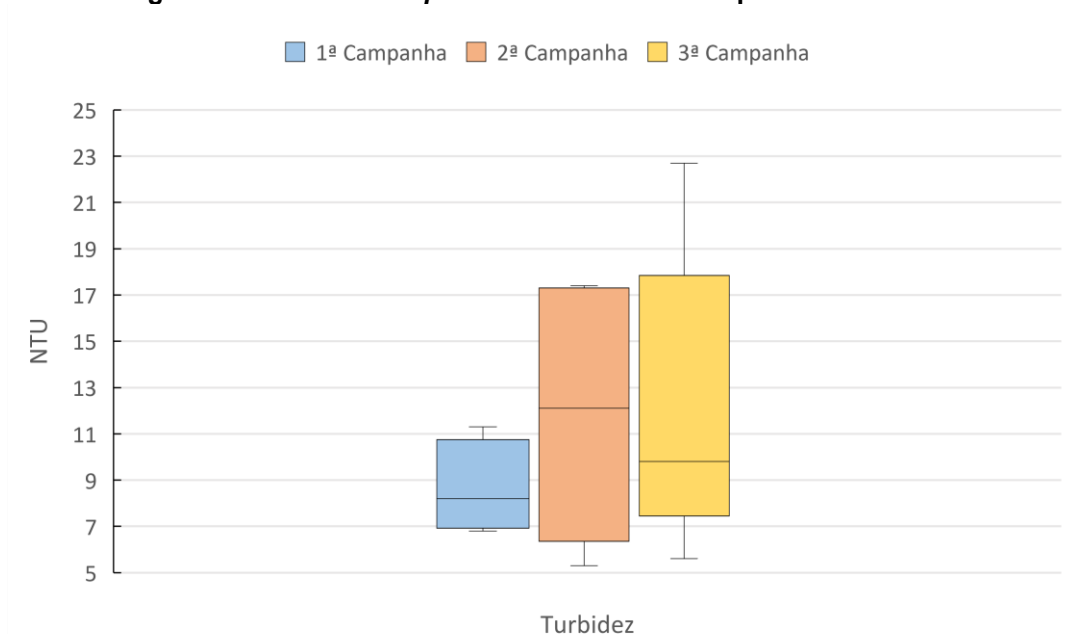
Pelo teste T de *Student* não houve diferenças significativas de pH entre as campanhas de amostragem (p-valor>0,05), no qual o comportamento deste parâmetro pode ser observado na Figura 33.

Figura 33 - Gráfico *Box plot* do pH nas campanhas amostrais

Fonte: Autoria própria (2023)

A turbidez está dentro dos parâmetros legislativos (≤ 100 NTU) em todos os pontos nas três campanhas. O maior valor foi para a última campanha no ponto 5 (22,7 NTU), sendo que os demais pontos nesta campanha também são mais altos do que nas demais campanhas, com exceção do ponto 2 se comparado com a 1ª coleta, o que pode ser explicado pelo aporte de materiais orgânicos e inorgânicos escoados com o evento chuvoso anterior à coleta. No estudo de Silva (2012), obteve-se turbidez entre 0 a 4,10 NTU nos pontos semelhantes aos pontos amostrais deste trabalho, valores estes que não foram encontrados em nenhuma das campanhas de coleta. O aumento da turbidez pode estar relacionado às ações antrópicas, como despejo de efluentes domésticos e industriais e erosão acelerada (RAPOSO; BARROS; JÚNIOR, 2010).

Não houve diferenças significativas de turbidez entre as campanhas de amostragem ($p\text{-valor} > 0,05$), no qual o comportamento deste parâmetro está demonstrado na Figura 34.

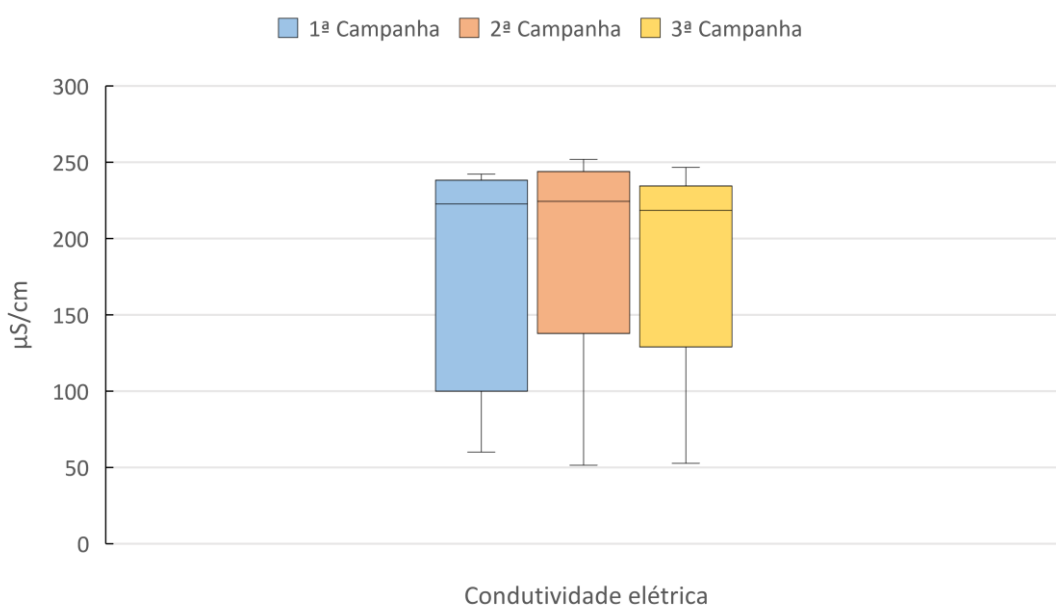
Figura 34 - Gráfico *Box plot* da turbidez nas campanhas amostrais

Fonte: Autoria própria (2023)

Quanto à CE, este não é um parâmetro legislado, mas para a CETESB (2021), pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes, na qual valores superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ indicam ambientes impactado. O menor valor encontrado foi no ponto 1, de 59,96 $\mu\text{S/cm}$, 51,38 $\mu\text{S/cm}$ e 52,69 $\mu\text{S/cm}$ na 1ª, 2ª e 3ª campanha, respectivamente; este valor é esperado para locais próximos de nascente, indicando que o corpo hídrico possui suas características naturais. Nos demais pontos, já inseridos em zona urbana, a maior CE ocorreu no ponto 2, nas três campanhas, com 242,2 $\mu\text{S/cm}$, 251,9 $\mu\text{S/cm}$ e 246,6 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente: este é o ponto com mais influência de resíduos sólidos descartados inadequadamente próximos ao ribeirão Lindóia; o ponto 3 é o segundo ponto com maiores valores de CE, de 225,9 $\mu\text{S/cm}$, 235,9 $\mu\text{S/cm}$ e 222,2 $\mu\text{S/cm}$ nas três campanhas, respectivamente, que também possui descarte irregular de resíduos sólidos, reforçando a teoria de que há pressão urbana no corpo d'água.

O comportamento da CE pode ser visualizado na Figura 35, não sendo diferente estatisticamente entre as campanhas ($p\text{-valor} > 0,05$) pelo teste T de *Student*.

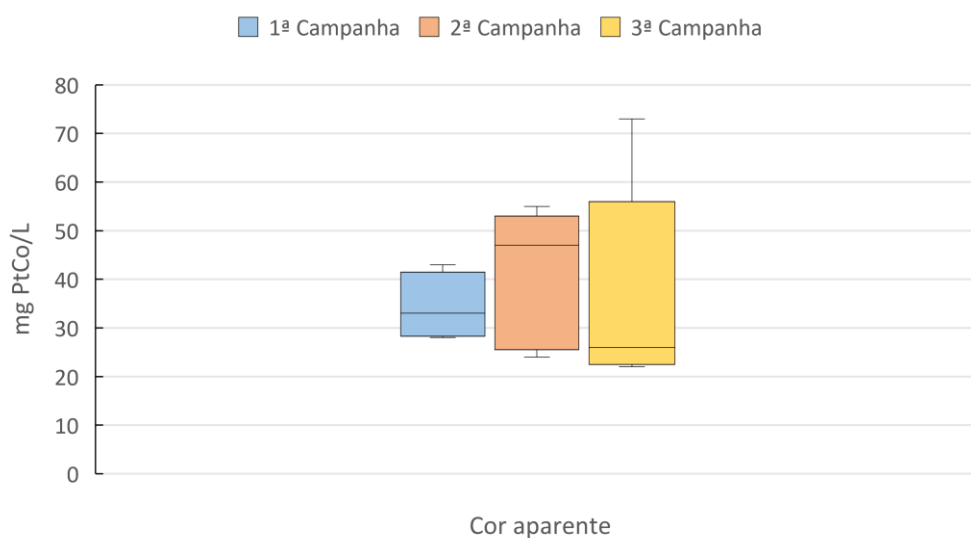
Figura 35 - Gráfico *Box plot* da condutividade elétrica nas campanhas amostrais



Fonte: Autoria própria (2023)

A cor aparente, sem valor de referência, comumente segue o padrão da turbidez (CARVALHO; SIQUEIRA, 2011), porém alguns pontos obtiveram um comportamento atípico, com valores mais altos na campanha de menor turbidez ou vice-versa. Pelo teste T de *Student* não houve diferenças significativas ($p\text{-valor} > 0,05$) entre as três campanhas, no qual seu comportamento pode ser observado na Figura 36.

Figura 36 - Gráfico *Box plot* da cor aparente nas campanhas amostrais



Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados dos parâmetros químicos analisados no SAMAE de Ibiporã na 3ª Campanha podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados químicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia na 3ª campanha de coleta

Parâmetros químicos	Unidade	VR*	Pontos Amostrais				
			1	2	3	4	5
Alumínio	mg/L	$\leq 0,2^{(a)}$	0,056	0,063	0,021	0,041	0,032
Cloreto	mg/L	$\leq 250^{(a)}$	1,6	19,3	15,9	15,7	19,1
DBO	mg/L	$\leq 10^{(a)}$	4,0	1,0	2,0	1,0	9,0
DQO	mg/L	-	5,0	12,0	10,0	0,0	7,0
Ferro	mg/L	$\leq 5^{(a)}$	2,18	0,86	0,87	0,86	1,21

*(VR) = Valor de referência para enquadramento classe III, ^a Resolução CONAMA n° 357/2005.

Fonte: Autoria própria (2023).

Aplicando o teste de Shapiro Wilk, teve-se que todos os parâmetros, com exceção do alumínio, cloretos e ferro, possuíam distribuição normal ($p\text{-valor} > 0,05$).

O alumínio, cloreto e ferro podem estar presentes em corpos d'água pela dissolução de compostos do solo ou por despejos de esgoto doméstico ou efluentes industriais (CARVALHO; SIQUEIRA, 2011; SABINO; LAGE; NORONHA, 2017; CETESB, 2021). Tais parâmetros estavam em conformidade com a Resolução CONAMA n° 357/2005 para corpos enquadrados como classe III, assim como a DBO, no período de análise.

A DBO também é um indicador de poluição, no qual se possui valores elevados, indica uma alta concentração de matéria orgânica biodegradável. Geralmente, os valores de DQO são superiores ao de DBO, já que última se restringe a degradação de materiais biodegradáveis, porém, neste trabalho ocorreu o inverso nos pontos 1, 4 e 5. Limberger (2004) também encontrou valores baixos de DQO no ribeirão Lindóia, supondo que a diminuição da DQO se deu pela não incorporação do oxigênio atmosférico na água superficial.

Quanto aos resultados microbiológicos, a quantificação das colônias estão dispostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados microbiológicos dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia

Parâmetros microbiológicos	Unidade	VR*	Pontos Amostrais					
			1	2	3	4	5	
Bactérias Heterotróficas		-	(1) ¹	17.000	18.300	27.900	39.100	-
			(2) ²	99.000	33.000	134.500	92.000	110.000
			(3) ³	186.500	755.000	1.000.000	1.072.500	1.545.000
Coliformes Totais	UFC/100 mL**	-	(1)	7.600	9.600	10.100	25.300	-
			(2)	11.650	27.800	30.700	20.450	21.350
			(3)	12.550	42.650	35.150	33.650	44.150
<i>E.coli</i>		4.000***	(1)	100	400	800	9.000	-
			(2)	100	6.200	6.500	5.850	6.600
			(3)	650	7.350	8.250	6.200	7.950

*(VR) = Valor de referência para enquadramento classe III; ** (UFC) = Unidade Formadora de Colônias;

*** Resolução CONAMA n° 357/2005; ¹(1) = 1ª Campanha; ²(2) = 2ª Campanha; ³(3) = 3ª Campanha

Fonte: Autoria própria (2023)

De modo geral, todos os parâmetros microbiológicos possuíram valores superiores na 3ª Campanha, na qual a coleta foi realizada logo após um evento chuvoso. As fontes de poluição em áreas urbanas no período de maior pluviosidade se dão principalmente por escoamento superficial e, em menor pluviosidade, por lançamento de esgotos (MENEZES, 2016).

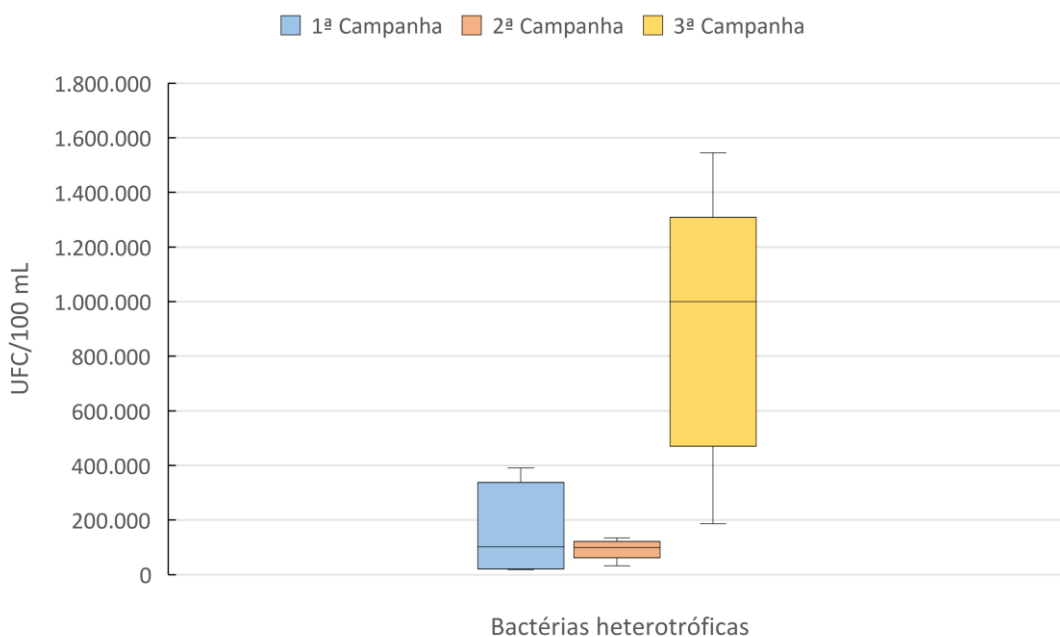
Não há legislação para o monitoramento e quantificação de bactérias heterotróficas em ambientes aquáticos, sendo um parâmetro para fins complementares, indicando indiretamente a quantidade de matéria orgânica no corpo d'água. Neste estudo, as bactérias heterotróficas possuem valores mais elevados em relação aos outros indicadores, sendo uma característica comum em ambientes naturais (BARTRAM et al., 2003), porém na última campanha obteve-se concentrações muito elevadas, chegando a 1.000.000 UFC/100 mL no ponto 3, 1.072.000 UFC/100 mL no ponto 4 e 1.545.000 UFC/100 mL no último ponto. Isso pode ser um indicador que há alguma fonte externa de matéria orgânica.

Para o grupo de coliformes totais, os maiores valores encontrados foram nos pontos 2 e 5, com 42.650 UFC/100 mL e 44.150 UFC/100 mL, respectivamente na última campanha. Resultados semelhantes foram encontrados por Pontuschka et al. (2021), com as maiores concentrações ocorrerem em áreas densamente urbanizadas.

Quanto a concentração de *E. coli*, todos os pontos, com exceção do primeiro, ultrapassam o valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n°357/2005 para água de classe III de 4.000 UFC/100 mL, indicando uma forte contaminação. A maior concentração foi de 9.000 UFC/100 mL no ponto 4, na 1ª Campanha, sendo mais que o dobro da legislação.

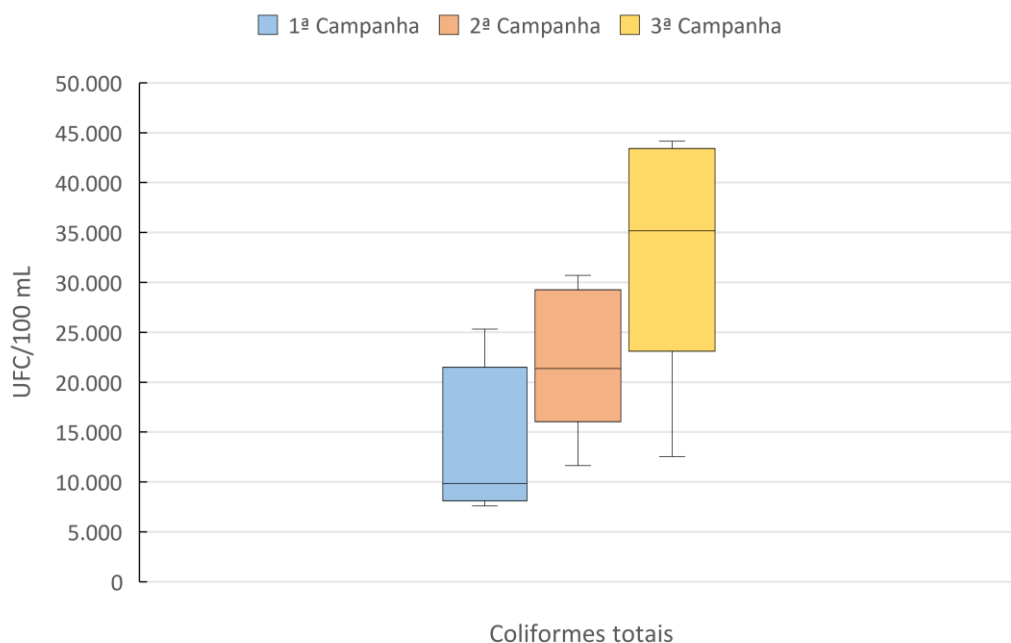
Analisando estaticamente, todos os parâmetros possuíram distribuição normal ($p > 0,05$). Quanto a diferença entre os valores encontrados, há uma diferença significativa ($p\text{-valor} < 0,05$) entre as campanhas para todos os indicadores microbiológicos, com o comportamento demonstrado nas Figura 37 a 39.

Figura 37 - Gráfico *Box plot* das colônias de bactérias heterotróficas nas campanhas amostrais



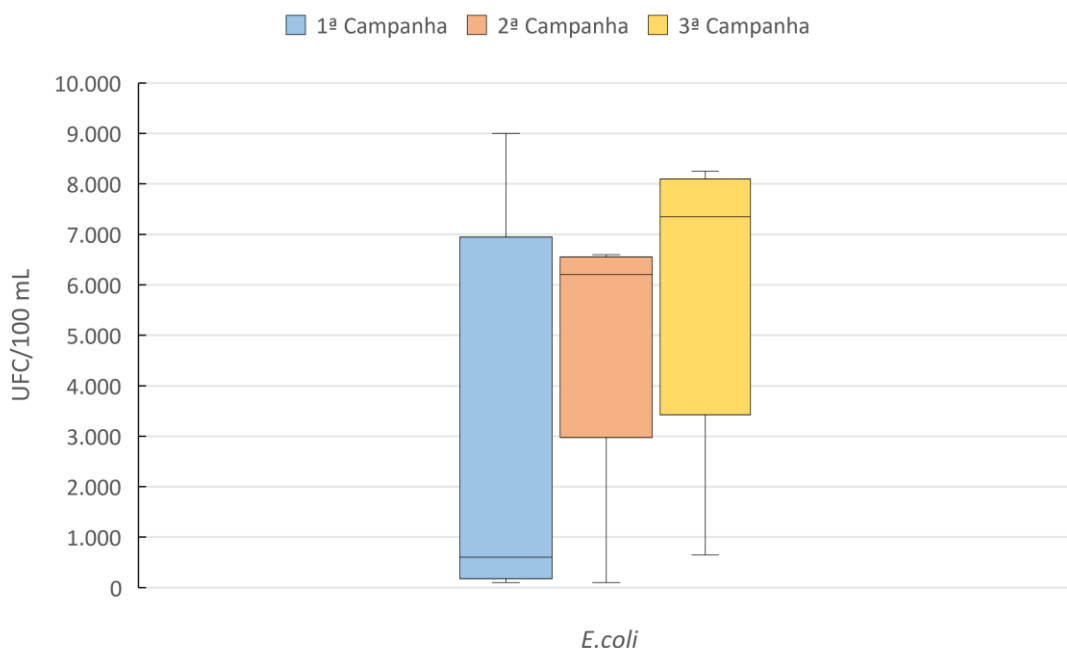
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 38 - Gráfico *Box plot* das colônias de coliformes totais nas campanhas amostrais



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 39 - Gráfico *Box plot* das colônias de *Escherichia coli* nas campanhas amostrais



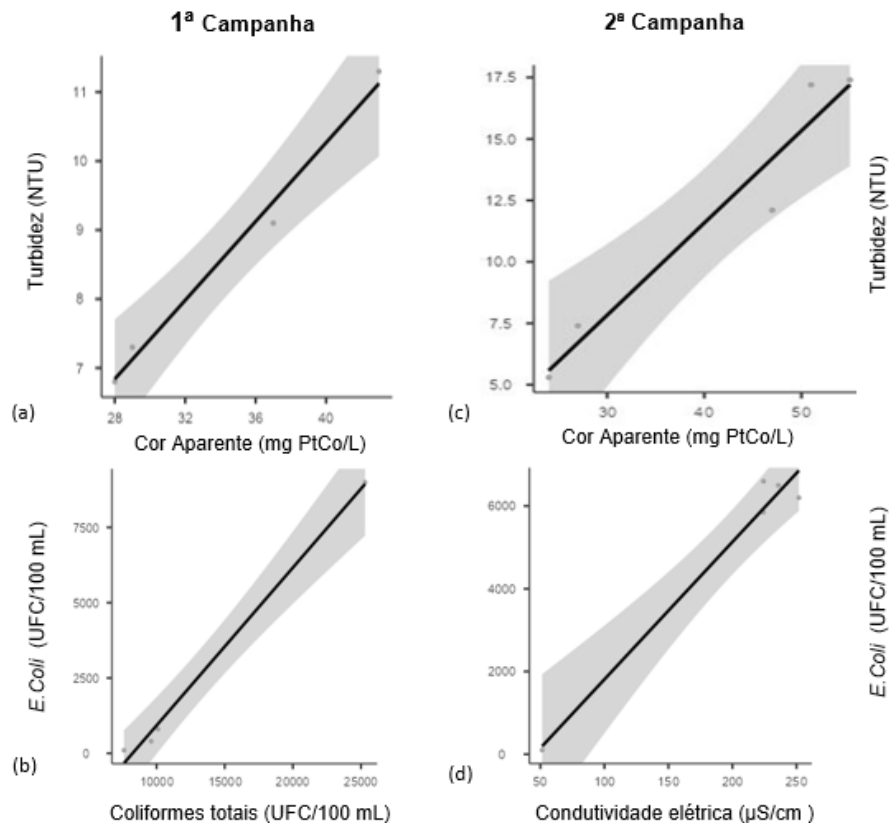
Fonte: Autoria própria (2023)

Essa diferença pode ter se dado pelas seguintes hipóteses: i) teve influência da precipitação, que com um maior fluxo de escoamento superficial da água da chuva, há o carreamento da matéria orgânica e nutrientes para o corpo d'água, gerando uma maior concentração de colônias dos indicadores, ii) na coleta logo após o evento chuvoso, o ribeirão não teve condições de se estabilizar e autodepurar ou iii) há outra fonte de contaminação no ribeirão Lindóia, como por exemplo, o despejo irregular de esgoto doméstico. Os maiores valores ocorreram na 3ª campanha, logo após uma descarga de chuva; porém, na 1ª campanha houve um acúmulo maior de precipitação em relação à 2ª Campanha, podendo evidenciar que não é só eventos naturais que podem contribuir com os parâmetros microbiológicos.

Aplicando a Matriz de Correlação de Pearson para a análise de significância entre os parâmetros com distribuição normal, a cor aparente e turbidez obtiveram correlação estaticamente positiva na 1ª (p-valor<0,01; R de Pearson = 0,994) e 2ª Campanha (p-valor<0,01; R de Pearson = 0,970), ou seja, são diretamente proporcionais. Isso já era esperado, uma vez que os dois parâmetros estão relacionados com a quantidade de sólidos dissolvidos. Além disso, na 1ª Campanha, obteve-se correlação significativa entre coliformes totais e *E.coli* (p-valor<0,01 e R de Pearson = 0,997); este comportamento não é atípico, já que a *E.coli* é do grupo de coliformes termotolerantes, pertencente às coliformes totais. Na 2ª Campanha teve-

se que a CE e *E.coli* possuíram correlação significativa ($p < 0,01$ e R de Pearson = 0,985), sendo um forte fator de poluição por ações antrópicas no ribeirão Lindóia. Os gráficos da matriz de correlação estão dispostos na Figura 40, para as duas campanhas.

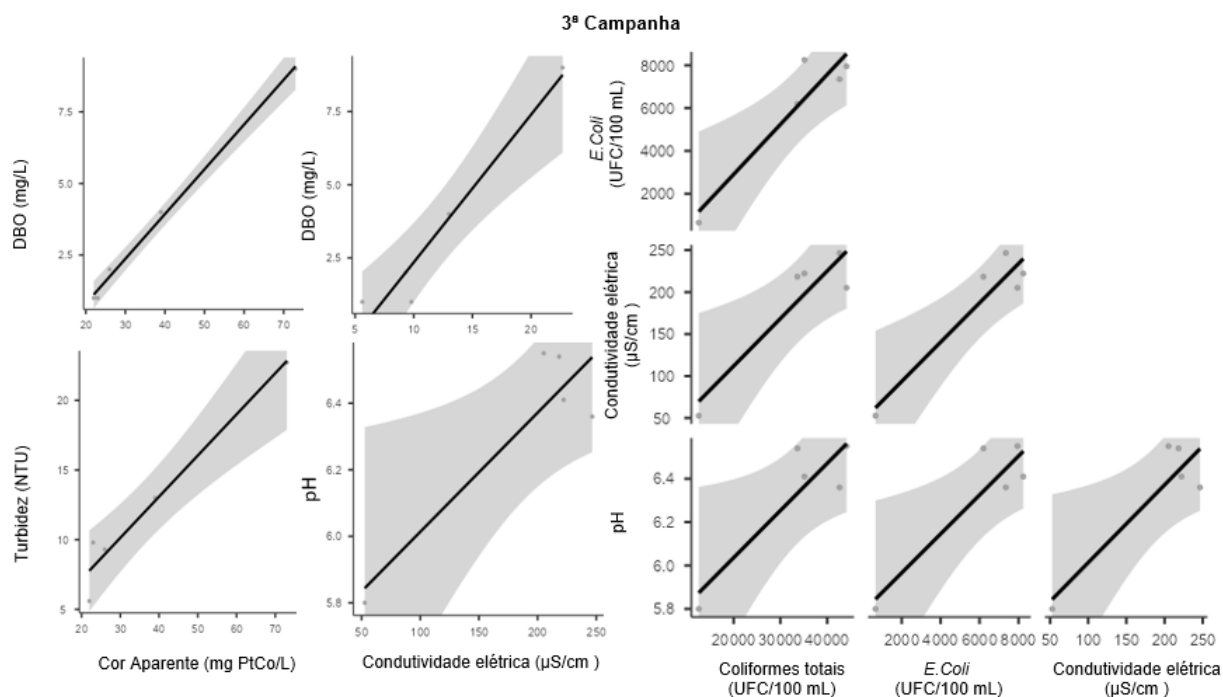
Figura 40 - Parâmetros correlacionados significativamente na (a,b) 1ª e (c,d) 2ª Campanha



Fonte: Autoria própria (2023)

Já na 3ª Campanha houve correlação significativa positiva entre cor aparente e DBO (p -valor $< 0,01$ e R de Pearson = 0,998), CEE DBO (p -valor $< 0,01$ e R de Pearson = 0,973), cor aparente e turbidez (p -valor $< 0,01$ e R de Pearson = 0,976), entre CE e pH (p -valor $< 0,05$ e R de Pearson = 0,901), pH e coliformes totais (p -valor $< 0,05$ e R de Pearson = 0,824) e *E.coli* (p -valor $< 0,05$ e R de Pearson = 0,911) e por fim, a condutividade com os coliformes totais ($p < 0,05$ e R de Pearson = 0,921) e com a *E.coli* ($p < 0,05$ e R de Pearson = 0,944). Na Figura 41 estão gráficos das correlações.

Figura 41 - Parâmetros correlacionados significativamente na 3ª Campanha



Fonte: Autoria própria (2023)

A relação entre pH e CE se deve pelas concentrações de íons existente na água, na qual quanto mais ácido maior a condutividade elétrica da amostra, sendo encontrado o mesmo padrão no estudo de Conceição et al. (2014). A correlação entre a DBO, turbidez e cor aparente se dá devido a matéria orgânica presente nas amostras de água aferindo estes parâmetros.

Após eventos chuvosos os indicadores possuem mais relações entre si devido a sua interação dinâmica, incorporando em seu meio, as consequências do que ocorre em seu entorno. Como o ribeirão é em sua maioria, na área urbana, supõe-se que esteja sendo influenciado por ações antrópicas.

5.3 Análises toxicológicas

Os resultados do ensaio toxicológico dos pontos amostrais do ribeirão Lindóia, assim como os controles positivos e negativos estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados de germinação, crescimento radicular e índices de toxicidade das sementes de *Allium cepa* nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia e seus respectivos controles

Amostragem	Germinação (n° de sementes)	TG (%) ¹	GRS (%) ²	Comprimento radicular (cm)	ICR ³	IG (%) ⁴	IGN (%) ⁵	IER (%) ⁶
1	8	80	84,21	0,441±0,201	0,70	58,75	-0,16	-0,30
2	6,5	65	68,42	0,515±0,230	0,82	55,83	-0,32	-0,18
3	7	70	73,68	0,571±0,446	0,90	66,67	-0,26	-0,10
4	8,5	85	89,47	0,447±0,275	0,71	63,33	-0,11	-0,29
5	7,5	75	78,95	0,687±0,275	1,09	85,83	-0,21	0,09
CP*	7,5	75	78,95	0,107±0,026	0,17	13,33	-0,21	-0,83
CN**	9,5	95	100,00	0,632±0,371	1,00	100,00	0,00	0,00

Legenda das siglas: ¹(TG) = Taxa de Germinação; ²(GRS) = Germinação Relativa de Sementes; ³(ICR) = Índice de Crescimento Relativo; ⁴(IG) = Índice de Germinação; ⁵(IGN) = Índice de Germinação Residual Normalizado; ⁶(IER) = Índice de Alongamento Radial Residual Normalizado; *(CP) = Controle Positivo (sulfato de cobre); **(CN) = Controle Negativo (água destilada)

 Hormese
  Toxicidade baixa
  Toxicidade moderada
  Toxicidade muito alta

Fonte: Autoria própria (2023)

Normalmente, o CP não possui uma TG tão elevada, onde experimentos anteriores obteve-se em média de 50 a 55%. Porém, para Ferreira e Borghetti (2004) o efeito tóxico das substâncias não é exclusivo da germinação, podendo estar relacionado com a velocidade de germinação ou outro parâmetro.

O CN germinou mais sementes em relação as demais, seguido pelo ponto 4 e 1; o ponto 5 e o CP germinaram igualmente; a menor germinação se deu no ponto 2. Comparando a germinação das amostras do ribeirão Lindóia com o CN, o maior IGR foi para o ponto 4 (89,47%) e o menor no ponto 2 (68,42%).

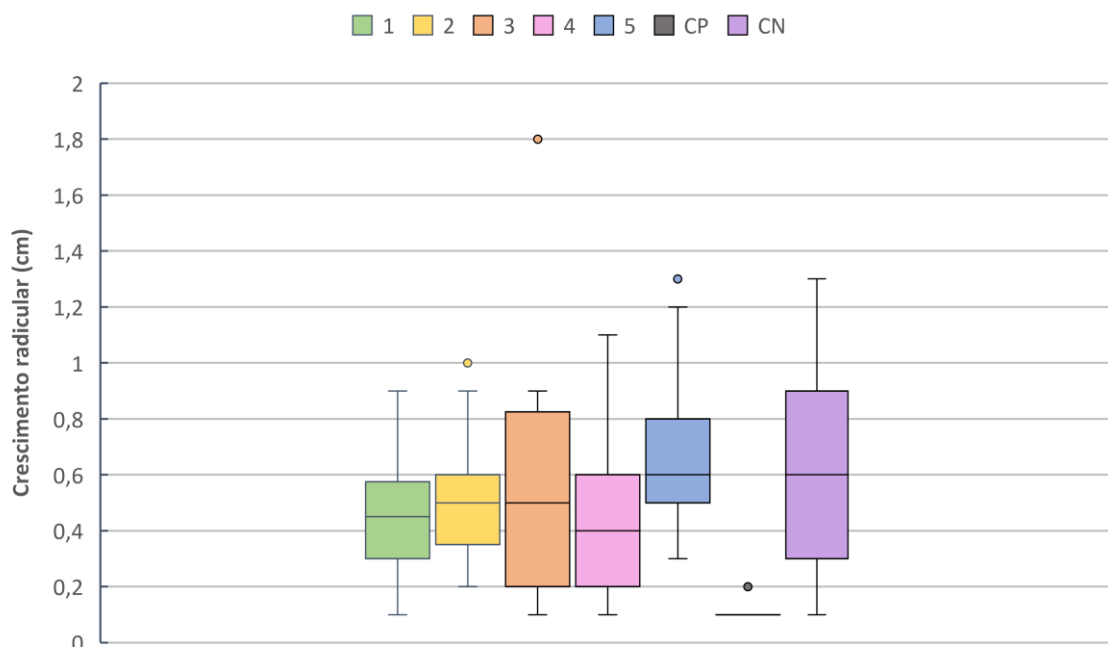
O parâmetro físico-químico que se destaca no ponto 2 é a CE, um indicador de poluição, de 246,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo o maior valor obtido na campanha de amostragem. Outro fator que pode estar relacionado é o despejo irregular de resíduos sólidos observados no ponto, sendo a área com a menor distância entre descarte e o corpo d'água; podendo ter sido carregado substâncias na água do ribeirão Lindóia que atrasaram a germinação das sementes. Já no ponto 4, é o que menos recebe pressão direta da zona urbana, estando em condições de preservação.

Analisando o comprimento das radículas germinadas, o maior crescimento ocorreu no ponto amostral 5 ($0,687 \pm 0,275$ cm), passando o CN ($0,632 \pm 0,371$) que era uma amostra sem substâncias interferentes. Devido a isto, pode considerar que o ponto 5 possui substâncias que favorecem o alongamento, embora não tenha obtido um ICR $> 1,2$ como propõe Young et al. (2010), porém se aproxima (1,09). O ponto 5 foi o que obteve as maiores concentrações de indicadores de concentração de matéria orgânica, como DBO e bactérias heterotróficas: matéria essa que pode ter tido nutrientes que estimularam o crescimento das radículas.

O menor crescimento foi no CP ($0,107 \pm 0,026$ cm), uma amostra positiva para contaminação. Em relação às amostras do ribeirão Lindóia, a menor média se deu no ponto amostral 1 ($0,441 \pm 0,201$ cm). Embora o ponto 1 ter obtido, em geral, os melhores resultados físico-químicos e microbiológicos, foi o que menos cresceu em questão radicular. É neste ponto que se destaca a concentração de ferro dissolvido (2,18 mg/L Fe), mas que está de acordo com a legislação nacional. Os autores Srivastava, Kumar e Gupta (2005) analisou que a presença de metais e alguns compostos orgânicos são potencialmente tóxicos em sementes de *A. cepa*, sendo, portanto, levantada a hipótese de escoamento de alguma substância agrícola ao corpo d'água que possa ter interferido no alongamento das radículas.

Os valores absolutos do comprimento de todas as amostragens podem ser visualizados graficamente na Figura 42.

Figura 42 - Gráfico *Box plot* do comprimento (cm) das radículas de *Allium cepa*



Legenda: 1, 2, 3, 4 e 5 = Pontos amostrais, (CP) = Controle Positivo (sulfato de cobre); (CN) = Controle Negativo (água destilada)

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando o ICR, as amostras que possuem inibição de crescimento são as dos pontos 1 (0,70), 4 (0,71) e do CP (0,17). Os demais pontos não possuem efeitos significativos de inibição ou estimulação de crescimento. Analisando em conjunto as taxas de IGR e ICR percebe-se que o ponto 4 apesar de apresentar o maior IGR, possui inibição em seu crescimento. Já o menor IGR no ponto 2 não interferiu em seu crescimento radicular pelo ICR.

Quanto aos níveis de toxicidade propriamente, pelo IGN, os pontos 1, 4, 5 e o CP possuem toxicidade baixa; os pontos 1 e 2 toxicidades moderada e o CN apresenta hormese; já pelo IER, os pontos 2 e 3 possuem toxicidade baixa, os 1 e 4 toxicidades moderada, o CP toxicidade muito alta e o CN hormese. Os valores do IGN e IER não possuem correlação significativa entre si ($p > 0,05$).

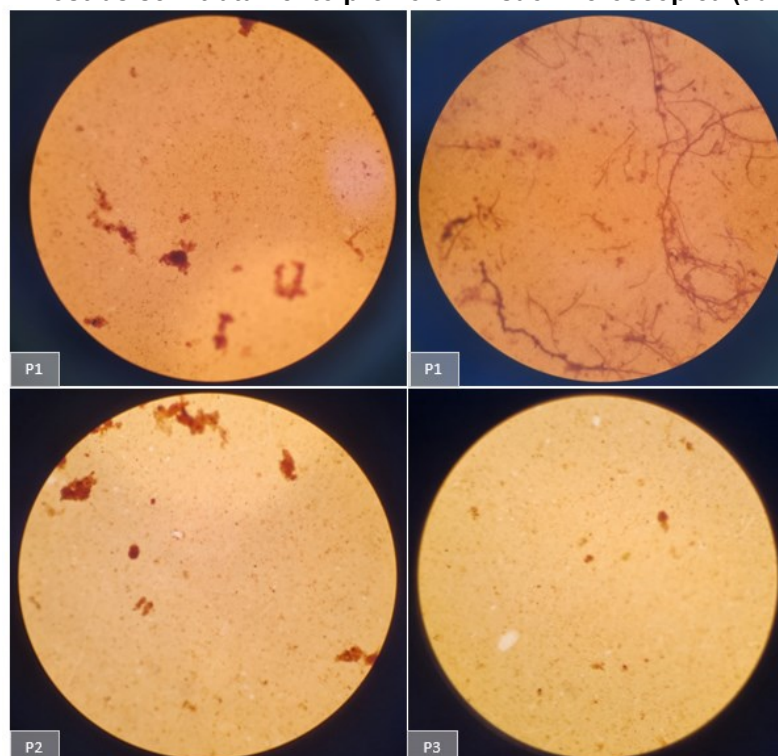
5.4 Análises de microplásticos

Como já evidenciado, a bacia é predominantemente urbana, possuindo uma distribuição espacial desorganizada, o que aumenta a pressão urbana nos corpos hídricos. A análise de microplásticos em matriz ambiental serve como uma análise complementar à qualidade da água, que se confirmado a presença, caracteriza-se por uma área de influência antrópica. Até o momento, não há trabalhos publicados quanto à contaminação de microplásticos no ribeirão Lindóia.

A caracterização visual é uma das etapas mais importantes no estudo de microplásticos. Porém, foi encontrado dificuldades ao longo da realização deste trabalho, como interferências dos reagentes e das membranas filtrantes, ineficiência na degradação da matéria orgânica, cansaço visual e subjetividade na identificação, ou seja, uma mesma amostra foi identificada de maneira diferente dependendo do pesquisador.

A etapa de degradação da matéria orgânica se torna uma etapa obrigatória no processamento das amostras, pois é o que mais dificultou na caracterização dos microplásticos, gerando muitas incertezas. Na Figura 43, estão as amostras filtradas sem nenhum tratamento prévio.

Figura 43 - Amostras sem tratamento prévio em visão microscópica (aumento 100x)



Fonte: Autoria própria (2023)

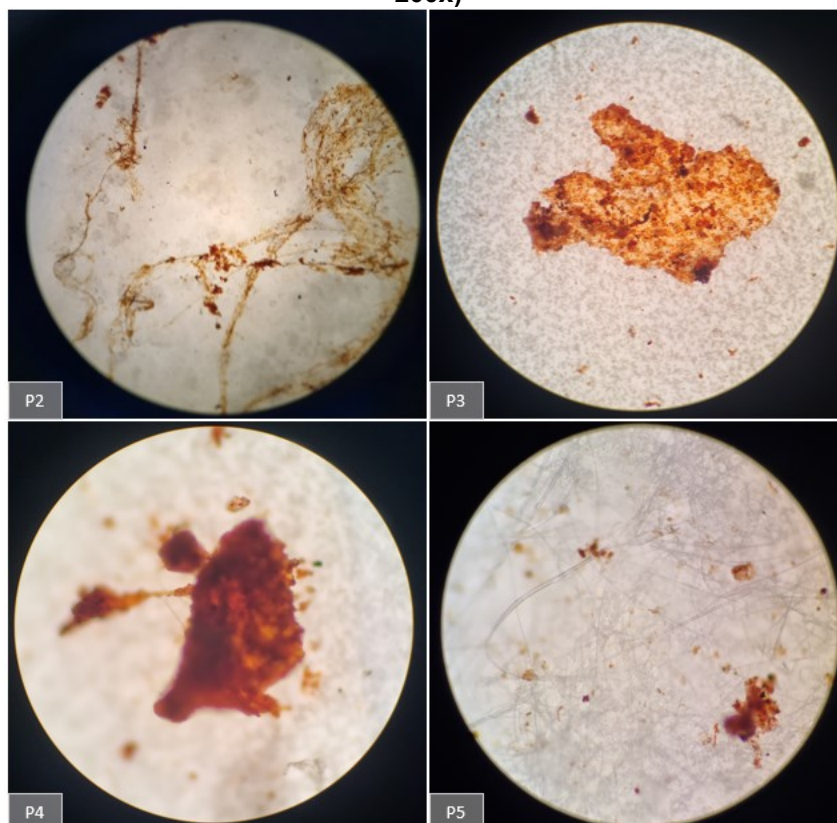
Aplicando a Metodologia I, apenas a etapa de separação por densidade com NaCl não foi eficaz na separação dos microplásticos na amostra de água, na qual as partículas orgânicas ficaram dispersas no funil, como mostrado na Figura 44. Já na Figura 45 são observáveis algumas imagens microscópicas da matéria orgânica.

Figura 44 - Partículas orgânicas dispersas na amostra na etapa de separação por densidade sem tratamento oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 45 - Matéria orgânica nas amostras P2 e P5 (aumento de 100x), P3 e P4 (aumento de 200x)

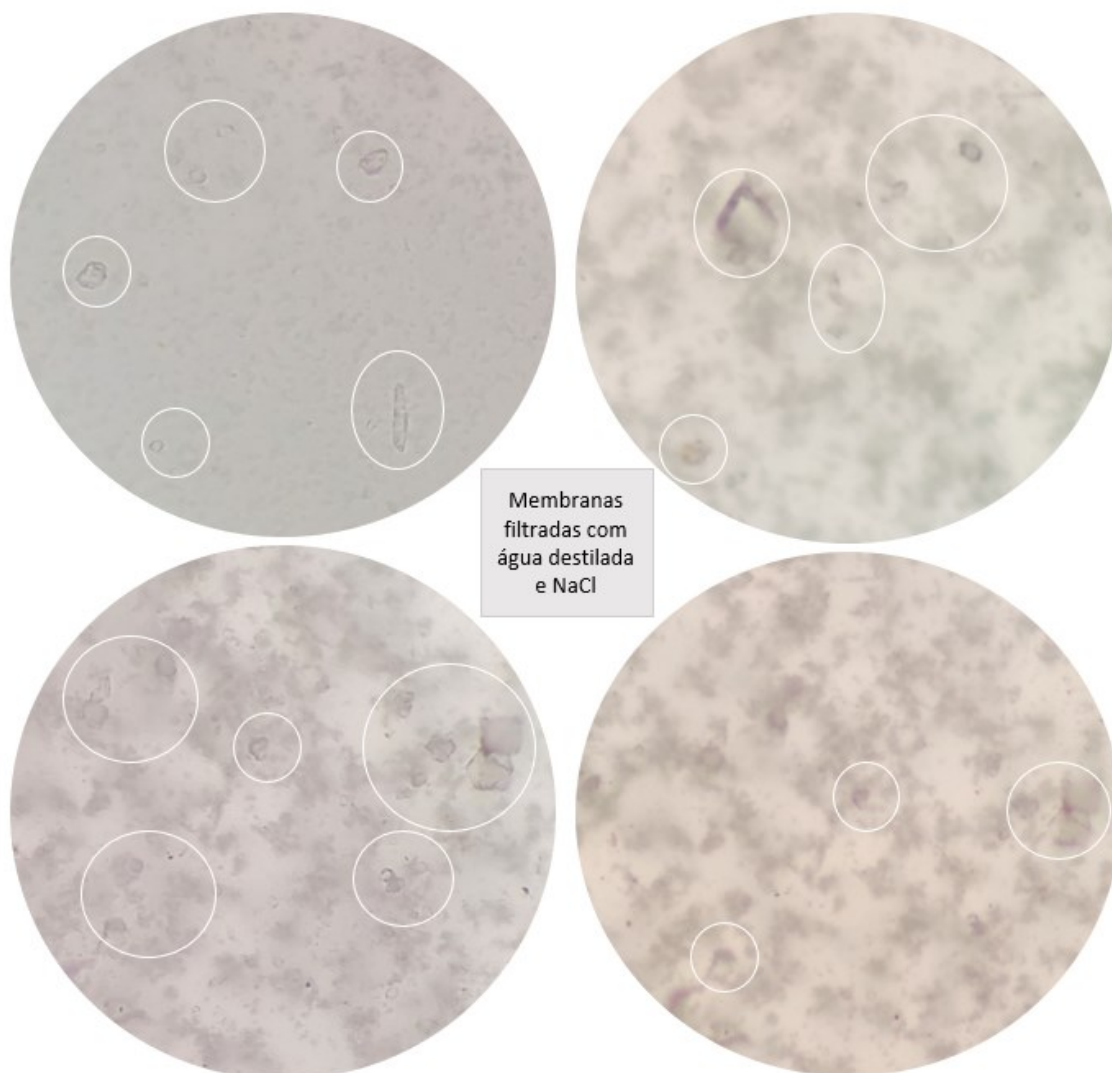


Fonte: Autoria própria (2023)

Ainda na Metodologia I, durante a análise das membranas filtrantes, foi notável duas interferências externas: i) presença de cristais de NaCl que se pareciam com microplásticos transparentes e ii) diferença entre as membranas filtrantes.

Na Figura 46, estão alguns enfoques nos cristais salinos, obtidos em microscópio óptico com aumento de 200x.

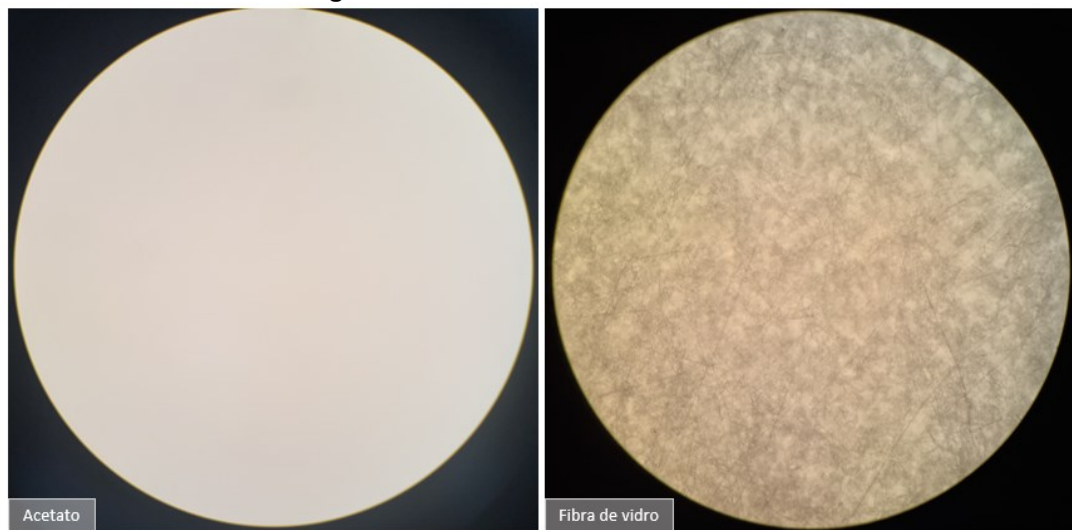
Figura 46 - Enfoque nos cristais de NaCl em microscópio óptico com aumento de 200x



Fonte: Autoria própria (2023)

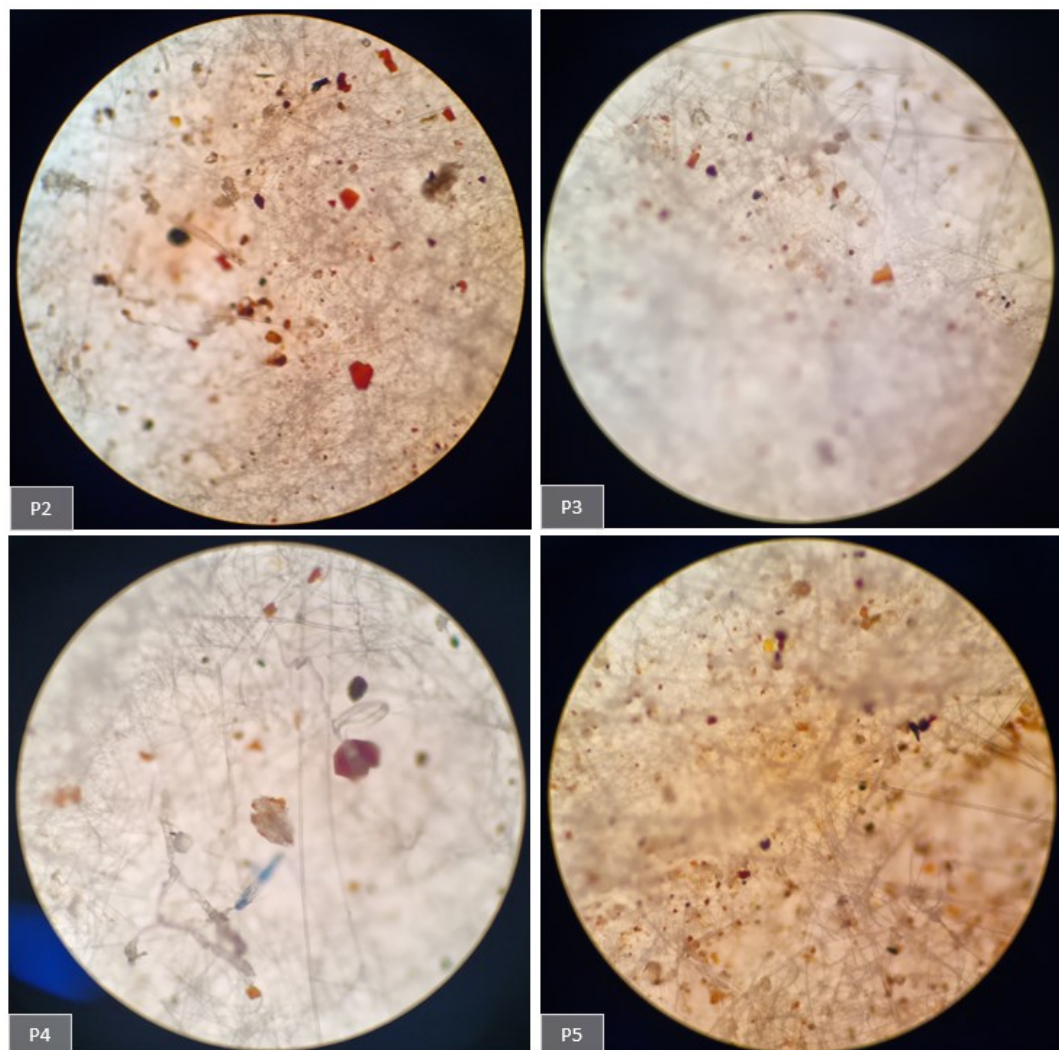
Já na Figura 47 percebe-se que a membrana de acetato é inteiramente lisa; porém, a membrana de vidro possui fundo característicos de fibras em sua composição, o que dificultou a caracterização visual dos microplásticos (Figura 48), principalmente dos mais transparentes. Trabalhos como Conceição (2021) e Bertoldi (2022) utilizaram esses tipos de membrana, mas não foi evidenciada essa dificuldade.

Figura 47 - Diferenças na membrana de (a) acetato e (b) fibra de vidro, ambas filtradas com água destilada em aumento de 100x



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 48 - Dificuldades encontrada na caracterização de microplásticos em membranas de vidro



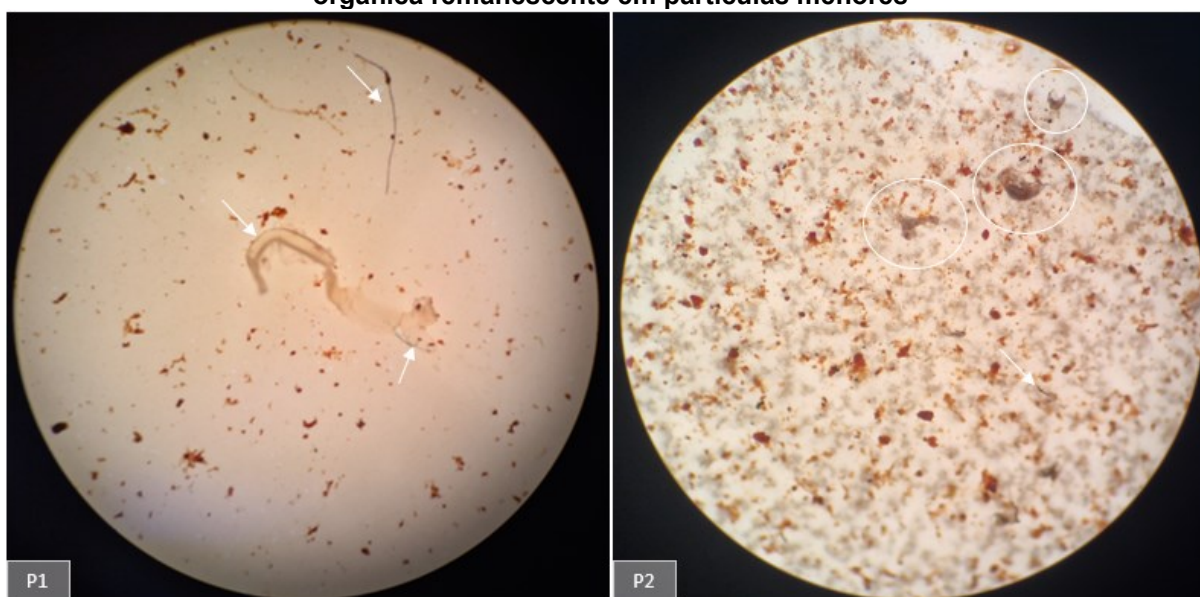
Fonte: Autoria própria (2023)

Nota-se a presença de microplásticos nas amostras de água do ribeirão Lindóia, porém, em alguns momentos, não era possível focalizar nestas partículas em decorrência das fibras da membrana de vidro; outro ponto, foi a visualização de fibras de microplásticos transparentes que podem ter sido confundidas com as fibras de vidro, pois o formato é semelhante.

Há trabalhos que utilizam outros tipos de métodos filtrantes, como o Silva (2016) com filtro de café, Souza (2020) com papel filtro quantitativo, Chalegra (2020) em lâminas microscópicas e Alves (2021) com membranas de éster de celulose.

Passando para a Metodologia II, quanto ao teste da degradação da matéria orgânica com H_2O_2 a 30%, este não foi satisfatório, que mesmo após 24 horas de processamento, não foi o suficiente para a eliminação total da matéria orgânica. As amostras passaram para a etapa de filtração. Como esperado, a matéria orgânica ainda interferiu na caracterização, onde em alguns casos foi pior do que a metodologia sem tratamento de digestão. Isso pode ter sido causado pela digestão parcial da matéria orgânica nas amostras, dividindo-as em partículas menores que se dispersaram nas membranas após a filtração (Figura 49). Ainda pela Figura 49, estão destacados alguns dos microplásticos identificados.

Figura 49 - Microplásticos em amostras após digestão com H_2O_2 por 24h; ao fundo, matéria orgânica remanescente em partículas menores



Legenda: Setas = microplásticos identificados; Elipse = partículas não categorizadas

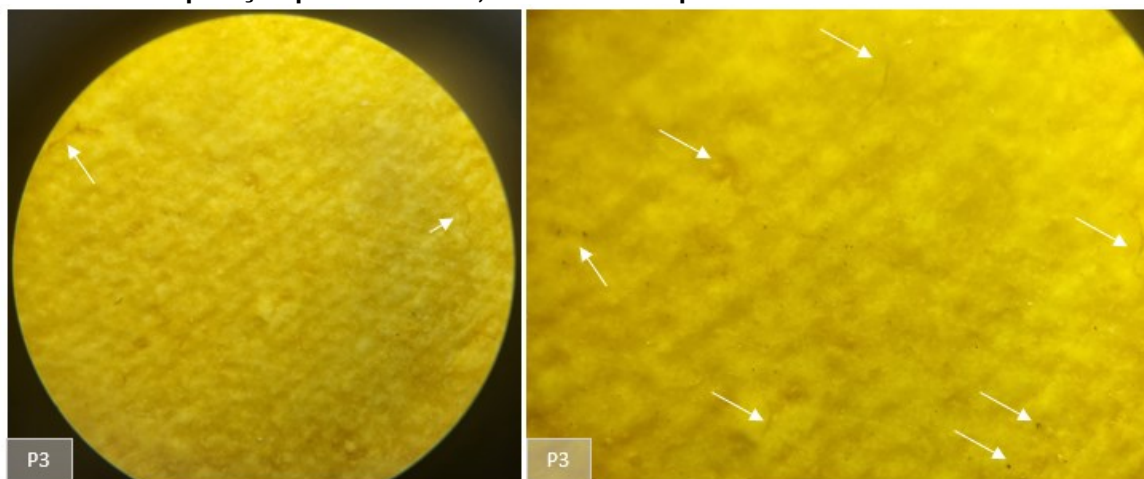
Fonte: Autoria própria (2023)

Ainda pouco se sabe o quanto o H_2O_2 pode interferir nos microplásticos em longo período de tempo, sendo uma metodologia aplicada de diversas maneiras. No estudo de Kukeingue (2019), a digestão total da matéria orgânica foi realizada durante 24h em banho maria a 65°C , sob agitação de 80 rpm de 1h em 1h, e passado o tempo, deixado a temperatura ambiente por 48 horas. Já no estudo de Souza (2020), a digestão foi realizada em 24 horas em temperatura ambiente e em seguida levados para a estufa à 90°C para secar por 72 horas. Já para Dias (2022) a digestão ácida foi apontada como ineficiente. Há estudos utilizando bases fortes, como o hidróxido de potássio (KOH), como os realizados por Karami et al. (2017), Gouveia (2018) e Moreira (2020).

Passando para a Metodologia III, usou-se os reagentes de cloreto de ferro II (FeCl_2) e sulfato férrico III ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) com adição de H_2SO_4 e H_2O_2 a 30% para a degradação da matéria orgânica.

O cloreto férrico II em pó já possui uma coloração amarelada, e, em contato com o NaCl torna-se mais vívido, atrapalhando nas posteriores caracterização visual dos microplásticos, conforme pode ser observado na Figura 50.

Figura 50 - Microplásticos em amostra após etapa de digestão com solução Fe II e H_2O_2 e separação por densidade, em estereoscópio com aumento de 200x

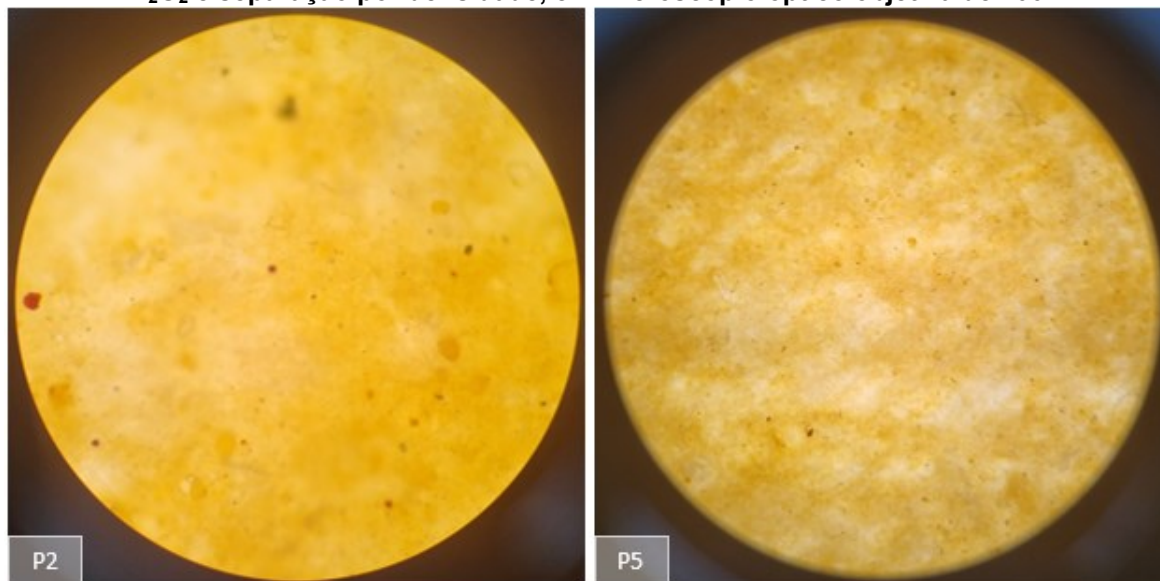


Legenda: Setas = microplásticos identificados

Fonte: Autoria própria (2023)

Já o sulfato férrico III é cinza-esverdeado, então foi utilizado como substituto do cloreto férrico II. Porém, ao adicionar NaCl, a amostra tomou uma coloração amarelada que se assemelha à obtida com o cloreto férrico (Figura 51).

Figura 51 - Possíveis microplásticos em amostras após etapa de digestão com solução Fe III e H₂O₂ e separação por densidade, em microscópio óptico objetiva de 100x

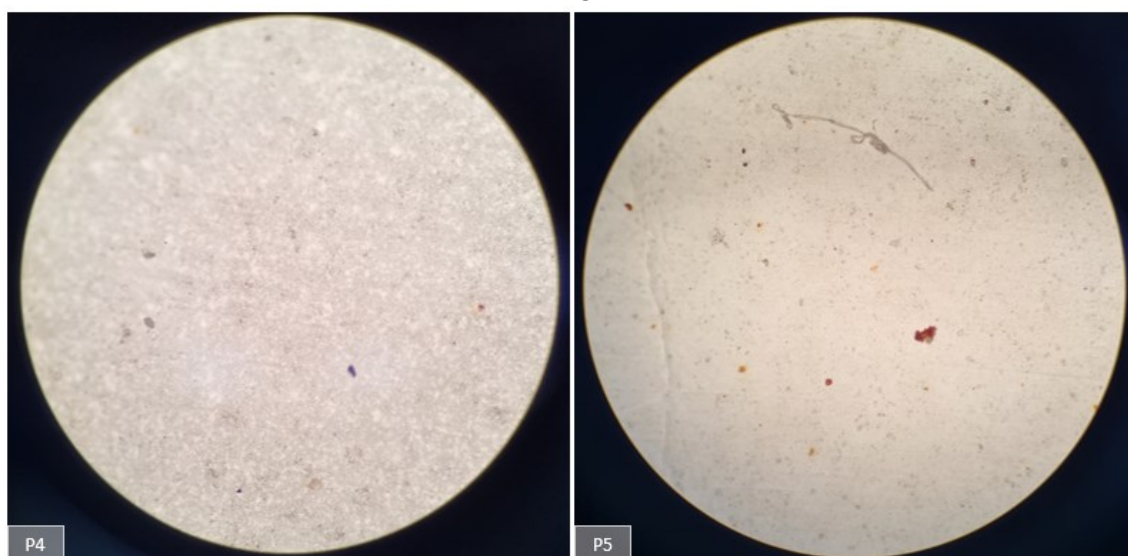


Nota: todas as partículas em destaque em relação ao fundo foram consideradas como possíveis microplásticos

Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim, com a metodologia IV, aplicou-se apenas a digestão da matéria orgânica com sulfato férrico III e filtração. As membranas obtiveram coloração bem mais clara que as demais (Figura 52), porém, a quantidade de microplásticos encontrados foi bem menor se comparado às demais metodologias.

Figura 52 - Possíveis microplásticos em amostras após etapa de digestão com solução Fe III e H₂O₂



Legenda: todas as partículas em destaque em relação ao fundo foram consideradas como possíveis microplásticos

Fonte: Autoria própria (2023)

As quatro metodologias aplicadas apresentaram vantagens e desvantagens, cabendo a cada pesquisador adotar a procedência correta de análise nestes casos. Neste estudo, o objetivo foi a verificação da ocorrência da contaminação por microplásticos no ribeirão Lindóia, o que foi observado, conforme a Figura 53, onde estão dispostos alguns dos microplásticos encontrados na área de estudo.

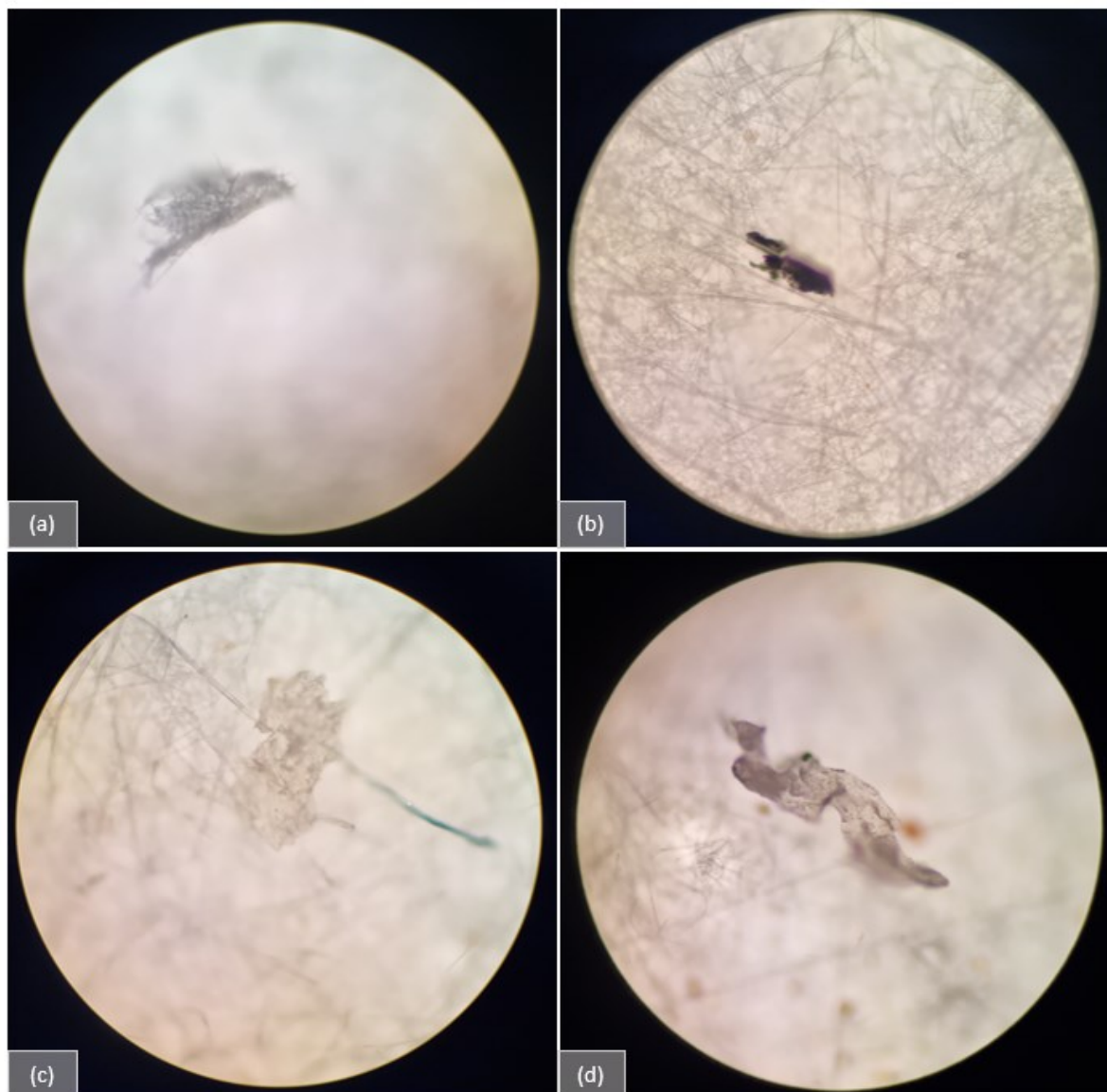
Figura 53 - Microplásticos encontrados nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia



Fonte: Autoria própria (2023)

Algumas das partículas que geraram dúvidas quanto à sua categorização podem ser vistas na Figura 54.

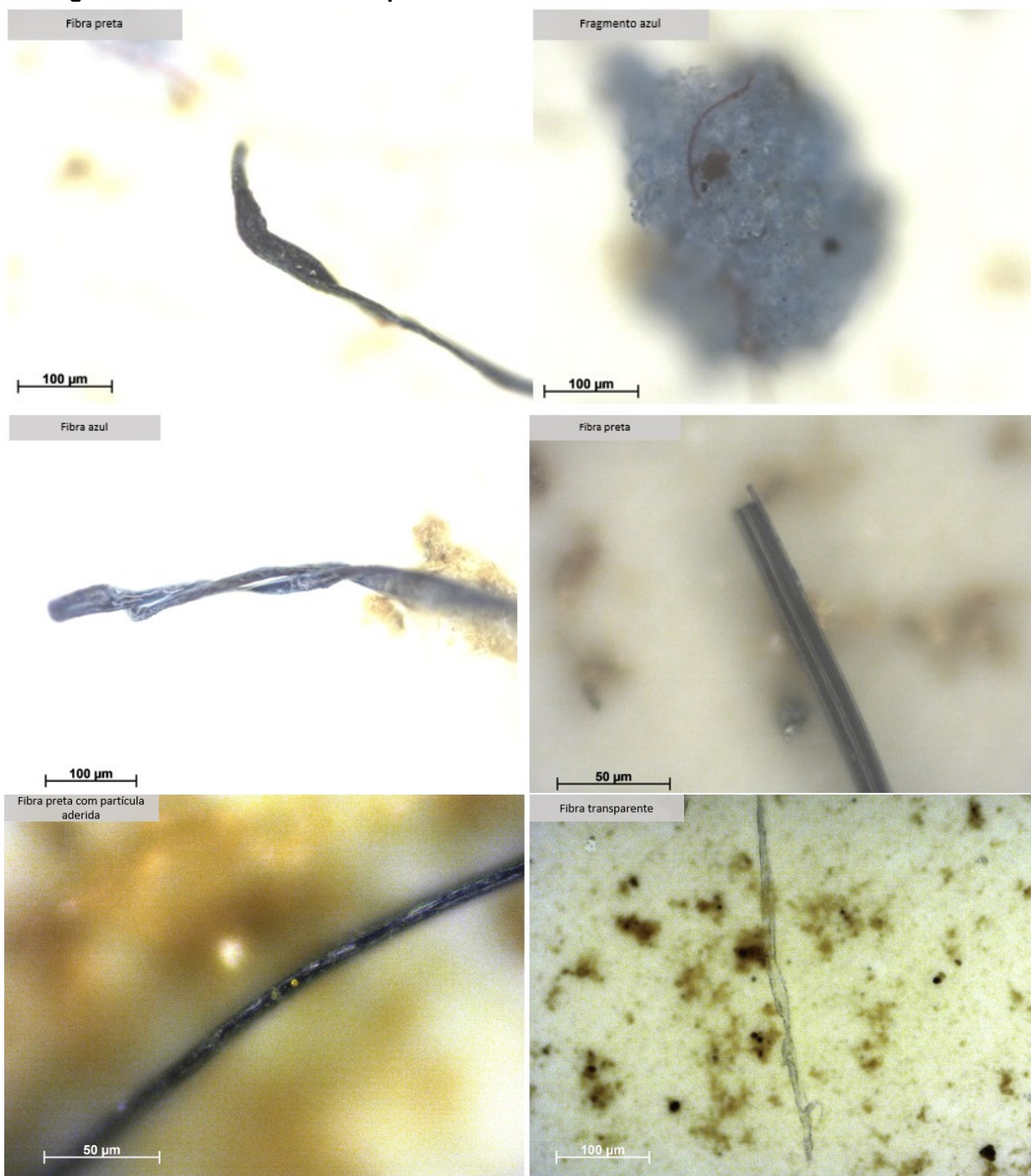
Figura 54 - Partículas não categorizadas nos pontos amostrais do ribeirão Lindóia



Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim, as fotos obtidas pelo microscópio óptico com câmera digital acoplada estão na Figura 55. Apenas nessas fotos foi possível a determinação do tamanho dos microplásticos.

Figura 55 - Tamanhos de microplásticos encontrados nas amostras do ribeirão Lindóia



Fonte: Autoria própria (2023)

Em geral, foram encontrados dois tipos de microplásticos: i) fibras e ii) fragmentos. As cores de fibras mais encontradas foram as pretas e azuis, seguido por algumas rosas, vermelhas e transparente. Já os fragmentos foram predominantes os avermelhados, com alguns azuis claros e escuros, verde claro, pretos e transparentes (em formatos diferenciais do sal cristalizado). Os tamanhos encontrados variaram de 20 μm a 200 μm , sendo apenas algumas fibras visíveis a olho nu.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica ribeirão Lindóia é predominantemente urbana, abrangendo uns dos bairros mais populosos do município de Londrina, como o Cinco Conjuntos, Parigot de Souza e Vivi Xavier. Em relação à microbacia em estudo, representadas por cinco seções amostrais, com exceção da primeira, as demais possuem taxa de ocupação de área urbana superior aos demais usos do solo, refletindo na pressão antrópica em suas matrizes ambientais.

Com exceção do ponto amostral 1, perto da nascente do ribeirão, e do ponto 4 no Lago Norte, encontrou-se focos de descarte irregular de resíduos sólidos, seja em áreas próximas ao ribeirão Lindóia ou em suas margens, se tornando um dos problemas ambientais mais recorrentes à área de estudo.

A poluição antrópica pôde ser analisada na água superficial do ribeirão a partir dos valores de condutividade elétrica, pH, coliformes totais e *E.coli*, principalmente após eventos de chuva, devido a correlação estatisticamente significativa entre os parâmetros citados, considerando que o corpo hídrico incorpora em seu meio as consequências do que ocorre em seu entorno. Além disso, o indicador de contaminação fecal, a *E.coli*, ultrapassou os valores estabelecidos de 4.000 UFC/ 100 mL pela Resolução CONAMA n° 357/2005 em 1 ponto na 1ª campanha de coleta (ponto amostral 4), e em 4 de 5 pontos analisados nas duas últimas coletas (pontos amostrais 2 a 5).

Quanto às análises toxicológicas, as amostras da água superficial do ribeirão Lindóia foram consideradas de toxicidade baixa a moderada, onde não houve relação significativa entre germinação e crescimento das radículas das sementes. Com isto, determina-se que a água do ribeirão Lindóia possui potencial tóxico.

Por fim, foram encontrados microplásticos em todos os pontos amostrais por meio das quatro metodologias testadas, evidenciando novamente a pressão antropogênica que o ribeirão sofre. Dentre as micropartículas encontradas, destacam-se os fragmentos avermelhados de 20 a 50 µm e fibras azuis e pretas, de 50 a 200 µm, sendo estas últimas, as únicas que foram visíveis a olho nu em alguns casos.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Sugere-se para os futuros trabalhos que sejam realizadas análises em diferentes estações do ano para avaliar a influência dos parâmetros de qualidade em época de estiagem e de chuva, obtendo análises estatísticas mais acuradas.

Se possível, determinar pontos amostrais próximos a foz do ribeirão Lindóia, principalmente após do despejo de efluente tratado da ETE Norte, para avaliar a diferença em sua qualidade.

Além disso, recomenda-se a análise da concentração de fósforo, nitrogênio e OD no corpo hídrico, para possíveis possibilidade de carreamento de matéria orgânica e dejetos fecais, assim como a verificação de canalização ilegal de descarte de esgoto doméstico, visto que os indicadores de patógenos estão em valores elevados.

Quanto aos microplásticos, torna-se necessária a quantificação desse contaminante no ambiente, portanto, a determinação de um protocolo e treinamento na identificação destas micropartículas pode ser necessário. Além disso, recomenda-se a análise química dos microplásticos encontrados, para confirmação de que cadeias poliméricas são formados e relacionar com os resíduos sólidos encontrados nos locais de descarte irregular ou aqueles carreados ao corpo hídrico.

Por fim, aconselha-se a análise do sedimento do ribeirão Lindóia em conjunto com as análises de água superficial, pois supõe-se que grande parte destas micropartículas podem ter sido incorporadas ao fundo do corpo hídrico.

REFERÊNCIAS

3M do Brasil. **3M™ Petrifilm™ Aqua Heterotrophic Count**. Sumaré-São Paulo. 2021.

3M do Brasil. **3M™ Petrifilm™ para Contagem de *E.coli* e Coliformes (EC)**. Sumaré-São Paulo. 2021.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos Brasil 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos Brasil 2021**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos Brasil 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

AGRIZZI, et al. Qualidade da água de nascentes do Assentamento Paraíso. **Eng Sanit. Ambient.** v. 23, n.3, 2018. p. 557-568. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018150701>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ALVES, I.O. **Primeiras evidências sobre a presença de microplásticos nas águas do Lago Paranoá**. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Química Tecnológica). Universidade de Brasília. Instituto de Química. Brasília – DF, 2021.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 326 p. Brasília, 2011.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Portal da Qualidade das Águas. **Enquadramento – Bases conceituais**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>. Acesso em: 08 ago. 2022.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Usos consuntivos da água (1931-2040)**. Boletim do SNIRH, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13230:2008**: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis: Identificação e simbologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ATLAS DO PLÁSTICO. Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos. **Fundação Heinrich Böll**, 2020. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/2020-11/Atlas%20do%20Plástico%20->

[%20versão%20digital%20-%2030%20de%20novembro%20de%202020.pdf](#). Acesso em: 05 set. 2022

BARROS, M.V.F. et al. Cursos e (per)curso das águas. **Atlas Ambiental da Cidade de Londrina**. 2008. Disponível em:

<https://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/CURSODASAGUAS.htm>.

Acesso em: 08 mai. 2023.

BARTRAM, et al. **Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety: The significance of HPCs for water quality and the human health**. Published on behalf of the World Health Organization by International Water Association (IWA) Publications London, 2003.

BASSANI, M. A. Fatores psicológicos da percepção da qualidade ambiental. In: BASSANI, M.A. et al (Ed.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/ COMPED/ INEP, 2001. p. 47-57.

BERTOLDI, C.F. **Distribuição espaçotemporal, abundância e caracterização de microplásticos em águas superficiais do Lago Guaíba**. 177 f. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química. Porto Alegre, 2022.

BERTOLDI, C.F. et al. Microplásticos em sistema de água doce: eficiência das estações de tratamento e presença em águas de abastecimento público. In: POMPEO, RANI-BORGES, PAIVA (org). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2022. p. 101-117.

BOUCHER, J.; FRIOT, D. **Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources**. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>. Acesso em: 10 mai. 2023.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº6.528/2016**. Proíbe a manipulação, a fabricação, a importação e a comercialização, em todo o território nacional, de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumaria que contenham a adição intencional de microesferas de plástico, e dá outras providências. Brasília: Câmara dos Deputados, 2016.

BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) **Resolução nº357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BROWNE, M. A. et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9179. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/es201811s>. Acesso em: 2 nov 2022.

CAMPANALE, C. et al. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.17, n. 4: p. 1212. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>. Acesso em: 25 out. 2022.

CAPANEMA, V.P.; SANCHES, I.D.A.; ESCADA, M.I.S. Comparação entre os produtos temáticos de uso e cobertura da terra do TerraClass Amazônia e MapBiomas: teste de aderência entre classes. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBRs)**, 2019

CARITÁ, R.; MARIN-MORALES, M. A. Induction of chromosome aberrations in the *Allium cepa* test system caused by the exposure of seeds to industrial effluents contaminated with azo dyes. **Chemosphere**, Elmsford, v. 72, n. 5, p.722-725, 2008.

CARVALHO, G.L.de.; SIQUEIRA, E.Q.de. Qualidade da água do rio Meia Ponte no perímetro urbano do município de Goiânia-Goiás. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 2, n. 1, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v2i1.12293>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem 2021**. In: Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice C. 66 p, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-C-Significado-ambiental-e-sanitario-das-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos-e-metodologias-analiticas-e-de-amostragem.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

CHALEGRA, S.M.A. **Análise quali-quantitativa de microplásticos em ecossistema aquático sob influência das atividades antrópicas**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2020.

CONCEIÇÃO, A.S. da. Distribuição de microplásticos ao longo da plataforma continental amazônica em um período chuvoso. 35 f. Trabalho de conclusão de curso (Licenciado em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Pará. Faculdade de Ciências Biológicas. Belém, 2021.

CONCEIÇÃO, F. et al. Influências Naturais e Antrópicas na Qualidade da Água Subterrânea de Poços de Abastecimento Público na Área Urbana de Marília (SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19. p. 227-238. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p227-238>. Acesso em: 11 jun. 2023.

COSTA, C.R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química nova**, v. 31, p. 1820-1830, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>. Acesso em: 26 mai. 2023.

DIAS, T.A. **Microplásticos no rio Mondego – variação sazonal**. 107 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa. Lisboa, 2022.

ESTEVES, F. A (coord.). Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 828 p.

EUROPEAN UNION. **Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

[content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=EN](#). Acesso em: 26 mai. 2023.

FENT, K.; WESTON, A.A.; CAMINADA, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. **Aquatic Toxicology**, v.76, p. 122-159, fev. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009>. Acesso em: 12 set. 2022.

FERNANDES, T.C.C.; MAZZEO, D.E.C.; MARIN-MORALES, M. A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Amherst, v. 88, p. 252-259, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.12.003>. Acesso em: 03 jun. 2023.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 520 p.

FISKESJÖ, G. Chromosomal relationship between three species of *Allium* as revealed by C-banding. **Hereditas**, v. 81, p.23-31, 1975.

FISKESJÖ, G.; LEVAN, A. Evaluation of the Firstten MeIC Chemicals in the *Allium cepa*. **Atlas**, New York, v. 21, p. 139-149, 1994.

FRAGA, S.C.L. Identificação e Separação dos materiais plásticos. IN: **Reciclagem de materiais plásticos**: aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. 1ª ed. São Paulo: 2014. cap.5.

GARCIAS, C.; SANCHES, A.M. Vulnerabilidades sócioambientais e as disponibilidades hídricas urbanas: levantamento teórico-conceitual e análise aplicada à região metropolitana de Curitiba – PR. **Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**, v.10, n. 2, p. 96-149. 2009 DOI: <https://doi.org/10.11606/ISSN.1984-4506.V0I10P96-111>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GEROLIN, C.R. **Poluição por microplásticos na água e sedimento do reservatório Guarapiranga, região metropolitana de São Paulo, Brasil**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental Integrada). Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema. Diadema, 2020.

GESAMP (Joint Group pf Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). **Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean**. Rep. Stud. GESAMP, n. 99, 130p. 2019. Disponível em: <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GESAMP (Joint Group pf Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). **Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment**. Rep. Stud. GESAMP, v. 90, p. 96, 2015.

GONZÁLEZ, M.G.B. et al. Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal (loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. **Journal of soils and sediments**, v. 11, n. 2, p. 281-289, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>. Acesso em: 26 mai. 2023.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GOUVEIA, R.J.S. **Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, 2018.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 09 abr. 2023

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Panorama (cidades): Londrina**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>. Acesso em: 17 mai. 2023.

Indicadores Ambientais. Programa Água Azul. 2015. Disponível em: http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/indicadores/indicadores_ambientais/. Acesso em: 15 mai. 2023.

ISO Plastics - Environmental aspects - State of knowledge and methodologies. **ISO/TR 21960:2020**.

KARAMI, A. et al. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. **Sci. Rep.** v. 7. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep46173>. Acesso em: 12 jun. 2023.

KARR, J.R. Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management. **Ecological Applications**, v.1, n. 1, p. 66-84, fev. 1991. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1941848?origin=JSTOR-pdf>. Acesso em: 04 mai. 2023.

KAZA, S. et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; © Washington, DC: World Bank. Publish by: **World Wide Fund for Nature – WWF**, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/30317>. Acesso em: 08 jun. 2023.

KUKEINGUE, F.H.M. **Influência de microplásticos sobre a diversidade de fitoplâncton na Albuferia de Crestuma-Lever**. 38 f. Dissertação (Mestrado em Biologia e Gestão de Qualidade da Água). Faculdade de Ciências, Universidade do Porto. Porto, 2019.

LELEUX, B.; KAAIJ, J.V.D. Sustainable Development Goals. In: Winning Sustainability Strategies O plástico constitui 54% dos resíduos antropogênicos liberados para o meio ambiente. **Palgrave Macmillan**, Cham, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97445-3_5.

LEVAN, A. The effect of colchicine on root mitoses in *Allium*. **Hereditas**, v. 24, p. 471-486. 1938.

LI, J.; LIU, H.; CHEN, J.P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. **Water**

Research, v. 137, p. 362-374, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>. Acesso em: 13 set. 2022.

LIMBERGER, L. **Diagnóstico físico-ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia, Londrina-PR**. 58 f. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

LIMBERGER, L.; CORRÊA, G.T. Diagnóstico Ambiental do ribeirão Lindóia (Londrina-PR): Aspectos físico-químico e bacteriológico. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, v. 2, n. 2, set. 2005.

LONDRINA (cidade). Anexo III – Mapa com os pontos de descarte irregular de resíduos – 2018. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: 2021-2041**. 2021. Disponível em: <http://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-ambiente/dca/residuos/43607-anexo-iii-mapa-com-os-pontos-de-descarte-irregular-de-residuos/file>. Acesso em: 26 mai. 2023.

LONDRINA (cidade). História. 2023. Disponível em: https://www.cml.pr.gov.br/cml/site/historia_londrina.xhtml#:~:text=Londrina%20surgiu%20em%201929%20como,nas%20terras%20onde%20surgiria%20Londrina. Acesso em: 17 mai. 2023.

LONDRINA (cidade). Instituto de Desenvolvimento de Londrina. Pontos Turísticos: Naturais. 2018. Disponível em: <https://codel.londrina.pr.gov.br/index.php/pontos-turisticos/naturais.html>. Acesso em: 17 mai. 2023.

LONDRINA (cidade). Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina – IPPUL. **SIGLON**, 2021. Disponível em: <https://portal.londrina.pr.gov.br/downloads-siglon>. Acesso em: 09 jun. 22.

LONDRINA (cidade). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: 2021-2041**. 2021. Disponível em: <http://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-ambiente/dca/residuos/43907-pmgirs-24-jan-2021/file>. Acesso em: 26 mai. 2023.

LONDRINA (cidade). **Relatório Final da Etapa 2: Avaliação Temática Integrada do Plano Diretor Municipal de Londrina**. Londrina, 2018.

LONDRINA (cidade). Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Tecnologia. **Caderno censitário do perfil de Londrina**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-planejamento/gpi/caderno-censitario-do-perfil-de-londrina/37517-caderno-censitario-do-perfil-de-londrina-versao-final/file>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LUO, Y. et al. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 473-474, p. 619-641, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>. Acesso em: 12 set. 2022.

MAIER, M.H. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55" - 48°55"W; 22°30" - 21°55"S - Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, v.39, n.2, p. 164-185. 1986.

MANZANO, A. B. **Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 7 e 7.1 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2021. Códigos de legenda. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 15 mar. 2023.

MARTINS, G. R.; RODRIGUES, E. J. da R.; TAVARES, M. I. B. Revisão da literatura sobre os eventos de degradação e adsorção em microplásticos primários e secundários. *Conjecturas*, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 368–390, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.53660/CONJ-1923-2Q10A>. Acesso em: 15 mai. 2023.

MASURA, J. et al. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. **NOOA Tech. Memo**. NOS-OR&R-48. July, 2015.

MATTHEWS, R. A.; BUIKEMA, A. L.; CAIRNS Jr., J. Biological monitoring part IIA: Receiving system functional methods relationships, and indices. **Water Research**, v.16, p.129- 139, 1982.

MENDOZA, L.M.R.; KARAPANAGIOTI, H.; ÁLVAREZ, N.R. Micro(nanoplastics in the marine environment: current knowledge and gaps. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 1, p. 47-51, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.004>. . Acesso em: 27 mai. 2023.

MENEZES, J.P.C. et al. Correlation between land use and groundwater quality. **Eng.Sanit. Ambient.**, v. 19, n. 2, p. 173-186. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000200008>. Acesso em: 23 set. 2022.

MENEZES, J.P.C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng Sanit Ambient**, v.21, n.3, p. 519-534. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>. Acesso em: 10 out. 2022.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Cienc. Rural**, v.41, n.3, Santa Maria, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000300010>. Acesso em: 25 set. 2022.

MONTAGNER, C. et al. Microplásticos: Ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Quim.Nova**, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, jun. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>. Acesso em: 15 mai. 2023.

MONTAGNER, C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e

regulatórios. **Quim.Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094- 1110, jul. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>. Acesso em: 19 out. 2022.

MORAES, D.R.de. **O Discurso sobre os Cinco Conjuntos como uma outra cidade: estudo sobre as representações da periferia de Londrina - PR (1978-2008)**. Dissertação (Mestrado em História). Faculdade de Ciências e Letras de Assis. Universidade Estadual Paulista. Assis. 2016. 147 f.

MORAES, N.G.de. **Análise de microplásticos no Rio Tietê – SP: Identificação, caracterização e quantificação de poluentes orgânicos adsorvidos**. 208 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, 2022.

MOREIRA, A.C.C. Microplástico: Impacto Ambiental de Polímeros Fotodegradados. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Universidade de São Carlos, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade. Sorocaba, 2020.

NUNES, E.C.D.; LOPES, F.R.S. **Polímeros**: conceitos, estrutura molecular, classificação e propriedades. São Paulo: Érica, 2014. cap.3.

OLIVATTO, G.P. **Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara**. 155 f. Dissertação (Mestrado em Química). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química. Rio de Janeiro, 2017.

OLIVATTO, G.P. et al. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 139, p. 157–162, dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.042>. Acesso em: 2 nov. 2022.

PANDARD, P. et al. Selecting a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 363, p. 114-125, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.12.016>. Acesso em: 03 jun. 2023.

PARANÁ (Estado). Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PARANÁ). **IDR Clima**. Aplicativo Android. 2023.

PEREIRA, C.S. et al. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 2, p. 58-66, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2020.002.0006>. Acesso em: 15 mai. 2023.

PIACENZA, L.B. 104 f. **Efeito do período de chuvas para as estruturas limnológica e microbiológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

PIAZERA, E.M. **O conceito de ambiente e o monitoramento ambiental em agroecossistemas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 2001.

PINTO, A.G.N. et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, vol.39, n.3, p.627-638, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300018>. Acesso em: 11 jun. 2023.

POMPÊO, RANI-BORGES, PAIVA (org). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2022.

PONTUSCHKA, R. B. et al. Parâmetros limnológicos e microbiológicos do rio Machado e afluentes nas proximidades da cidade de Presidente Médici, Rondônia, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.5, p.387-408, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0032>. Acesso em: 17 out. 2022.

PRUDEN, A. et al. Antibiotic Resistance Genes as Emerging Contaminants: Studies in Northern Colorado. **Environ. Sci. Technol.**, v. 40, n. 23, p. 7445–7450, ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1021/es060413l>. Acesso em: 12 set. 2022.

QUEIROZ, L.G. Microplásticos: uma abordagem introdutória. In: POMPÊO, RANI-BORGES, PAIVA (org). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2022. p. 1-7.

RANI-BORGES, B.; POMPÊO, M. Microplásticos como transportadores de poluentes em água doce e no solo. In: POMPÊO, RANI-BORGES, PAIVA (org). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2022. p. 118-133.

RANI-BORGES, B.; QUEIROZ, L.G.; POMPÊO, M. Protocolo para recuperação e caracterização de microplásticos de matrizes ambientais. In: POMPÊO, RANI-BORGES, PAIVA (org). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2022. p. 09-27.

RAPOSO, A. A; BARROS, L. F. P; JÚNIOR, A. P. M. O uso de taxas de turbidez da bacia do Alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/MG – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**, v.27, n.3, 2010.

REIS, A.J.S et al. Análise comparativa dos dados do TerraClass e MapBiomas acerca do uso e cobertura da terra para a microrregião Bragantina, Costa Amazônica Pará. **Jornal Aplicado em Hidro-Ambiente e Clima**, v. 3, n. 2, p. 21-31, jan. 2022. ISSN: 2675-5750. Disponível em: <https://jahec.ufra.edu.br/index.php?journal=JAHEC&page=article&op=view&path%5B%5D=45>. Acesso em: 09 jun. 2023.

RICHARDSON, S.D; KIMURA, S.Y. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. **Analytical Chemistry**, v.88 n.1 p.546 -582, jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b04493>. Acesso em: 2 nov. 2022.

ROY, P. et al. Degradable polyethylene: fantasy or reality. **Sci. Technol.**, v.45, n.10, p. 4217-4227, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/es104042f>. Acesso em: 18 out. 2022.

SABINO, C.V.S.; LAGE, L.V.; NORONHA, C.V.de. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Eng. Sanit.Ambient**, v.22, n.5, p. 969-983 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017158455>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SILVA, G.M.F.da. **Zoneamento urbano e qualidade hídrica: Monitoramento de alguns parâmetros físico-químicos das águas superficiais da zona urbana de Londrina – PR**. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de bacharel em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

SILVA, P.P.G. e. **Contaminação e toxicidade de microplásticos em uma área de proteção marinha costeira**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2016,

SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos). Atlas Esgoto. **Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal: Londrina**. 2017. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlas_esgoto/Paraná/Relatorio_Geral/Londrina.pdf. Acesso em: 03 jun. 2023.

SOARES, A.F.S.; SOUZA, L.P.S. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. **R. Dir. sanit.**, v.20, n.2, p.100-133, jul/out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v20i2p100-133>. Acesso em: 12 set. 2022.

SOUZA, G.R.de. **Avaliação da poluição por microplásticos nas águas do Igarapé do Mindu, no ambiente urbano de Manaus**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. Centro de Ciências do Ambiente. Manaus, 2020.

SOUZA, J. R. de et al. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>. Acesso em: 26 maio 2023.

SOUZA, M.C.S.A de; SOUZA, G.K.A. de. Poluentes Emergentes: um Perigo Silencioso para o Meio Ambiente e um Desafio para as Novas Tecnologias de Informação e Comunicação. **Direito Público**, v. 13, n.72, 15 p., nov/dez. 2016. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/direitopublico/article/view/2629/pdf>. Acesso em 12 set. 2022.

SOUZA, M.M.; GASTALDINI, M.C.C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.** v.19, n.3, Rio de Janeiro, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001097>. Acesso em: 07 out. 2022.

SPINACÉ, M.A. da; PAOLI, M.A. de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Quím. Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100014>. Acesso em: 2 nov. 2022.

SRIVASTAVA, R.; KUMAR, D.; GUPTA, S.K. Bioremediation of municipal sludge by vermitechnology and toxicity assessment by *Allium cepa*. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1867-1871, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.029>. Acesso em: 13 jun. 2023.

TEOTÔNIO, M.H.R. **Presença de microplásticos em água de torneira no plano piloto uma região administrativa de Brasília**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Universidade de Brasília. Faculdade de Ciências da Saúde. Brasília-DF, 2020.

THOMPSON, R.C. et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? **Science**, v.304, p. 838, mai. 2004. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1094559>. Acesso em: 12 set. 2022.

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas**. Inundações da América do Sul: ABRH GWP. p. 11-44. 2003.

TUCCI, C.E.M. Gestão integrada das águas urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.5, n.2, p. 71-81. 2008.

UNIVERSITY OF LEEDS. **Plastic Pollution: ISWA Plastic Pollution Calculator**. University of Leeds. United Kingdom. 2023. Disponível em: <https://plasticpollution.leeds.ac.uk/home/toolkits/calculator/>. Acesso em: 07 jun. 2023.

VETHAAK, A. D.; LEGLER, J. Microplastics and human health. **Science**, v. 371, p. 672-674. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>. Acesso em: 24 mai. 2023

VIEIRA, P.C. **Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuva em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte**. 213 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

VON SPERLING, M. **Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal**. London: IWA Publishing, v.1, 2007.

WALDMAN, W.R.; RILLIG, M.C. Microplastic Research Should Embrace the Complexity of Secondary Particles. **Environ Sci Technol.**, v.54, n. 13, p. 7751-7753. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021%2Facs.est.0c02194>. Acesso em: 27 mai. 2023.

WALTER, I.; MARTÍNEZ, F.; CALA, V. Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. **Environmental Pollution**, v. 139, p. 507-514. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.05.020>. Acesso em: 26 mai. 2023.

WRIGHT, S. L.; THOMPSON, R. C.; GALLOWAY, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 483-492, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>. Acesso em: 04 jul. 2023.

WWF (Fundo Mundial para a Natureza (Antigo World Wildlife Fund)). **Solucionar a poluição plástica: Transparência e responsabilização**. Relatório organizado por Dalberg Advisors, Gland, Suíça, 2019. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/51804/1552932397PLASTIC_REPORT_02-2019_Portugues_FINAL.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

XIA, W. et al. Rainfall is a significant environmental factor of microplastic pollution in inland waters. **Science of The Total Environment**, v. 732, p. 139065, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139065>. Acesso em: 18 out. 2022.

YOUNG, B.J. et al. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. n. 76, p. 182-186. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.019>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ZAGATTO, P.A.; GOLDSTEIN, E.G. Toxicidade em águas do Estado de São Paulo. **Revista Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 13-20, 1991. Disponível em: <https://revista.cetesb.sp.gov.br/revista/article/view/99>. Acesso em: 26 mai. 2023.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: J.A Castilhos Jr. (Ed.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**, cap. 1, p. 01-18, ABES, RIMA, Rio de Janeiro. 2003.