



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E
SUSTENTABILIDADE**

**IMPACTOS DE UM LIXÃO DESATIVADO NA QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO
DE CASO ARROIO DOURADO, FOZ DO IGUAÇU/PR.**

LIZANDRA MARTINS SOARES

Foz do Iguaçu
2026



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA
INFRAESTRUTURA
E TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E
SUSTENTABILIDADE**

**IMPACTOS DE UM LIXÃO DESATIVADO NA QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO
DE CASO ARROIO DOURADO, FOZ DO IGUAÇU/PR.**

LIZANDRA MARTINS SOARES

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof^o. Dr. Jiam Pires Frigo

Coorientadora: Prof^a. Dra. Caroline da Costa Silva Gonçalves

Foz do Iguaçu
2026

Catalogação elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação
Catalogação de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

S676

Soares, Lizandra Martins.

Impactos de um lixão desativado na qualidade da água: estudo de caso Arroio Dourado, Foz do Iguaçu-PR / Lizandra Martins Soares. – Foz do Iguaçu-PR, 2026.
142 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu-PR, 2026.

Orientador: Jiam Pires Frigo.

Coorientadora: Caroline da Costa Silva Gonçalves.

1. Água - Qualidade. 2. Metais pesados. 3. Sedimentos. 4. Peixes. 5. Bioacumulação. 6. Resíduos sólidos. 7. Meio ambiente - Contaminação. I. Frigo, Jiam Pires. II. Gonçalves, Caroline da Costa Silva. III. Título.

CDU 628.161:504.5

IMPACTOS DE UM LIXÃO DESATIVADO NA QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO ARROIO DOURADO, FOZ DO IGUAÇU/PR.

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Energia e Sustentabilidade.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JIAM PIRES FRIGO**
Data: 01/07/2026 16:01:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof^o. Dr. Jiam Pires Frigo

UNILA
Documento assinado digitalmente
 **CAROLINE DA COSTA SILVA GONCALVES**
Data: 27/06/2026 17:22:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientadora: Prof^a. Dra. Caroline da Costa Silva Gonçalves

UNILA
Documento assinado digitalmente
 **JONATHAN DIETER**
Data: 22/06/2026 10:20:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Jonathan Dieter

UFPR
Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REGINA BECKER**
Data: 22/06/2026 09:47:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Márcia Regina Becker

UNILA
Documento assinado digitalmente
 **ANDREIA CRISTINA FURTADO**
Data: 22/06/2026 12:49:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Andreia Cristina Furtado

UNILA
Documento assinado digitalmente
 **VLADIMIR PAVAN MARGARIDO**
Data: 22/06/2026 12:58:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Vladimir Pavan Margarido

UNIOESTE

Foz do Iguaçu, 28 de maio de 2026.

*“Se longe alcancei, foi porque segui passos
de gigantes.”*
- Isaac Newton-

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa e para a continuidade da minha formação acadêmica. O apoio recebido foi essencial para que este trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço também ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), pela autorização e suporte institucional que possibilitaram a realização das atividades relacionadas a esta pesquisa.

À Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e ao Projeto Fundo Azul, expresso minha sincera gratidão pelo apoio financeiro destinado à realização das análises laboratoriais. Essa parceria foi indispensável para a execução das etapas analíticas do estudo e para a obtenção dos resultados apresentados nesta tese.

Agradeço a Deus, fonte de força, sabedoria e sustento ao longo de toda essa caminhada. Em muitos momentos, quando as dificuldades pareciam maiores que minhas próprias capacidades, foi na fé que encontrei coragem para continuar. A ele, minha eterna gratidão por ter guiado meus passos, iluminado meus caminhos e permitido que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, expresso o mais profundo e sincero agradecimento. Nada disso seria possível sem o amor, o esforço e as renúncias que fizeram ao longo de toda minha vida. Obrigada por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidei, por serem meu porto seguro nos dias difíceis e minha maior torcida em cada conquista. Cada etapa vencida carrega um pouco da força de vocês, do cuidado, dos ensinamentos e do apoio incondicional que sempre me ofereceram. Essa conquista também pertence a vocês.

À minha irmã Nandra, agradeço pela parceria, pelo carinho e por estar presente em todos os momentos dessa trajetória. Obrigada por dividir comigo os medos, as angústias, as alegrias e as esperanças. Ter você ao meu lado tornou essa caminhada mais leve e mais forte.

Ao meu sobrinho Valentin, que chegou em meio a esse processo transformando completamente nossas vidas, deixo um agradecimento impossível de colocar em palavras. Sua chegada foi marcada por luta, coragem e esperança, e mesmo tão pequeno você nos ensinou sobre força, amor e fé de uma maneira profunda. Em muitos momentos difíceis dessa trajetória, foi em você que encontrei motivação para continuar. Seu sorriso, sua superação e sua existência foram luz em dias cansativos e minha maior lembrança de que

vale a pena seguir em frente. Você trouxe um novo significado para nossa família e foi, sem dúvida, umas das maiores forças que me sustentaram até aqui.

Ao meu companheiro Telmo, agradeço por toda a compreensão, apoio, incentivo ao longo dessa jornada. Obrigada por permanecer ao meu lado, compreender minhas ausências, minhas preocupações e o peso dessa trajetória acadêmica. Seu apoio emocional foi essencial, especialmente naqueles em que tudo parecia estar dando errado. Compartilhar essa fase com você tornou o percurso mais fácil e também mais possível.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, deixo minha gratidão pelos ensinamentos, contribuições e pela dedicação. Cada aprendizado construído ao longo da pós-graduação contribuiu para meu crescimento enquanto pesquisadora, profissional e também como pessoa.

Em especial, agradeço ao meu orientador Prof. Jiam, pela confiança, paciência e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por compartilhar conhecimento, pelas contribuições valiosas e por todo suporte ao longo da pesquisa. Sua orientação foi fundamental para a realização deste estudo e para meu crescimento acadêmico.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa agradeço por toda a parceria construída, pelos momentos compartilhados em campo, pelas trocas de conhecimento, pelas conversas e pelo apoio. Cada experiência vivida, cada desafio enfrentado em conjunto e cada aprendizado compartilhado são memória que guardarei e lembrarei sempre com muito carinho.

Por fim, encerro este ciclo com o coração repleto de gratidão. O doutorado foi muito mais do que uma trajetória acadêmica, foi um período de crescimento, desafios, amadurecimento e transformação. Entre dificuldades, renúncias e conquistas, aprendi sobre persistência, resiliência e sobre a importância das pessoas que caminham ao nosso lado. Nada disso teria sido possível sem o apoio, o carinho e a presença de todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada. Levo comigo não apenas os resultados desta pesquisa, mas também todas as experiências, aprendizados e memórias construídas ao longo do caminho.

Muito obrigada!

RESUMO

A água é um recurso essencial para a vida, os ecossistemas e o desenvolvimento humano, mas sua distribuição desigual, somada ao uso inadequado e a exploração excessiva, agrava os problemas de escassez em diversas regiões. Nesse contexto, a gestão racional da água é indispensável para garantir o abastecimento, a continuidade das atividades produtivas e a preservação ambiental. A qualidade da água nos rios, considerada um importante indicador da integridade ecológica, pode ser severamente comprometida pelas atividades antrópicas, especialmente em áreas urbanas e de descarte inadequado de resíduos. Assim, compreender os fatores que afetam a qualidade hídrica é fundamental para o manejo sustentável e para a manutenção da saúde dos ecossistemas aquáticos e das populações que deles dependem. A poluição de corpos hídricos por resíduos sólidos urbanos constitui um desafio crescente para a gestão ambiental, sobretudo em áreas próximas a lixões inativos, que permanecem como potenciais fontes difusas de contaminação. Este estudo teve como objetivo principal investigar a influência do lixão inativo na qualidade da água por meio da análise de metais pesados no Arroio Dourado. Para tanto, foram analisadas amostras de sedimentos e peixes. As coletas de sedimento foram realizadas entre os meses de agosto e dezembro de 2022 (bimestrais – totalizando 3 campanhas de coletas) e a amostragem ocorreu em 4 pontos (nascente, montante do lixão, jusante do lixão e exutório do Arroio Dourado – confluência com o Rio Tamanduá), já as coletas de peixes foram de forma semestral nos meses de setembro de 2022 (período seco) e fevereiro de 2023 (período chuvoso) e devido à baixa densidade populacional de peixes optou-se pela amostragem composta da extensão do Arroio Dourado, e esta deveria obter 1kg de indivíduos coletados, e uma amostra “B” (branco) oriunda de uma ramificação do Lago de Itaipú localizada na cidade de Santa Terezinha de Itaipú/PR. Após as coletas, ambas as amostras tanto de sedimento quanto a de peixes foram encaminhadas para os laboratórios responsáveis pelas análises que são: Laboratório Agrosafety e Mérieux NutriSciences, ambos localizados no estado de São Paulo. Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram a presença de diversos metais nas amostras de sedimentos e peixes, incluindo chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn), níquel (Ni), zinco (Zn) e mercúrio (Hg). De maneira geral, demonstraram que a variabilidade espacial exerceu maior influência sobre a dinâmica dos contaminantes no Arroio Dourado do que as diferenças temporais entre as campanhas. Nos sedimentos, observaram-se diferenças significativas entre os pontos amostrais, com destaque para o P3, que apresentou características físico-químicas e concentrações de metais distintas dos demais pontos, indicando maior influência antrópica associada à área do lixão inativo e à ocupação urbana do entorno. As análises multivariadas confirmaram a formação de agrupamentos espaciais bem definidos, evidenciando a influência das características locais sobre a composição sedimentar. Nos peixes, verificou-se a ocorrência de bioacumulação de metais, com variações entre os períodos seco e chuvoso, refletindo a influência da sazonalidade sobre a mobilização, disponibilidade e incorporação desses elementos na biota aquática. Os resultados indicam que as atividades antrópicas presentes na área exercem influência sobre a dinâmica dos contaminantes no sistema aquático do Arroio Dourado, reforçando a importância do monitoramento contínuo da qualidade ambiental da área e da adoção de medidas voltadas à preservação dos recursos hídricos e da biota aquática.

Palavras-chave: Metais pesados; Sedimento; Peixes; Bioacumulação; Resíduos Sólidos; Contaminação ambiental.

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la vida, los ecosistemas y el desarrollo humano, pero su distribución desigual, sumada al uso inadecuado y a la explotación excesiva, agrava los problemas de escasez en diversas regiones. En este contexto, la gestión racional del agua es indispensable para garantizar el abastecimiento, la continuidad de las actividades productivas y la preservación ambiental. La calidad del agua en los ríos, considerada un importante indicador de la integridad ecológica, puede verse severamente comprometida por las actividades antrópicas, especialmente en áreas urbanas y de eliminación inadecuada de residuos. Así, comprender los factores que afectan la calidad hídrica es fundamental para el manejo sostenible y para el mantenimiento de la salud de los ecosistemas acuáticos y de las poblaciones que dependen de ellos. La contaminación de los cuerpos de agua por residuos sólidos urbanos constituye un desafío creciente para la gestión ambiental, especialmente en áreas cercanas a vertederos inactivos, que permanecen como potenciales fuentes difusas de contaminación. Este estudio tuvo como objetivo principal investigar la influencia del vertedero inactivo en la calidad del agua mediante el análisis de metales pesados en el Arroyo Dourado. Para ello, se analizaron muestras de sedimentos y peces. Las colectas de sedimentos se realizaron entre los meses de agosto y diciembre de 2022 (bimestrales, totalizando tres campañas de muestreo) en cuatro puntos: naciente, aguas arriba del vertedero, aguas abajo del vertedero y exutorio del Arroyo Dourado (confluencia con el Río Tamanduá). Las colectas de peces se realizaron de forma semestral, en septiembre de 2022 (período seco) y febrero de 2023 (período lluvioso), y debido a la baja densidad poblacional de peces se optó por un muestreo compuesto a lo largo del Arroyo Dourado, con el objetivo de obtener 1 kg de individuos, además de una muestra “B” (blanco) proveniente de una ramificación del Lago de Itaipú, ubicada en la ciudad de Santa Terezinha de Itaipú/PR. Tras las colectas, las muestras de sedimentos y peces fueron enviadas a los laboratorios responsables de los análisis: Laboratorio Agrosafety y Mérieux NutriSciences, ambos ubicados en el estado de São Paulo. Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron la presencia de diversos metales en las muestras de sedimentos y peces, incluyendo plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), aluminio (Al), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn) y mercurio (Hg). En general, demostraron que la variabilidad espacial ejerció una mayor influencia sobre la dinámica de los contaminantes en el Arroyo Dourado que las diferencias temporales entre las campañas de muestreo. En los sedimentos, se observaron diferencias significativas entre los puntos de muestreo, destacándose el P3, que presentó características fisicoquímicas y concentraciones de metales distintas de los demás puntos, indicando una mayor influencia antrópica asociada al área del basural inactivo y a la ocupación urbana circundante. Los análisis multivariados confirmaron la formación de agrupamientos espaciales bien definidos, evidenciando la influencia de las características locales sobre la composición sedimentaria. En los peces, se verificó la ocurrencia de bioacumulación de metales, con variaciones entre los períodos seco y lluvioso, reflejando la influencia de la estacionalidad sobre la movilización, disponibilidad e incorporación de estos elementos en la biota acuática. Los resultados indican que las actividades antrópicas presentes en el área ejercen influencia sobre la dinámica de los contaminantes en el sistema acuático del Arroyo Dourado, reforzando la importancia del monitoreo continuo de la calidad ambiental del área y de la adopción de medidas orientadas a la preservación de los recursos hídricos y de la biota acuática.

Palabras clave: Metales pesados; Sedimento; Peces; Bioacumulación; Residuos sólidos; Contaminación ambiental.

ABSTRACT

Water is an essential resource for life, ecosystems, and human development, but its uneven distribution, combined with improper use and overexploitation, worsens scarcity problems in several regions. In this context, rational water management is indispensable to ensure supply, sustain productive activities, and preserve the environment. The quality of river water, considered an important indicator of ecological integrity, can be severely compromised by anthropogenic activities, especially in urban areas and places where waste is improperly disposed of. Understanding the factors that affect water quality is therefore fundamental for sustainable management and for maintaining the health of aquatic ecosystems and the populations that depend on them. Pollution of water bodies by urban solid waste represents an increasing challenge for environmental management, particularly in areas near old dumps that remain potential diffuse sources of contamination. This study aimed to investigate the influence of a deactivated dump on water quality through the analysis of heavy metals in the Arroio Dourado stream. Sediment and fish samples were analyzed. Sediment sampling was conducted from August to December 2022 (bimonthly, totaling three sampling campaigns) at four points: the spring, upstream and downstream of the dump, and the outlet of Arroio Dourado (confluence with the Tamanduá River). Fish sampling occurred semiannually in September 2022 (dry season) and February 2023 (rainy season). Due to low fish density, a composite sample was obtained along the stream, totaling 1 kg of individuals, in addition to a “B” (blank) sample from a branch of the Itaipú Lake, located in Santa Terezinha de Itaipú/PR. After collection, both sediment and fish samples were sent to the Agrosafety and Mérieux NutriSciences laboratories, located in the state of São Paulo. The results obtained in this study revealed the presence of several metals in sediment and fish samples, including lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), iron (Fe), aluminum (Al), manganese (Mn), nickel (Ni), zinc (Zn), and mercury (Hg). Overall, demonstrated that spatial variability exerted a greater influence on contaminant dynamics in Arroio Dourado than temporal differences among sampling campaigns. In sediments, significant differences were observed among sampling sites, particularly at P3, which showed distinct physicochemical characteristics and metal concentrations compared to the other sites, indicating greater anthropogenic influence associated with the former dumpsite area and the surrounding urban occupation. Multivariate analyses confirmed the formation of well-defined spatial groupings, highlighting the influence of local characteristics on sediment composition. In fish, metal bioaccumulation was observed, with variations between the dry and rainy seasons, reflecting the influence of seasonality on the mobilization, availability, and incorporation of these elements into the aquatic biota. The results indicate that anthropogenic activities present in the area influence contaminant dynamics in the aquatic system of Arroio Dourado, reinforcing the importance of continuous environmental monitoring and the adoption of measures aimed at preserving water resources and aquatic biota.

Keywords: Heavy metals; Sediment; Fish; Bioaccumulation; Solid waste; Environmental contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fluxograma do Estado do conhecimento.....	19
Figura 2 Histórico da utilização da área do Lixão Arroio Dourado na cidade de Foz do Iguaçu.....	63
Figura 3 Modelo de Bioacumulação e Bioconcentração em peixes.	79
Figura 4 Processo de biomagnificação no sistema aquático. Produtores (Pd), Consumidor Primário (Cs1), Consumidor Secundário (Cs2), Consumidor Terciário (Cs3), Consumidor Quaternário (Cs4).	80
Figura 5 Localização de Estado do Paraná e do município de Foz do Iguaçu.	83
Figura 6 Localização da Microbacia Arroio Dourado e da Bacia do Rio Tamanduá.....	84
Figura 7 Pontos de coleta de sedimento	85
Figura 8 Box-plot das concentrações de Pb (Chumbo) no P1.	91
Figura 9 Box-plot das concentrações de Cr (Cromo) no P3.....	92
Figura 10 PCA - Biplot dos componentes dos sedimentos do Arroio Dourado	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Caracterização dos artigos.	20
Quadro 2 Objetivos, método de análise e palavras chaves dos artigos selecionados.	22
Quadro 3 Caracterização das Dissertações e Teses.	43
Quadro 4 Classificação dos resíduos sólidos segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	55
Quadro 5 Classificação dos resíduos sólidos de acordo com ABNT.	56
Quadro 6 Caracterização de lixões, aterros controlados e aterros sanitários	59
Quadro 7 Principais metais pesados e seus efeitos na saúde humana.	68
Quadro 8 Concentração de metais pesados nas amostras.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Caracterização dos ecossistemas sedimentares.	74
Tabela 2 Valores de referência para sedimentos de água doce, segundo a CONAMA nº 454/2012.	76
Tabela 3 Valores orientadores para sedimento de acordo com CCME (2001)	77
Tabela 4 Caracterização dos pontos de amostragem do Arroio Dourado.....	86
Tabela 5 Descrição dos peixes coletados no Arroio Dourado	87
Tabela 6 Estatística descritiva dos pontos amostrais.....	90
Tabela 7 Método estatístico aplicado (ANOVA) e significância das diferenças entre as campanhas (C1-C3) e os pontos de amostragem (P1-P4) para os parâmetros avaliados nos sedimentos do Arroio Dourado.	94
Tabela 8 Teste de Tukey e diferenças significativas entre os pontos de amostragem (P1-P4) para os parâmetros avaliados nos sedimentos do Arroio Dourado.	96
Tabela 9 Cargas fatoriais da análise de Componentes Principais (PCA).	96
Tabela 12 Concentrações de metais nas amostras de peixes do Arroio Dourado	107

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
OBJETIVOS	17
1. ESTADO DO CONHECIMENTO: METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS E PEIXES.....	18
1.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS	20
1.2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE DISSERTAÇÕES/TESES.....	43
2. QUALIDADE DA ÁGUA E RESÍDUOS SÓLIDOS	48
2.1 A ESSÊNCIA LÍQUIDA: A IMPORTÂNCIA E OS IMPACTOS DA QUALIDADE DA ÁGUA.	48
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS: DA GESTÃO AO DESTINO FINAL.....	54
2.3 LIXÃO ARROIO DOURADO – FOZ DO IGUAÇU/PR.....	62
2.3.1 Principais impactos nos rios urbanos.	64
3. POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS: EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA E NA BIODIVERSIDADE.	67
3.1 METAIS PESADOS.....	67
3.2 METAIS PESADOS NO AMBIENTE AQUÁTICO	71
3.2.1 Metais pesados em sedimento	73
3.2.2 Metais pesados em peixes	77
4. O OLHAR CIENTÍFICO E OS CAMINHOS DA INVESTIGAÇÃO: DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA.	83
4.1 ÁREA DE ESTUDO	83
4.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO.....	84
4.2.1 Parâmetros Pesquisados	86
4.3 AMOSTRAGEM DE PEIXE	86
4.3.1 Parâmetros analisados	88
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APÊNDICE 1: POP – Procedimento Operacional padrão para amostragem de sedimento	129
APÊNDICE 2: Parâmetros analisados, LQ e identificação do laboratório responsável pela realização das análises de sedimento	132

APÊNDICE 3: POP – Procedimento Operacional Padrão para amostragem de peixes	
.....	138
APÊNDICE 4: Parâmetros analisados, LQ e referência de método utilizado pelo	
laboratório nas análises de peixes	141

INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital e insubstituível para a manutenção da vida, o funcionamento dos ecossistemas e o desenvolvimento humano. Apesar de sua abundância no planeta, sua disponibilidade não é homogênea, pois a má distribuição entre regiões, aliada ao uso inadequado, ao desperdício e à exploração excessiva, agrava os problemas de escassez em diversos lugares. Nesse cenário, a gestão racional da água torna-se imprescindível para garantir o abastecimento das populações humanas, a continuidade das atividades produtivas e a preservação da qualidade da água dos ambientes naturais (Bordalo, 2017).

A qualidade da água em rios constitui um dos indicadores mais relevantes da integridade ambiental e do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Esses ambientes desempenham papel fundamental no fornecimento de água para o consumo humano, irrigação, recreação, pesca e manutenção da biodiversidade. No entanto, a qualidade hídrica pode ser significativamente comprometida pela intensificação das atividades antrópicas, sobretudo em áreas próximas a centros urbanos e locais de descarte de resíduos de forma condenável. Assim, compreender os fatores que afetam a qualidade da água torna-se essencial para o manejo sustentável dos recursos hídricos e para a preservação da saúde dos ambientes aquáticos e das populações humanas que deles dependem (Soares; Ferreira, 2017).

A contaminação ambiental por metais pesados representa um dos principais desafios contemporâneos para a saúde pública e a conservação de corpos d'água. Esses elementos, mesmo em baixas concentrações, apresentam caráter tóxico, persistente e bioacumulativo, podendo comprometer a integridade dos organismos aquáticos e, conseqüentemente, da população que utiliza destes recursos para a subsistência (Mwalikenga; Vital, 2020). Nesse contexto, rios e ambientes dulcícolas localizados em áreas com histórico de disposição inadequada de resíduos sólidos representam zonas de especial atenção, visto que atuam como receptores e carreadores potenciais de contaminantes (Van Elk *et al.*, 2022).

No Brasil, apesar da crescente regulamentação voltada à gestão dos resíduos sólidos, é comum encontrar lixões ativos e desativados e que permanecem como fontes difusas de poluição ambiental. A exposição de resíduos ao ar livre favorece o escoamento superficial e a lixiviação de metais pesados para o solo e para os corpos hídricos adjacentes, ocasionando impactos que se prolongam no tempo e atingem tanto a biota

aquática quanto as comunidades ribeirinhas.

Diante desse cenário, analisou-se o Arroio Dourado, curso d'água submetido a múltiplas pressões antrópicas. Suas áreas de nascente e trechos a jusante são influenciados por diversas atividades, dentre elas a agrícola com cultivo de soja e milho. A bacia hidrográfica é fortemente impactada por um lixão desativado que recebeu resíduos sólidos de forma descontrolada entre 1960 e 1992 e que permanece sem recuperação ambiental a mais de três décadas. Assim, torna-se essencial avaliar se tais passivos ambientais estão influenciando a qualidade do Arroio Dourado que margeia a região, particularmente por meio da análise de sedimentos que são reconhecidos como compartimentos acumuladores de contaminantes, e de peixes, organismos que funcionam como bioindicadores por refletirem processos de biacumulação e biomagnificação.

O presente estudo tem como objetivo investigar a qualidade da água por meio da análise de metais pesados no Arroio Dourado, rio este adjacente ao antigo lixão, de modo a verificar possíveis correlações entre a atividade antrópica pretérita e a qualidade ambiental do ecossistema aquático. Além de contribuir para o entendimento científico sobre a dinâmica de contaminantes em ambientes dulcícolas, esta pesquisa busca fornecer subsídios relevantes para estratégias de monitoramento e mitigação dos impactos ambientais e sociais associados à disposição inadequada de resíduos sólidos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

- Investigar a influência do lixão inativo na qualidade da água por meio da análise de metais pesados em amostras de sedimentos e peixes no Arroio Dourado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a presença e a concentração de metais pesados no sedimento de fundo do Arroio Dourado.
- Verificar os níveis de metais pesados do Arroio Dourado em peixes como bioacumuladores.
- Correlacionar a influência do antigo lixão com as concentrações de metais pesados nos pontos amostrais de sedimento ao longo do Arroio Dourado.

1. ESTADO DO CONHECIMENTO: METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS E PEIXES

O estado do conhecimento pode ser descrito como o processo de identificar, registrar e categorizar a produção científica de uma área específica durante um determinado período de tempo. Isso envolve a coleta e análise de periódicos, teses, dissertações e livros relacionados a um assunto específico, a fim de promover a reflexão e a síntese do conhecimento disponível, tornando-se um objeto de suma importância, visto que busca verificar o caráter inédito do estudo pretendido ou suscitar novas perspectivas sobre o tema, pois possibilita uma visão ampla e atual dos movimentos da pesquisa ligados ao tema da investigação que pretendemos desenvolver.

Nesse sentido, o procedimento de pesquisa teórica/bibliográfica visa o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre o assunto que irá direcionar o estudo científico. Para Gil (2002, p.44) a pesquisa bibliográfica “[...] é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos”.

E, segundo Severino (2007), a pesquisa bibliográfica realiza-se pelo:

[...] registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc. Utilizam-se dados de categorias teóricas já trabalhadas por outros pesquisadores e devidamente registrados. Os textos tornam-se fontes dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir de contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos (Severino, 2007, p. 122).

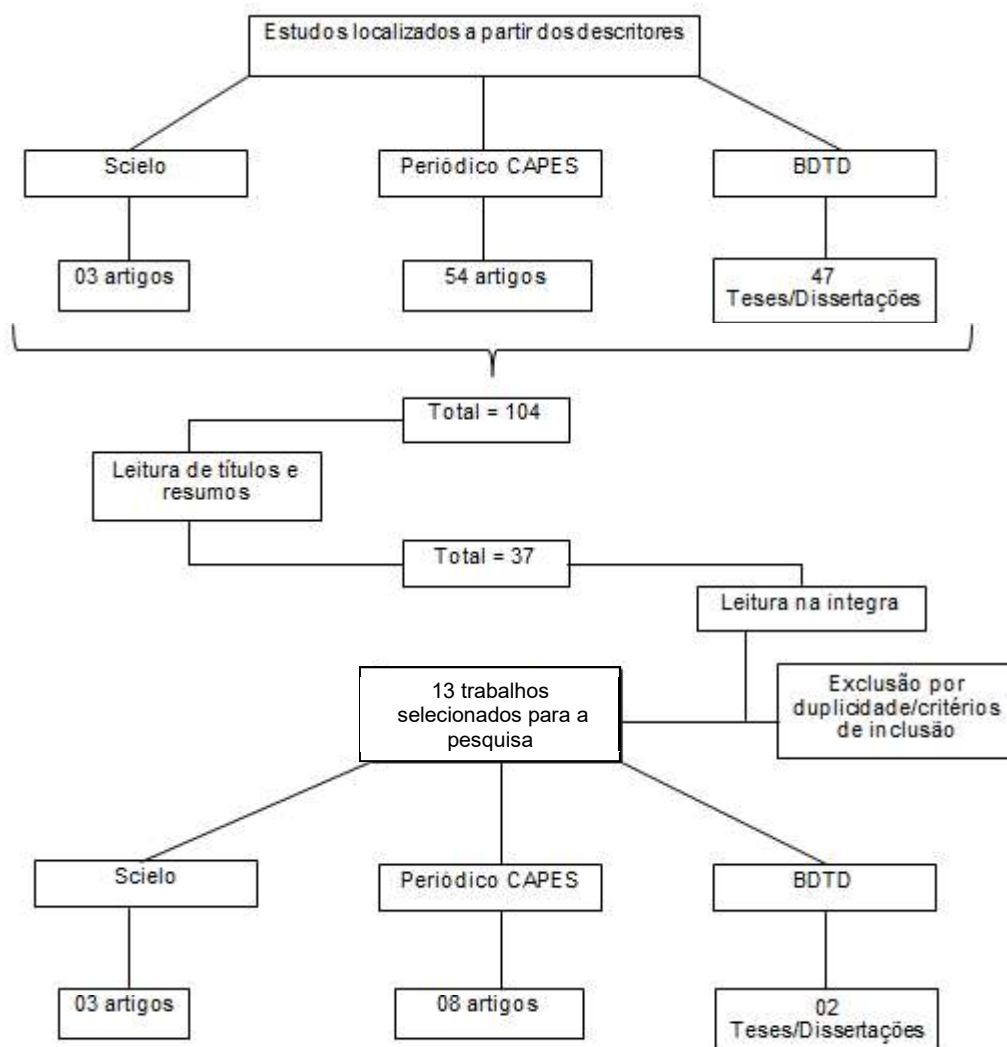
Desse modo, com o objetivo de verificar as produções *stricto sensu* e artigos a partir do tema proposto neste estudo, efetuamos uma busca de trabalhos dos últimos cinco anos (2019 a 2023) disponibilizados na base de dados Scielo, Periódicos Capes e Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) no idioma português e inglês. Para a busca do material bibliográfico foram utilizados os seguintes descritores: “*heavy metals*”; “*sediment*”; “*fish*”, “*solid waste*”, “*landfills*”, combinados entre si pelo operador booleano AND. Foram incluídos na pesquisa artigos científicos, teses e dissertações. A busca ocorreu no ano de 2023 nos meses de março, abril e junho.

Para o procedimento de busca, foram considerados os critérios já mencionados e após a identificação dos estudos, o procedimento correspondeu à leitura do título, das palavras-chave e dos resumos, selecionando as publicações que atendam ao objetivo deste estudo, e posteriormente realizada a leitura na íntegra. A partir disso foi elaborada uma análise de forma descritiva, possibilitando observar, descrever e classificar os dados, com o

intuito de reunir conhecimento produzido sobre o tema explorado na revisão.

Na etapa inicial da busca a partir da combinação dos descritores, encontramos 104 estudos, sendo 03 artigos na plataforma Scielo, 54 no Periódico CAPES, 47 trabalhos na Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações/BDTD. Na figura 1 é possível visualizar o percurso da seleção dos estudos.

Figura 1 Fluxograma do Estado do conhecimento



Fonte: Autora (2023)

Após a leitura dos 37 trabalhos na íntegra, foram selecionados e incluídos para análise, 11 artigos e 02 teses/dissertações. Os demais estudos foram excluídos por não atenderem os critérios preestabelecidos tais como os objetivos da pesquisa. Também foram excluídas as pesquisas duplicadas.

E para vislumbrar e caracterizar de modo mais específico cada publicação, achamos relevante dividir em duas etapas de descrição/análise, a primeira etapa contempla os

artigos e a segunda, as teses e dissertações selecionadas na busca.

1.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ARTIGOS CIENTÍFICOS

Com relação aos artigos selecionados na pesquisa bibliográfica, dados como autor(a)/ título/ ano, base de dados, periódico/Qualis estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 Caracterização dos artigos.

Autor/Título/Ano	Base de dados	Periódico/Qualis 2019
RAMÍREZ-AYALA, Eduardo <i>et. al.</i> Heavy metals in sediment and fish from two coastal lagoons of the Mexican Central Pacific. 2021.	SCIELO	Latin American Journal of Aquatic Research Qualis B2
AVEIGA ORTIZ, Ana María <i>et. al.</i> Distribución de metales pesados em agua, sedimentos e peces del Río Carrizal, Ecuador. 2022.	SCIELO	Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental Sem qualis
ARGUMEDO, C. Doria. Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) em tejidos de <i>Ariopsis felis</i> y <i>Diplodus annularis</i> em el río Ranchería, norte de Colombia. 2021.	SCIELO	Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Sem qualis
PEREIRA, Eliane de Andrade Araújo <i>et. al.</i> Sediment and tissue analysis for metals in a tropical estuary. 2020.	Periódicos CAPES	Regional Studies in Marine Science Qualis A3
ZERIZGHI, Teklit <i>et. al.</i> Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China. 2020.	Periódicos CAPES	Environmental Monitoring and Assessment Qualis A2
ARISEKAR, Ulaganathan <i>et al.</i> Human health assessment oh heavy metals in aquatic sediments and freshwater fish caught from Thamirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu. 2020.	Periódicos CAPES	Marine Pollution Bulletin Qualis A1

SILVA, Marcelo Henrique Lopes <i>et. al.</i> Determination of metals in estuarine fishes in a metropolitan region of the coastal zone of the Brazilian Amazon. 2023.	Periódicos CAPES	Marine Pollution Bulletin Qualis A1
NASIR, Muhammad <i>et. al.</i> Heavy Metals in the Water, Sediment, and Fish Harvested from the Krueng Sabee River Aceh Province, Indonesia. 2021.	Periódicos CAPES	Journal of Ecological Engineering Qualis A1
SILVA, Cleber Pinto da <i>et. al.</i> Bioaccumulation and bioconcentration of metals in Characidae from a Neotropical river basin under anthropic activities. 2021.	Periódicos CAPES	Environmental Science and Pollution Research Qualis A2
VIANA, Lucilene Finoto <i>et. al.</i> Metal bioaccumulation in fish from the Araguari River (Amazon biome) and human health risks from fish consumption. 2023.	Periódicos CAPES	Environmental Science and Pollution Research Qualis A2
KÖSE, Esengül <i>et. al.</i> Assessment of Ecologic Quality in Terms of Heavy Metal Concentrations in Sediment and Fish on Sakarya River and Dam Lakes, Turkey. 2020.	Periódicos CAPES	Soil and Sediment Contamination: An International Journal Qualis A4

Fonte: Autora (2023)

Considerando os 11 artigos selecionados, 03 foram localizados na plataforma SCIELO (27,27%) e 08 no Periódicos CAPES (72,72%). Quanto ao ano de publicação, 4 em 2020 (36,37%); 4 em 2021 (36,37%); 1 em 2022 (9,09%) e 2 em 2023 (18,19%). Observa-se que a maioria dos artigos se concentra entre 2020 e 2021, o que denota informações atualizadas e também o interesse recente e crescente dos autores acerca da investigativa “Metais pesados em sedimentos e peixes”.

No que tange os periódicos, é possível perceber que 3 estão publicados em revista com qualis A1 (27,27%); 4 em A2 (27,27%); 1 em A3 (9,09%); 1 em A4 (9,09%); 1 em B2 (9,09%) e 2 artigos em revista sem qualis (18,19%). Para esta análise foi utilizada a tabela Qualis/CAPES de 2019.

O Quadro 2 apresenta uma descrição dos objetivos, método de análise e palavras

chaves de cada artigo.

Quadro 2 Objetivos, método de análise e palavras chaves dos artigos selecionados.

Autor/Título/Ano	Objetivo	Método de análise	Palavras-Chave
RAMÍREZ-AYALA, Eduardo <i>et. al.</i> Heavy metals in sediment and fish from two coastal lagoons of the Mexican Central Pacific. 2021.	Analisar a concentração de As, Cd, Pb e Hg no sedimento e a concentração de Hg no músculo de peixes de duas lagoas costeiras nos estados de Jalisco (Lagoa Barra de Navidad) e Colima (Lagoa Cuyutlán), México.	Espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS, Agilent 7900 ICP-MS)	Metais pesados; Sedimento; Quociente de perigo não cancerígeno; Consumo de peixe; Lagoa costeira; México.
AVEIGA ORTIZ, Ana María <i>et. al.</i> Distribución de metales pesados en agua, sedimentos e peces del Río Carrizal, Ecuador. 2022.	Analisar a distribuição de metais pesados (Pb, Cd e Cu) na água, sedimentos e peixes do rio Carrizal, Manabí - Equador.	APHA AWWA WEF 3111-B, utilizando espectrofotômetro de absorção atômica.	Água do rio, Biomagnificação, Poluição, Ictiofauna, Metais pesados.
ARGUMEDO, C. Doria. Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) em tejidos de Ariopsis felis y Diplodus annularis em el río Ranchería, norte de Colombia. 2021.	Avaliar os níveis de bioconcentração de alguns metais pesados (Zn, Hg e Pb) em peixes Ariopsis felis (peixe-gato) e Diplodus annularis (mojarra) — de grande importância nutricional para a população ribeirinha, a fim de medir o impacto poluente destes metais neste ecossistema aquático superficial, como resultado de atividades humanas.	Espectrofotometria de absorção atômica, usando equipamentos Thermo Scientific ICE 3500, com correção de fundo Zeeman e lâmpada de deutério D2.	Espectrofotometria de absorção atômica; Metais pesados; Tecidos de Peixes; Rio Ranchería.
PEREIRA, Eliane de Andrade Araújo <i>et. al.</i> Sediment and tissue analysis for metals in a tropical estuary. 2020.	Avaliar o acúmulo de metais (Al, As, Cd, Cr, Hg, Sr, Ni, Pb e Zn) em sedimentos e em tecidos do organismo (<i>C. rhizophorae</i> , <i>A. flexuosa</i> , <i>Litopenaeus schmitti</i> e <i>Mugil curema</i>).	Espectrometria de emissão óptica de plasma (ICP-OES) para análise de Al, Cr, Sr, Ni e Zn e espectrometria de massa de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) para o análise de As, Cd, Hg e Pb.	Fatores de bioacumulação; Períodos sazonais; Pesticidas; Escoamento agrícola trófico secundário.
ZERIZGHI, Teklit <i>et. al.</i> Ecological risk	Investigar as concentrações de metais	Espectrometria de massa de plasma	Risco ecológico potencial; Consumo de

assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China. 2020.	no sedimento do lago Baiyangdian e em tecidos musculares de diferentes peixes amostrados do lago, para avaliar o estado de poluição e potencial riscos ecológicos dos contaminantes no sedimento, e avaliar também o risco à saúde humana que pode ser causado através do consumo de peixe.	acoplado indutivamente.	peixe; Risco de vida; Índice de geoacumulação; Ingestão dietética
ARISEKAR, Ulaganathan <i>et al.</i> Human health risk assessment of heavy metals in aquatic sediments and freshwater fish caught from Thamirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu. 2020.	Explorar o impacto de metais pesados no peixe e sedimentos desta região.	Espectrometria de Massa de Plasma Acoplado Indutivamente Quadrupolo Único (SQ-ICP-MS).	Peixe Sedimento aquático; Metais pesados; Limite residual máximo; Risco cancerígeno; Risco não cancerígeno;
SILVA, Marcelo Henrique Lopes <i>et al.</i> Determination of metals in estuarine fishes in a metropolitan region of the coastal zone of the Brazilian Amazon. 2023.	Determinar o conteúdo de cádmio, cromo, cobre, ferro e manganês em peixes de diferentes níveis tróficos capturados nos três baías (São Marcos, São José e Arraial) que formam o Golfo do Maranhão.	Espectrometria de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente.	Contaminação; Monitoramento; Tecido muscular; Toxicidade;
NASIR, Muhammad <i>et al.</i> Heavy Metals in the Water, Sediment, and Fish Harvested from the Krueng Sabee River Aceh Province, Indonesia. 2021.	Examinar as concentrações de Cd, Cu e Pb nas águas, sedimentos e peixes colhidos no rio Krueng Sabee, província de Aceh, Indonésia.	Espectrofotometria de Absorção Atômica (AAS).	Qualidade da água; Sedimento; Mina de ouro; Peixe; Metais pesados; Krueng Sabee.
SILVA, Cleber Pinto da <i>et al.</i> Bioaccumulation and bioconcentration of metals in Characidae from a Neotropical river basin under anthropic activities. 2021	Avaliar as concentrações de Cr, Ni, Cd, Pb, Cu, Mn, Co e Zn nas amostras de água e sedimento do leito do rio Verde Bacia hidrográfica (VR), e em amostras de tecido de dois peixes nativos, o	Espectrometria de absorção atômica (Varian®, AA 240Z) com atomização eletrotérmica em forno de grafite (modelo GTA 120) e equipado com um corretor Zeeman transversal para	Metais tóxicos; Contaminação da água; Contaminação sedimentar; Psalidodon paranae; Psalidodon af. Fasciatus; Bioindicadores.

	Psilidodon paranae, habitante do VR, e o Psilidodon aff. fasciatus, uma espécie migratória.	correção de fundo com amostrador automático (modelo PSD 120).	
VIANA, Lucilene Finoto <i>et. al.</i> Metal bioaccumulation in fish from the Araguari River (Amazon biome) and human health risks from fish consumption. 2023.	Determinar as concentrações de metais em amostras musculares de peixes; Avaliar bioacumulação de metais no tecido muscular de espécies de peixes com diferentes comportamentos alimentares e investigar os riscos de metais simples, bem como misturas de metais, para consumo humano de peixes.	Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Shimadzu, modelo AA7000, Japão), com atomização por chama, para quantificar Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu e Zn. Para quantificar o Hg foi utilizado um gerador de hidreto acoplado com Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente.	Poluição do ambiente aquático; Amazônia brasileira; Ingestão diária estimada (EDI); Mistura de metais; Avaliação de risco.
KÖSE, Esengül <i>et. al.</i> Assessment of Ecologic Quality in Terms of Heavy Metal Concentrations in Sediment and Fish on Sakarya River and Dam Lakes, Turkey. 2019.	Analisar a presença de metais pesados como: Cr, Ni, Cu, Zn e níveis de Pb em amostras de sedimento e em tecidos (fígado, brânquias e músculos) de peixes.	Analytic Jena ContrAA 700 (alta resolução espectrômetro de absorção atômica de fonte contínua).	Poluição; Metais; Acumulação; Bioacumulação.

Fonte: Autora (2023)

Ramírez-Ayala *et al.* (2021) em seu estudo que tem como título “*Heavy metals in sediment and fish from two coastal laggons of the Mexican Central Pacific*” objetivou avaliar o possível risco de concentrações de Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e Cromo (Cr) em sedimentos e Hg em peixes de duas lagoas costeiras do México (Lagoa Barra de Navidad-BNL e Lagoa Cuyutlán-CL). Para isso, os valores obtidos em seus achados foram comparados com os valores de orientação ambiental internacional para o risco ecotoxicológico de vestígios de metais em sedimentos e, tolerâncias máximas de ingestão de metais para humanos. A pesquisa não deixa claro qual o percurso metodológico utilizado no trabalho. A determinação de metais pesados no sedimento foi realizada por espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS, Agilent 7900 ICP-MS), e estatisticamente os dados foram analisados pela Análise de Variância (ANOVA) com o $p < 0,05$.

De acordo com os resultados apresentados, não foram encontradas concentrações que ultrapassassem os limites de detecção para Hg (DL $<0,05 \mu\text{g g}^{-1}$), porém os autores ressaltam que apesar de nenhuma amostra de sedimento não apresentar mercúrio acima do limite, isso não é suficiente para quantificar a bioacumulação desse metal nas cadeias alimentares aquáticas. Com isso a simples presença de mercúrio mesmo que abaixo do limite de detecção pode estar se acumulando ao longo do tempo nos níveis mais baixos da cadeia (inclui invertebrados bentônicos ou dietas de animais associados ao ciclo estuarino da matéria orgânica). As concentrações de Cd também foram encontradas abaixo do limite, porém em contrapartida as concentrações de As (Arsênio) em ambas as lagoas investigadas excederam os limites de detecção, assim como o Pb, notou-se então que houve diferenças entre os locais de amostragem, principalmente para Pb que apresentaram as maiores concentrações nas áreas mais próximas à foz tanto na Lagoa Navidad quanto na Cuyutlán, e isso se deve provavelmente com a proximidade de um assentamento, onde a atividade desenvolvida pelas pessoas é a pesca, e os motores de popa dos barcos segundo os autores são importantes fontes de Pb em sedimentos costeiros.

A exposição de organismos aquáticos a poluentes ambientais tóxicos, mesmo em baixas concentrações, representa um risco potencial de toxicidade a ser considerado. Pode afetar o equilíbrio ecológico da vida selvagem dos ecossistemas afetados e diretamente a saúde das pessoas pertencentes a comunidades fortemente dependentes desses recursos e da população em geral. Pouco se sabe sobre o resultado patológico da exposição crônica a poluentes ambientais em quantidades vestigiais na região. A presença e bioacumulação de alguns metais pesados (principalmente Hg em sua forma orgânica metilmercúrio - MeHg) nas redes tróficas dos ecossistemas aquáticos pode constituir um risco para a saúde humana, nesse estudo a maioria dos organismos analisados pode ser considerada como microconcentradores, porém o risco potencial à saúde humana devido à exposição ao Hg associado ao consumo de pescado contaminado é motivo de preocupação devido ao fato de que várias doenças foram relacionadas à exposição de baixas concentrações desse poluente, como câncer, neurotoxicidade, doenças cardiovasculares, desregulação endócrina e defeitos neurológicos no feto em desenvolvimento quando exposto ao metilmercúrio (MeHg).

Diante do exposto, os autores concluem que o monitoramento constante dos níveis de poluentes presentes nas diferentes matrizes ambientais é uma ferramenta fundamental na gestão responsável dos recursos aquáticos, principalmente no México, onde os

ecossistemas aquáticos desempenham um papel importante tanto ecologicamente quanto para o desenvolvimento socioeconômico.

Simultâneo a isso, o estudo de Aveiga Ortiz *et al.* (2022) “*Distribución de metales pesados em agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador*” buscou analisar a distribuição de metais pesados (Pb, Cd e Cu) na água, sedimentos e peixes do rio Carrizal, Manabí - Equador. A pesquisa foi realizada no ano de 2019, foram no total 21 estações de monitoramento de água e sedimentos que percorriam 51 km de extensão e as coletas foram realizadas 2 vezes ao ano (agosto e outubro). Para os peixes amostras de brânquias, fígado e tecido muscular foram extraídas de três espécies distintas (*Hoplias microlepis*, *Aequidens rivulatus* e *Oreochromis niloticus*).

O método utilizado para análise de metais pesados em água, sedimentos e peixes foi Método de chama direta de ar-acetileno (APHA AWWA WEF 3111-B)- O Standard Methods Online, produzido em conjunto pela Associação Americana de Saúde Pública (APHA), a Associação Americana de Obras Hidráulicas (AWWA) e a Federação do Meio Ambiente Aquático (WEF), utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica da marca: Perkin Elmer (Aonolyst 200) e o limite de detecção do equipamento para os metais em estudo é de 0,2 ug/L. Estatisticamente, foi aplicado o delineamento inteiramente casualizado, que teve como fatores as áreas de amostragem (microbacia, reservatório La Esperanza e sub-bacia), as amostragens foram realizadas nos meses de agosto e outubro, e as repetições corresponderam aos valores detectados em cada ponto de amostragem. A normalidade dos dados (Shapiro-Wilk), e a homogeneidade das variâncias foram verificadas, para então aplicar a análise de variância (ANOVA) aos dados de análise.

Os resultados desse estudo apontam para uma contaminação por Pb em água superficial devido aos níveis encontrados em todos os pontos que foram amostrados, destacando-se as amostras do mês de outubro. Deve-se ressaltar que o Pb é classificado como possivelmente cancerígeno e causa efeitos neurotóxicos adversos. Em relação ao Cd e Cu (limite de detecção igual a 0,2 ug/L), não foram encontrados níveis detectáveis em nenhum dos pontos de monitoramento.

Para as análises de sedimento, todos os metais investigados (Pb Cd e Cu) foram encontrados a níveis inferiores ao permitido, porém os autores destacam que para Cd mesmo em baixas concentrações pode afetar de forma negativa a ictiofauna, flora e seres humanos.

Ao analisar o tecido dos peixes foi constatado alto teor de Pb, o ponto que apresentou nível mais alto obteve 0,181 mg/kg, detectado nas brânquias da espécie

Hoplias microlepis, a única espécie que não apresentou presença de Pb foi *Oreochromis niloticus*. Em relação aos tecidos, *Hoplias microlepis* apresentou maiores teores de Pb nas brânquias devido ao fato de ser uma espécie bentônica tem a capacidade de filtrar metais pesados em suas brânquias, consequentemente esse tecido acaba se transformando em um depósito desse poluente; e na espécie *Aequidens rivulatus* acumulou maior quantidade de Pb (0,149 mg/kg) no músculo, e esse fato é atribuído à sua dieta onívora. Ainda de acordo com Ortiz *et al.* (2022) em ambas as espécies foi determinado que o teor de metais pesados é diretamente proporcional ao tamanho do indivíduo. Com relação aos metais Cd e Cu, não foi detectado presença destes nos tecidos das espécies de peixes analisadas.

Os autores concluíram então que no Rio Carrizal existem níveis de Pb nas águas superficiais, sedimentos e peixes, níveis que, apesar de baixos, indicam uma potencial fonte de risco para os ecossistemas da área de estudo; uma vez que a contaminação por Pb causa malformações e perda da estrutura mineral óssea em peixes e, quando bioampliada, pode afetar a saúde humana.

O artigo de Argumedo (2021) sob o título “*Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de Ariopsis felis y Diplodus annularis en el río Ranchería, norte de Colombia*”, com o objetivo de avaliar os níveis de bioconcentração de alguns metais pesados (Zn, Hg e Pb) em peixes *Ariopsis felis* (peixe-gato) e *Diplodus annularis* (mojarra) — de grande importância nutricional para a população ribeirinha, a fim de medir o impacto poluente destes metais neste ecossistema. Quanto a amostragem foram 4 estações ao longo do rio Ranchería que se destaca como o principal reservatório para a atividade pesqueira desenvolvida pelos ribeirinhos locais, foram coletados 20 exemplares de cada espécie (5 em cada estação) durante a estação chuvosa e seca. Além dos peixes foi coletado 5 amostras de sedimento em cada estação para determinar os índices ambientais: índice de geoacumulação (I – geo) e fator de bioacumulação de metais em peixes.

Quanto ao método utilizado para análise em laboratório, as amostras de tecido biológico (oriundos do fígado e dos rins) e de sedimento foram submetidas à espectrofotometria de absorção atômica, usando um equipamento ICE3500 Thermo Scientific, com correção de fundo Zeeman e lâmpada de deutério D2. De acordo com o autor as metodologias usadas foram: Forno de grafite com correção Zeeman Faas para Pb, chama Flaas para Zn e vapor frio CVAAS (Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry) para Hg. Estatisticamente, foram aplicados critérios como testes de médias normais (Anova de um fator) com variância e médias desconhecidas, coeficiente de correlação linear, diferenças de concentração de metais entre os peixes de acordo com os tamanhos e

estabelecimento de correlações dos metais em cada matriz. Com isso, foi demonstrada a normalidade dos dados sob uma estatística paramétrica.

Os resultados dessa pesquisa mostram que a sequência de concentração dos metais para o sedimento foi $Zn > Hg > Pb$. Nas áreas de amostragem, as concentrações apresentaram variação significativa ($p = 0,001$, $p < 0,05$). As concentrações mais elevadas foram encontradas nas amostras coletadas na estação E4, enquanto as concentrações mais baixas foram observadas na estação E1. Ao contrário do Zn, as concentrações de Hg e Pb não excederam o limite permitido (LP = 596 $\mu g/kg$), sendo consideradas seguras em relação ao risco ecológico para metais em sedimentos estabelecidos pelas Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG). Argumendo (2021) afirma que as correlações significativas que ocorrem entre metais sugerem que vêm de fontes comuns, como atividades de mineração, o uso de agroquímicos, pecuária e até mesmo do próprio solo. Sendo assim, a avaliação quantitativa (I-geo) de contaminação do sedimento do rio Ranchería por metais pesados apontam para um grau de “não contaminado” de acordo com a legislação consultada já citada, dessa forma é possível indicar que os metais pesados não representam risco para os organismos aquáticos que habitam o local.

Quanto aos resultados para os peixes, observou-se segundo o autor que a espécie *Ariopsis felis* (bagre) apresentou um índice de bioacumulação de Zn e Pb maior do que *Diplodus annularis* (mojarra), mas menor no caso de Hg. Destaca ainda que a bioconcentração dos metais Hg, Pb e Zn nos peixes pode estar associada às descargas municipais e agrícolas que fluem diretamente para o rio Ranchería, concluindo que as 2 espécies de peixes avaliadas, assim como o sedimento superficial da bacia investigada, não apresentam concentrações elevadas de Zn, Hg e Pb. Em relação aos padrões nacionais e internacionais, os níveis de metais pesados nos sedimentos superficiais não ultrapassaram os limites permitidos em nenhum dos casos, indicando que a presença de Zn, Hg e Pb não representa risco para os organismos presentes no ecossistema. E por último considera que a contribuição das concentrações pseudo-totais podem ser de origem litogênica, ou seja, provenientes dos minerais presentes nas rochas da região.

Pereira *et al.* (2020) no artigo “*Sediment and tissue analysis for metals in a tropical estuary*” com o objetivo de avaliar o acúmulo de metais (Al, As, Cd, Cr, Hg, Sr, Ni, Pb e Zn) em sedimentos e em tecidos de organismos (*C. rhizophorae*, *A. flexuosa*, *Litopenaeus schmitti* e *Mugil curema*) no estuário do Rio Mamanguape na Paraíba, e também avaliou o potencial de bioacumulação de metais nos tecidos dos organismos usando o fator de bioacumulação (BAF). Para a coleta de sedimento 9 pontos foram estabelecidos ao longo

do estuário, a amostragem ocorreu na região das marés durante o período de maré baixa, em cada ponto 5 amostras foram coletadas compondo 1kg de amostra composta. Ao total foram 2 campanhas de coleta organizadas da seguinte maneira: 9 amostras no período chuvoso e 9 no período seco. As amostras dos organismos foram coletadas durante o período seco (dezembro de 2017). Amostras de *A. flexuosa* foram coletados nos locais 8 e 9, *C. rhizophorae* nos locais 1, 2 e 3, *L. schmitti* foi adquirido da fazenda de camarão, localizada próximo ao local 7 e *M. curema* foi coletado ao longo do estuário.

O método para a análise de amostras de sedimentos seguiu a US EPA, método N° 3050B (US EPA, 2001) e 3051A (US EPA, 2007), e para as amostras de espécies de nível trófico secundário (US EPA, 1994). As técnicas usadas para a identificação e quantificação de metais foram acoplados indutivamente por espectrometria de emissão óptica de plasma (ICP-OES) para análise de Al, Cr, Sr, Ni e Zn e espectrometria de massa de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) para a análise de As, Cd, Hg e Pb.

Para a análise dos dados foi realizada por meio de estatística paramétrica PERMANOVA com o intuito de determinar se ocorreram diferenças entre as concentrações de metais no sedimento entre os diferentes períodos sazonais (chuvoso e seco), correlações entre componentes granulométricos e metais foram avaliados considerando o coeficiente de Pearson usando o corplot no software R.

Os resultados dessa pesquisa apontaram que as concentrações de metais foram significativamente ($p < 0,05$) diferentes nos sedimentos entre os períodos seco e chuvoso. Al, Cd, Hg, Ni, Pb e Zn foram os que tiveram a maior concentração durante o período chuvoso. Os pontos 3 e 8 foram os únicos a apresentar maior concentração de metais para ambos os períodos (seco e chuvoso) e também estes apresentaram a maior porcentagem de silte e argila. Os autores destacam valores acima do permitido para o metal pesado As (arsênio) durante o período chuvoso, e atribuem que alguns agrotóxicos como o herbicida Arseniato de Metano Monossódico do grupo químico dos organoarsênicos, classificado pela Portaria do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, nº 84, de 15 de outubro de 1996, como muito perigoso em relação ao potencial de risco ambiental. E por ser um elemento orgânico de baixa exposição (valor máximo de 9 mg/Kg) pode causar um risco moderado para a saúde humana.

Quanto à granulometria, os resultados demonstram que quanto menor a partícula maior o acúmulo de metais devido aos processos de adsorção, em seu escrito, Pereira *et al.* (2020) observou maiores correlações de metais no silte e em frações de argila durante os dois períodos de amostragem (seco e chuvoso).

Para os organismos avaliados foram identificados os mesmos metais encontrados no sedimento com as concentrações de Al, As, Cd, Cr, Hg, Sr, Ni e Zn acima dos limites estabelecidos pela legislação para consumo humano. Destaca-se aqui as baixas concentrações de Al (alumínio) encontradas nos tecidos das espécies analisadas, e podem estar relacionadas com as propriedades deste elemento já que, geralmente, o Al não se bioacumula, visto que a maior parte do Al presente em sedimentos finos (aqueles que são ingerido principalmente por organismos filtrantes) é o dos aluminossilicatos. No entanto, *A. flexuosa* foi o único organismo que apresentou maior concentração de Al, e essa bioacumulação pode causar efeitos durante o desenvolvimento de órgãos e também problemas neurológicos em humanos quando consumido em excesso. Outros metais foram encontrados acima dos valores permitidos como o As e Cr, sendo este último referente ao peixe *M. curema* (popularmente conhecido como tainha), e os autores correlacionam com os hábitos alimentares do organismo onívoro, ou seja, que se alimenta de pequenos invertebrados e sendo adaptado para filtrar a matéria orgânica suspensa na água. Ademais, consideram que as concentrações encontradas tanto para sedimento quanto para os organismos podem ter se originado de fontes antropogênicas que se desenvolvem ao redor do estuário e a distribuição inadequada do cultivo extensivo de cana-de-açúcar. Sendo assim foi possível verificar o risco elevado contra a biota estuarina e os seres humanos que consomem os organismos estudados do estuário do Rio Mamanguape.

Concomitante a isso, o estudo de Zerizghi *et al.* (2020) “*Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China*”, com objetivo de investigar as concentrações de metais pesados no sedimento do Lago Baiyangdian e nos tecidos musculares de diferentes peixes amostrados no lago, para avaliar o estado de poluição e os potenciais riscos ecológicos dos contaminantes no sedimento, bem como para avaliar o risco para a saúde humana que pode ser representado pelo consumo de peixes. Para a coleta de sedimento 12 pontos foram selecionados abrangendo todas as áreas do lago, com base nas diferentes fontes de poluição esperadas, tal como: descarte de resíduos domésticos, circulação de pessoas (turismo), agricultura dentre outras. Quanto à coleta de peixes, diferentes espécies foram capturadas por pescadores locais para determinar a presença de metais pesados em seus músculos. Todas as amostras tanto de sedimento quanto as de peixes foram analisadas por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES). O artigo não deixa claro qual a ferramenta estatística utilizada na análise dos dados.

Além das análises supracitadas, os autores utilizaram alguns métodos de avaliação que permitem ponderar o nível de contaminação por metais pesados ou outros elementos traços nas amostras. São eles: o índice de geoacumulação (I-Geo) que permite classificar o grau de acumulação de metais no sedimento ao longo do tempo, índice de carga de poluição (PLI) utilizado para descobrir os níveis de poluição em um determinado local através de amostras de sedimento ou organismos vivos.

Segundo os autores, nos resultados encontrados de modo geral para a análise de sedimento, foi observado altas concentrações de Mn, Zn, Cr, Cu e Ni e baixas concentrações de Cd, As e Pb. Para os métodos de avaliação, com base nos cálculos do I-geo foram obtidos valores negativos para As, Cr, Pb, Mn e Zn, indicando insignificância para o grau de poluição desses metais, já para os valores positivos de Cd, Cu e Ni apontam a presença de poluição, dessa maneira os valores mencionados variam de não poluído a poluição moderada e acordo com a escala utilizada para o local investigado.

Para a análise de peixes e o risco que estes podem oferecer aos humanos através do consumo, os autores ressaltam que a descarga direta de diversos resíduos antropogênicos e da aquicultura podem impactar diretamente a fauna aquática e seus tecidos. Dentre os metais encontrados no tecido muscular dos organismos, o que apresentou a média mais elevada foi o Zn, seguida por Cu, Cr, As e Pb, enquanto o Cd foi a mais baixa. Baseados em outros estudos já realizados no mesmo local, Zerizghi *et al.* (2020) destaca que os hábitos alimentares devem ser levados em consideração, visto que concentrações relativamente mais altas de Cd, Cu, Ni e Pb já foram encontradas em peixes onívoros quando comparados aos peixes carnívoros. Fato esse observado neste estudo, onde foi encontrado as maiores concentrações de As e Pb em peixes da espécie *Rhodeus sinensis* Günter, organismo onívoro que se alimenta comumente de algas e detritos orgânicos. Quanto a ingestão desses organismos, os resultados descrevem que a ingestão diária estimada (EDI) ficou muito abaixo da ingestão diária aceitável (ADI) para cada metal. Os quocientes de risco (HQ) foram extremamente baixos em comparação com os limites máximos para causar efeitos ($HQ = 1$). Portanto, os residentes locais estão seguros ao consumir o músculo dos peixes ao longo de suas vidas devido ao fato de que todos os metais com potencial para representar um risco estavam em níveis seguros.

Os autores concluem que as concentrações de metais pesados traços no sedimento diferiram entre os locais e foram mais altas próximas a áreas residenciais e de aquicultura. A maior poluição e risco ecológico por Cd revelam que o lago está moderadamente poluído sendo este a principal preocupação e requer atenção adicional, quanto aos outros

metais ficou observada uma poluição relativamente baixa, porém demanda de um monitoramento preventivo ao longo do tempo. O mesmo propõe, que por menor risco oferecido aos consumidores demonstrados nos resultados, os tecidos dos organismos têm ação acumulativa e requer um acompanhamento constante quanto aos riscos que os metais pesados podem causar quando encontrados em altas concentrações.

Nesta mesma proposta, Arisekar *et al.* (2020) em seu trabalho intitulado “*Human health risk assessment of eavy metal sim aquatic sediments and freshwater fish caught from Tramirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu*”, objetivou explorar o impacto dos metais pesados nos peixes e sedimentos da região investigada. O rio Tramirabarani é alvo de diferentes fontes de poluição como resíduos industriais e esgotos de cidades próximas, descartados sem nenhum tratamento prévio em quase 70% de toda a sua extensão. Para essa análise foram predefinidos três pontos de amostragem, e a seleção baseou-se em critérios como: geologia regional, habitantes, atividades agrícolas e industriais. Foram coletadas 24 amostras de sedimentos ao longo da bacia e para minimizar o erro de amostragem foi coletada 6 amostras compostas em cada ponto, e para garantir a precisão dos resultados as 6 amostras foram divididas em 10 subamostras. Para a análise em peixes, foram utilizadas duas espécies, *Labeo rohita* (Rohu) e *Oreochromis niloticus* (tilápia), com um total de 32 amostras coletas, 16 de cada espécie ao longo do rio em quatro pontos, em cada ponto 4 amostras de Rohu e 4 amostras de Tilápia com o intuito de minimizar o erro e a variação de tamanho. Quanto aos métodos utilizados para detecção dos metais em ambas as análises, não ficam claros no artigo. Estatisticamente, os valores de concentração de metais pesados foram analisados utilizando o Microsoft Excel e o pacote estatístico SPSS.

Os resultados demonstraram que as concentrações de metais como o As, Pb, Co, Zn e Cr em todos os locais de amostragem, os valores encontrados estão dentro do limite estabelecido pelas diretrizes consultadas para a pesquisa (SQG – Diretrizes de Qualidade de Sedimentos) prescrita pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente. Nos locais 3 e 4 os autores relatam que a presença dos metais Fe, Zn e Mn era dominante e atribuem esse fato a uma grande quantidade de matéria orgânica e poluentes locais provenientes de resíduos agrícolas descartados no rio, levando a predominância desses metais. O risco potencial a saúde humana através da análise de sedimento foi calculado a concentração dos metais pesados e as vias pelas quais a população está exposta a esses metais. Para isso o risco carcinogênico foi determinado estimando o CDI (Ingestão Diária Crônica), HQ (Coeficiente de perigo), HI (Índice de perigo cumulativo) e LCR (Risco de

câncer ao longo da vida) através de equações específicas para cada via de exposição (ingestão, inalação e absorção dérmica), essas estimativas foram aplicadas tanto com adultos, quanto em crianças. Os valores encontrados para HI apontaram em todos os locais de amostragem índices maiores para as crianças do que para adultos (metais com $HI > 1$ = maior potencial para apresentar risco carcinogênico, $HI < 1$ = nenhum risco carcinogênico). O LCR avaliado a partir de diferentes vias de exposição apresentou concentrações de Cd, As e Cr para crianças e adultos acima do limite aceitável. Os valores apresentados de HI indicam que as crianças são mais suscetíveis aos riscos à saúde quando expostas principalmente pela via de ingestão, seguidas das vias dérmicas e de inalação.

Quanto aos peixes analisados, o Rohu e a Tilápia, que são os preferidos pela população foram as espécies selecionadas para análise. Os metais destacados pelos autores foram o Cd (cádmio) por ser um elemento altamente tóxico, cancerígeno podendo causar efeitos deletérios em diversos órgãos como: pulmão, rins, fígado, órgãos reprodutores etc. mesmo em concentrações abaixo do limite máximo permitido, o Pb (chumbo) um metal pesado extremamente solúvel e prontamente absorvível por matéria orgânica, ele causa muitos efeitos adversos a saúde como: neurotoxicidade, nefrotoxicidade, anemia, encefalopatia, dor abdominal, vômitos e constipação, os valores maiores encontrados foi nos pontos 4 e 5 (jusante) com 0,3 mg/kg, o As (arsênio) é considerado o metal mais tóxico quando encontrado no ambiente, a principal forma de exposição humana a esse elemento é através do consumo de frutos do mar. As concentrações mais baixas e mais altas foram observadas na espécie Rohu no local 1 (0,002 mg/Kg) e na tilápia no local 4 (0,533 mg/kg), ambos abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação utilizada neste estudo (78 mg/kg).

Para os metais Ni, Cu, Zn Fe e Mn, os valores considerados relevantes concentram-se nos locais 4 e 5, porém encontram-se abaixo do limite máximo aceitável. Dessa forma, os autores concluem que a concentração de metais pesados em sedimentos do rio Thamirabarani é significativamente maior na região à jusante em comparação com a região a montante, isso ocorre devido ao esgoto, escoamento agrícola e mistura de resíduos no ambiente inferior do rio. Quanto aos peixes, a região a jusante também se destacou com maiores concentrações, especialmente em tilápias que vivem perto do leito do rio e se alimentam de invertebrados bentônicos, já o Rohu vive nas zonas superiores ou médias da coluna d'água. Este resultado confirma que a acumulação de metais pesados varia com base no comportamento alimentar, tamanho, habitat e região.

Para concluir, os autores reafirmam a necessidade de monitoramento dos produtos cultivados na região para avaliar com precisão o potencial risco à saúde apresentado pela contaminação por metais pesados.

Silva *et al.* (2023) em “*Determination of metals in estuarine fishes in a metropolitan region of the coastal zone of the Brazilian Amazon*” teve como objetivo determinar os teores de cádmio, cromo, cobre, ferro e manganês em peixes de diferentes níveis tróficos capturados nas três baías (São Marcos, São José e Arraial) que formam o Golfo do Maranhão. Os peixes foram capturados em 11 estuários distribuídos nas três baías mencionadas, foram analisadas 5 espécies com diferentes hábitos alimentares, que são: *Sciades herzbergii* (Cascudo - onívoro), *Cetengraulis edentulus* (Manjuba boca-larga – herbívoro), *Macrodon ancylodon* (Pescada – Gó – carnívoro), *Pseudauchenipterus nodosus* (Cacharaçu – detritívoro) e *Stellifer rastrifer* (Roncador – carnívoro), totalizando 45 amostras e para essa análise foi utilizado o tecido muscular, e foram preparadas três amostras (triplicatas) para cada espécie.

Para determinação de metais pesados no tecido muscular foi utilizado um espectrômetro de emissão óptica com acoplamento indutivo (ICP-OES, Spectro Analytical Instruments, modelo 9800, ICPE-9820, Shimadzu).

A análise estatística foi realizada através da análise de variância unidirecional (ANOVA), teste de Kruskal-Wallis, teste de Mann-Whitney (quando resultados significativos foram encontrados) e correção de Bonferroni para comparações em pares da magnitude da diferença nas variáveis entre as baías. A análise de componente principal (PCA) foi realizada usando a matriz de correlação como base para analisar a origem e as associações de metais entre espécies e baías.

As concentrações de metais determinadas nos tecidos musculares foram comparadas aos limites máximos permitidos para tecidos de peixes comestíveis estabelecidos pelo Decreto nº 55.871/65 e Portaria nº 685/88 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), Regulamento da Comissão Europeia e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Dessa forma, foram encontradas concentrações acima do limite máximo permitido para cádmio (Cd) em indivíduos de *Cetengraulis edentulus* e *Macrodon ancylodon* e cromo (Cr) em indivíduos de *Macrodon ancylodon* e *Pseudauchenipterus nodosus*. O cobre (Cu) não foi detectado acima do limite máximo em nenhum dos espécimes. Os autores ressaltam que embora não haja leis nacionais regulamentando as concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn) nos tecidos musculares de peixes, concentrações desses elementos foram encontradas em todas as

espécies analisadas, com alguns exemplares exibindo concentrações muito altas em comparação com a média geral do estudo.

Em relação aos locais de amostragem, a Baía de São Marcos teve a maior concentração média de Fe e menores média para Cr e Cu. A Baía de São José teve a maior média para Mg e a menor média para Cd. A Baía do Arraial teve as maiores médias para Cd e Cu e a menor média para Mn.

Nesse viés, a partir dos dados descritos acima, os autores destacam alguns pontos importantes quanto as possíveis causas referentes às concentrações encontradas e seus efeitos potenciais sobre os organismos. O Cd quando encontrado altas concentrações pode estar associado ao uso de pesticidas, sendo este altamente tóxico para os rins e se acumula em concentrações mais altas nas células tubulares proximais. Já o Fe foi encontrado em altas concentrações em todas as espécies e este fato pode estar atribuído ao aporte fluvial e as fortes entradas de água doce no Golfo do Maranhão constituem um fator determinante, pois o porto recebe navios de carga que transportam ferro, o que pode explicar a alta concentração desse elemento nas amostras analisadas.

Foram encontradas altas concentrações de Mn nas amostras analisadas, especialmente em espécies capturadas na Baía de São José, sugerindo uma associação com fontes pontuais na região como o lançamento de efluentes industriais e esgoto doméstico. Já as concentrações de Cu encontradas no tecido muscular das espécies não representam uma ameaça para a saúde dos peixes ou constituem um risco de contaminação para a população local, pois os níveis estão bem abaixo do limite máximo aceitável, visto que, esse elemento é essencial para o organismo e, portanto, é facilmente regulado pelo metabolismo, tornando improvável a sua acumulação.

A análise espacial indicou diferenças significativas para Cd, Cr, Cu e Mn e isso pode estar relacionado a características locais e atividades humanas, que podem exercer uma influência nos níveis de assimilação de espécies em diferentes locais. Para tanto, os autores concluem que os peixes podem ser usados como biomarcadores de contaminação por metais no Golfo do Maranhão, no entanto, há a necessidade de investigar outras matrizes para testar a bioacumulação de metais, como sedimentos e macroinvertebrados.

No artigo de Nasir *et al.* (2021) intitulado “*Heavy metals, in the water, sediment and fisher harvested from the Krueng Sabee river Aceh Proveince, Indonesia*”, que objetivou examinar as concentrações de Pb, Cd e Cu na água, nos sedimentos e nos peixes capturados no Rio Krueng Abee, distrito de Aceh Jaya, na Indonésia. O estudo foi conduzido em três locais de amostragem nos anos 2018 e 2019, sendo num total de seis

pontos (2 pontos a montante, 2 pontos a jusante e 2 pontos no meio do curso). Cabe ressaltar que os autores não incluem na metodologia informações a respeito das espécies, bem como quais as partes dos peixes que foram utilizadas para a referida pesquisa. As concentrações de Cd, Cu e Pb foram examinadas usando Espectrofotometria de Absorção Atômica (AAS) com chama ar-acetileno.

Os dados foram submetidos à análise descritiva, comparando as regulamentações nacionais e internacionais, como o Regulamento do Governo da Indonésia Número 82 de 2001. Foram considerados os padrões de qualidade da Agência Nacional de Alimentos e Medicamentos da República da Indonésia em relação ao limite máximo de contaminação por metais pesados em alimentos, bem como os padrões de qualidade das Diretrizes Canadenses para Sedimentos de água doce.

De acordo com os resultados apresentados pelos autores, os teores dos metais pesados cádmio (Cd), cobre (Cu) e chumbo (Pb) na água e no sedimento do rio Krueng Sabee foram muito baixos, com algumas variações relatadas a jusante e estas pode ser devido ao fluxo de água que transporta material de metal pesado da bacia hidrográfica e deposita a jusante, onde a velocidade da corrente é baixa, porém abaixo do limite de detecção e também do limite máximo estabelecido nas legislações consultadas. É destaque também que a área a jusante é uma área densamente povoada com habitações e atividades comunitárias, como mercados e portos de pesca e oficinas que têm o potencial de produzir poluentes compostos por metais pesados.

Para os peixes, os valores de Cd nos músculos foram encontrados nas espécies investigadas (*Tor soro*, *Rasbora sumatrana* e *Neolissochilus thienemanni*), o mesmo ocorreu para Cu. Já os valores de Pb não foram encontrados nos peixes supracitados, exceto na espécie *C. apagon* que excedeu o limite máximo permitido. O teor de Cd observados nas espécies em questão mais precisamente a *Tor soro* e a *R. sumatrana* é explicado pelos autores que está muito relacionado ao hábito alimentar desses peixes, pois ambas são onívoras e alimentam-se de partículas depositadas no fundo do rio.

A presença de metais pesados no corpo do peixe de acordo com Nasir *et al.* (2021) pode ocorrer das seguintes maneiras: através da respiração, da superfície corporal (difusão) e da alimentação (biomagnificação).

Com isso os autores concluem que as principais fontes de cádmio e chumbo no local do estudo sejam provenientes do descarte de baterias usadas, equipamentos eletrônicos e tinta utilizada por barcos de pesca. Derramamentos de óleo ou lavagem de óleo diesel dos barcos também fazem parte dessa lista de possíveis poluentes. Contudo,

destacam que para preservar a biodiversidade ambiental e a conservação de peixes no Rio Krueng Sabee, é necessária uma supervisão mais rigorosa, com um monitoramento que deve ser realizado em estágios e testado periodicamente observando a acumulação de metais em peixes fluviais e evidenciar a importância da educação pública sobre os perigos de metais e pesticidas para a saúde humana.

Nesse viés, Silva *et al.* (2021) concluem que as variações espaciais e temporais nas concentrações de metais ao longo da nascente e trechos médios indicaram fontes difusas de poluição por metais. De acordo com as atividades humanas desenvolvidas nessas áreas, essas fontes difusas estavam associadas a atividades rurais, ou seja, práticas inadequadas de manejo agrícola são comuns nas paisagens ao redor do Rio Verde incluindo o uso indiscriminado de agroquímicos (por exemplo, fertilizantes químicos e orgânicos, pesticidas) e o manejo inadequado do solo associado à supressão da vegetação nativa. Outro ponto importante destacado é a respeito das atividades urbanas que também representam potenciais fontes de contaminação, no local estudado as concentrações mais altas de metais em amostras de água e sedimentos foram registradas na foz do rio e com isso duas fontes foram identificadas: a primeira está relacionada a dois afluentes, os córregos Pilão de Pedra e Lajeado Grande, que deságuam no VR entre o trecho médio inferior e a foz. Eles atravessam extensas áreas residenciais e recebem grandes quantidades de esgoto não tratado e lixo e a segunda está localizada imediatamente a montante da foz do rio, onde uma estação de tratamento de esgoto despeja seus efluentes no rio, e essa entrada de esgoto urbano em corpos d'água tem alto potencial para mobilizar e transportar poluentes, contaminando águas e sedimentos fluviais com diversos metais, destacando Cd, Pb, Cu e Zn, metais estes encontrados em altas concentrações no Rio Verde.

Para os peixes, é destacado que em ambas as espécies, os tecidos hepáticos e musculares apresentaram concentrações de Cr, Cd, Pb e Zn superiores aos limites internacionais estabelecidos para a vida aquática saudável e aos limites brasileiros estabelecidos para o consumo seguro por seres humanos. Ainda de acordo com os autores, a concentração de metais em organismos aquáticos pode variar devido a diversos fatores, dentre eles os hábitos alimentares e habitat das espécies como foi o caso do RV, a espécie *Psalidodon paranae* tendeu a bioconcentrar níveis mais elevados de metais do que a *Psalidodon aff. Fasciatus* em ambos os tecidos analisados, refletindo dessa forma seus diferentes usos de habitat, visto que se trata de uma espécie com baixa capacidade de dispersão que possui restrição ecomorfológica relacionadas a corpos d'água rasos e

estreitos e geralmente ocupam trechos de cabeceira, local este que sofre uma grande influência por atividades rurais.

Por fim, os autores constataram que as concentrações de metais registradas nas águas, nos sedimentos e nos peixes do Rio Verde ultrapassaram os limites internacionais e brasileiros estabelecidos para a saúde aquática e usos humanos, revelando altos riscos ecológicos e de saúde associados à poluição por metais na área. Esse conjunto de posições destaca a necessidade urgente de implementação de políticas públicas para o biomonitoramento e controle da poluição por metais no Brasil, visando proteger os recursos terrestres e aquáticos.

Concomitante a isso, o estudo desenvolvido por Viana *et al.* (2023) intitulado “*Metal bioaccumulation in fish from the Araguari River (Amazon biome) and human health risks from fish consumption*”, que tem como objetivos: (1) determinar as concentrações de metais em amostras de músculo de peixes coletados previamente em outro estudo de mesma autoria; (2) avaliar a bioacumulação de metais nos tecidos musculares de espécies de peixes com comportamentos alimentares diferentes; e (3) investigar os riscos à saúde do consumo de peixes contaminados por metais isolados ou misturas de metais.

A coleta foi realizada em três pontos localizados a jusante de uma usina hidrelétrica e da área urbana do município de Ferreira Gomes e destaca-se que as margens do rio adjacentes a esses locais de coleta são ocupadas por numerosas comunidades ribeirinhas que dependem do rio como fonte de água e peixes. A amostragem ocorreu nos períodos vespertino e noturno, sendo um total de duas campanhas entre os meses de março e junho de 2019. Foram coletadas 11 espécies de peixes nativos com comportamentos alimentares variados que são: *Acestrorhynchus falcatus*, *Cichla pinima* e *Hoplias malabaricus* (carnívoros); *Bryconops affinis*, *Geophagus proximus*, *Leporinus fasciatus*, *Satanoperca jurupari* e *Triportheus auritus* (onívoros); *Curimata incompta*, *Hemiodus unimaculatus* e *Psectrogaster amazônica* (detritívoros).

Quanto ao método de análise, as amostras foram analisadas em duplicata usando um Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Shimadzu, modelo AA7000, Japão), com atomização em chama, para quantificar Cd, Pb, Cr, Ni, Fe, Mn, Cu e Zn. Para quantificar o Hg presente nas amostras, foi utilizado um gerador de hidretos acoplado a um Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado.

O risco para a saúde humana proveniente do consumo de peixes contaminados com metais individuais foi avaliado usando a abordagem do quociente de risco (QR). Os QRs foram obtidos pela razão entre a concentração de cada metal presente nas amostras de

músculo de peixe e os limites máximos (LMs), conforme estabelecido pela legislação brasileira (ANVISA 1998, 2013, 2021). Os autores ressaltam que os limites máximos estabelecidos pela ANVISA são uma estimativa de consumo diário improvável de representar riscos à saúde do ser humano. Portanto, se o valor de QR for <1 , é improvável que ocorram efeitos adversos à saúde. No entanto, se >1 , efeitos adversos potenciais são possíveis, e o risco aumenta gradativamente conforme os valores detectados para o QR. Para a avaliação de risco no caso de mistura de metais, foi adotado o modelo de adição de concentração (CA) usado como conceito padrão para antecipar os efeitos deletérios de misturas químicas, desse modo, o índice de risco da mistura de metais (RI) foi obtido somando os valores de QR obtidos para cada metal individualmente. Cabe destacar aqui, que os autores não deixam claro no texto a escala utilizada para determinar se os valores obtidos para RI causam ou não efeitos adversos à saúde humana.

Para os cálculos referentes à ingestão diária estimada (IDE), foram utilizadas as concentrações de cada metal bioacumulado no tecido muscular das amostras de peixe, a quantidade média diária de peixe consumida por um indivíduo adulto humano (416,39 g/pessoa/dia) e seu peso corporal médio (60 kg) estabelecido pela ANVISA, através da seguinte equação: $IDE = BC \times Df/BW$, onde BC corresponde a concentração média de metal bioacumulado no tecido muscular do peixe. Df é a taxa diária de consumo de peixe e BW é o peso corporal médio humano. Os valores de IDE obtidos foram comparados com as doses de referência (RfDs) estabelecidas pela ANVISA para cada metal e estas representam a quantidade máxima de cada metal à qual a população humana pode estar exposta sem sofrer efeitos adversos.

Para a análise estatística os autores revelam que para visualizar quaisquer semelhanças na concentração de metais no tecido muscular dos peixes em relação aos diferentes comportamentos alimentares entre as espécies avaliadas foi utilizado um agrupamento hierárquico de espécies e metais simultaneamente. A concentração média de metal em cada espécie de peixe foi centralizada pela média (zero) e desvio padrão (1). Usando o comando *"heatmap"* no pacote *"gplots"*, agrupamentos foram gerados de espécies/metais com concentrações crescentes de metal, representadas por cores diferentes. Assim, quanto mais próximo do vermelho, maior a concentração de um determinado metal, enquanto mais próximo do azul, menor a concentração desse metal. Todas as análises foram realizadas utilizando a plataforma R.

Os resultados apresentados para a bioacumulação de metais no músculo dos peixes mostram que a concentração decresceu na seguinte ordem: $Fe > Zn > Cu > Mn > Hg >$

Pb > Ni > Cd > Cr, e os metais que apresentaram um perfil de distribuição similar com concentrações semelhantes para todas as espécies de peixes, independentemente do comportamento alimentar foram o Cr, Ni, Fe, Hg, Mn, Cu e Zn. Para os metais que apresentaram concentrações médias acima dos limites máximos estabelecidos pela ANVISA, foram citados apenas o Cd e Pb. Concentrações de cádmio acima dos limites máximos brasileiros foram encontradas em amostras de tecido muscular de 8 espécies de peixes (2 carnívoros, 4 onívoros e 2 detritívoros), enquanto concentrações de Pb foram encontradas apenas em 4 espécies de peixes (2 onívoros e 2 detritívoros). Em amostras das espécies de peixes onívoros *L. fasciatus* e *T. auritus* e em amostras das espécies detritívoras *C. incompta* e *H. unimaculatus*, ambos os metais mostraram concentrações acima do permitido. Os autores em um compilado de estudos citados explicam que é amplamente aceito que espécies de peixes de níveis tróficos superiores tendem a ter concentrações de metais mais altas nos tecidos quando comparadas com espécies de níveis tróficos inferiores, principalmente devido ao processo de bioacumulação e esta não está apenas relacionada ao comportamento alimentar, mas também a capacidade metabólica, ciclos reprodutivos e de vida, idade, tamanho e habitats de alimentação. Destacam ainda que metais como o Cd, é maior no sedimento do que na água, em consequência disso, espécies detritívoras e onívoras podem conter concentrações mais altas desses metais com base em seu comportamento alimentar. Tanto os peixes detritívoros quanto os onívoros se alimentam de diferentes organismos de níveis tróficos inferiores que vivem associados ao sedimento e, portanto, podem conter concentrações mais altas de metais. Além disso, a absorção de metais presentes nos sedimentos pode ocorrer por ingestão direta de sedimentos por peixes detritívoros e em espécies onívoras pode ocorrer por ingestão acidental.

No que diz respeito à segurança alimentar da população que consome peixes, a pesquisa de Viana *et al.* (2023) conclui que, ao comparar seus resultados com outros estudos relacionados, os peixes consumidos pelas comunidades amazônicas estão frequentemente contaminados por metais potencialmente prejudiciais. Portanto, é necessário monitorar diferentes espécies usadas como fonte de proteína para garantir a segurança alimentar dessas populações.

Outro ponto destacado foi que quando as espécies de peixes são consideradas em conjunto, de acordo com seus níveis tróficos, as espécies detritívoras demonstraram concentrações de metais mais elevadas comparadas aos demais, e isso está diretamente relacionado com o hábito alimentar bêntico-pelágico, pois se alimentam do substrato do

fundo do rio, onde os metais acabam decantando e, ao longo do tempo, acumulando altas concentrações e consequentemente causar danos como a interrupção de processos metabólicos, inibição de crescimento e reprodução e enfraquecimento do sistema imunológico, além de causar alterações na estrutura celular.

Ao avaliar o risco para a saúde humana proveniente do consumo de peixes, os autores apresentaram os seguintes resultados:

- Para Cd e Pb, foram obtidos valores de $RQ > 1$ para *H. malabaricus*, *L. fasciatus*, *T. auritus*, *C. incompta*, *H. unimaculatus* e *P. amazônica*, com isso concluem que esses metais representam um potencial risco para a saúde humana, já que essas espécies são amplamente consumidas pelas populações locais.

- Para Cr, Ni, Hg, Cu e Zn, os valores de RQ foram < 1 , indicando pouco ou nenhum risco para a saúde humana.

- Para Fe e Mn, os autores relatam que não foi calculado os valores de RQ, pelo fato da legislação brasileira não estabelecer padrões para os determinados metais.

E em consequência dos valores apresentados, os RIs obtidos a partir da soma dos valores de RQ de todos os metais detectados nas amostras de tecido muscular mostraram valores >1 para todas as espécies de peixes, indicando potenciais riscos de metais combinados para a saúde humana, portanto, o consumo de peixes com metais acima dos limites aceitáveis pode resultar em doenças crônicas, como problemas neurológicos, hepáticos e renais.

Viana *et al.* (2023) conclui o estudo ressaltando a relevância ecológica e econômica do Rio Araguari como fonte de proteína para as populações humanas locais, e seus resultados sugerem a necessidade de estabelecer um programa rigoroso de monitoramento ambiental que vise preservar a qualidade ambiental, a biodiversidade e a saúde humana. E, além disso, ressaltam que é necessário desenvolver urgentemente projetos e ações que visem educar as populações amazônicas sobre a preparação e o consumo seguro das espécies de peixes capturados localmente.

Kosë *et al.* (2020) em seu trabalho “*Assessment of Ecologic Quality in Terms of Heavy Metal Concentrations in Sediment and Fish on Sakarya River and Dam lakes, Turkey*” objetivou determinar as concentrações de alguns metais pesados Zn, Cu, Ni, Cr e Pb em amostras de sedimento e nos tecidos (músculo, brânquia e fígado) de *Carassius gibelio* e *Capoeta baliki* capturados na área de estudo, sendo estas uma espécie invasora capturada nos lagos da barragem e outra uma espécie endêmica capturada no Rio Sakarya respectivamente.

Quanto as amostragens, os autores descrevem que foram definidas 14 estações, sendo a primeira localizada no Rio e as demais nos lagos das barragens localizadas na extensão do mesmo, estas por sua vez foram construídas no Rio com o propósito de geração de energia elétrica. A análise química foi realizada em laboratório e os níveis de metais pesados no sedimento e no tecido dos peixes foram determinados pelo espectrômetro de absorção atômica de fonte contínua de alta resolução.

Quanto à análise estatística os resultados foram apresentados como médias $\pm$ desvio padrão e as diferenças na acumulação de metais pesados entre os tecidos dos peixes e as estações, e os Diagramas de Dispersão dos níveis de concentração de metais pesados nas amostras de sedimento foram determinados por meio de um teste de comparação múltipla de análise de variância de um fator utilizando o programa de pacote SPSS 22.

Os resultados apresentados do referido trabalho mostram que, em relação as concentrações de metais no sedimento, são referentes as seguintes diretrizes de qualidade de sedimentos: nível de efeito mais baixo (LEL), nível de efeito provável (PEL) e limiar de efeito tóxico (TET). Os autores destacam que o Zn apresentou níveis mais altos na primavera e no verão devido a fontes antropogênicas, e estes encontravam-se acima do LEL. Os níveis de Cu nas amostras de sedimentos foram encontrados abaixo dos valores limite de TET e PEL para todas as estações. Para o Cr a concentração mais alta foi detectada na terceira estação (lago da barragem) no outono, valor este aproximadamente 3 vezes maior do que os valores limites de PEL e TET, ou seja, os níveis na estação chuvosa foram maior do que na seca. O valor do Ni foi observado na décima estação aproximadamente 5 vezes mais alto do que o TET, fato esse ocorreu durante a primavera, já p Pb foram encontradas concentrações altas no inverno e no verão para todas as estações, ficando em destaque a terceira estação.

Com relação à análise nos tecidos dos peixes, os níveis mais altos de metais pesados foram registrados nas brânquias e no fígado de todas as espécies de peixes, o Zn foi o metal que apresentou a concentração mais alta em todos os tecidos das espécies investigadas. Para Cu no músculo de todos os peixes os níveis foram inferiores aos níveis estabelecidos pela FAO e pela legislação local consultada.

Os autores destacam que os dados resultantes mostraram que a taxa de acumulação e a demanda biológica de qualquer metal são diferentes para cada tecido dos peixes, citam ainda que muitos pesquisadores relataram que os metais pesados se acumulam em concentrações elevadas no fígado e nas brânquias, porque esses órgãos têm potencial relativamente maior para acumulação de metal do que o tecido muscular. E a variabilidade

observada nos níveis de metais em espécies diferentes depende muito dos hábitos alimentares, do metabolismo ecológico, da idade e do tamanho dos indivíduos.

Kose *et al.* (2020) concluem o estudo enfatizando que os níveis elevados de metais encontrados principalmente nas brânquias e no fígado dos peixes podem representar um perigo potencial para o ecossistema aquático e para a saúde humana. Portanto, é necessária a ação de monitoramento do local para evitar a ingestão excessiva de metais traços pelos moradores das comunidades ribeirinhas e minimizar a poluição do ambiente aquático.

1.2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE DISSERTAÇÕES/TESES

No que tange às dissertações e teses selecionadas durante a pesquisa bibliográfica, o Quadro 3 apresenta a caracterização quanto ao autor(a)/ título/ orientador(a), Universidade, tipo/ ano e objetivo.

Quadro 3 Caracterização das Dissertações e Teses.

Autor(a)/Título/Orientador(a)	Tipo/Universidade/Ano	Objetivo
ANGHEBEN, F. M. Avaliação da concentração de metais em peixes de diferentes níveis tróficos ocorrentes no Rio das Anas e no Rio Tega – RS. <i>Orientadora: Dr^a. Vânia Elisabete Schneider.</i>	Dissertação de Mestrado Universidade de Caxias do Sul. Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais. Ano: 2019	Analisar a concentração dos metais chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn) no tecido muscular de peixes nativos dos Rios Tega e Antas.
SAVASSI, L. A. Efeitos da contaminação por metais pesados e biomarcadores de impacto ambiental em peixes da Bacia do Rio São Francisco, MG. <i>Orientador: Dr. Nilo Bazzoli</i>	Tese de Doutorado Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós- Graduação em Biologia Celular. Ano: 2019	Avaliar através de análises histológicas e imunohistoquímicas, o estado de contaminação do dourado, <i>Salminus franciscanus</i> , espécie de peixe de grande porte, endêmico da bacia do rio São Francisco, MG, que representa alto valor comercial e é amplamente consumido na alimentação da população.

Fonte: Autora (2023)

Angheben (2019) em sua dissertação intitulada “*Avaliação da concentração de metais pesados em peixes de diferentes níveis tróficos ocorrentes no Rio da Antas e no Rio Tega – RS*”, com o objetivo de avaliar a concentração de chumbo, cobre, cromo, mercúrio,

níquel e zinco no tecido muscular de três espécies de peixes classificados pelos seus hábitos alimentares como onívoros, carnívoros e detritívoros, em dois rios pertencentes da Bacia Hidrográfica Taquari/Antas, verificando se há existência de bioacumulação entre os mesmos, tendo em vista a expansão desse ramo de pesquisa em todo o território brasileiro e a proteção da saúde da população consumidora destas espécies.

Para a elaboração do referido estudo, a autora selecionou dois pontos de coletas distintos, sendo eles: um ponto no Rio das Antas que foi selecionado por ser a jusante do exutório do Rio Tega e outro ponto no Rio Tega por ser receptor de efluentes domésticos, industriais e rurais da região de sua abrangência, ao final da amostragem foram obtidos 85 peixes provenientes do Rio das Antas e 46 do Rio Tega. Para a avaliação da concentração de metais em peixes foram selecionados um total de 30 amostras, 15 do Rio das Antas e 15 do Rio Tega sendo 05 indivíduos cada espécie de diferentes hábitos alimentares. As espécies utilizadas foram: *Astyanax sp* (Lambari) representando o grupo dos onívoros, *Rhandia quelem* (Jundiá) representando os carnívoros e *Loricariichthys anus*, *Hemiancistrus punctulatus*, *Hypostomus commersoni* (Cascudos) representando os detritívoros.

Com relação à análise estatística, para obtenção dos teores de chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco nas amostras foi utilizada a análise descritiva, para identificação se ocorreu, ou não, relação de bioacumulação dos metais nas espécies foi realizada a análise de variância (ANOVA) e também o Teste de Tukey. As variáveis numéricas de massa e comprimento com a bioacumulação de metais foram submetidas a um teste de correlação de Pearson e o método estatístico adotado para verificar se os teores de metais nos espécimes estudados apresentavam valores acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente foi o da média das amostras com desvio padrão.

Os resultados apresentados mostraram uma concentração considerada alta de cromo em todos os indivíduos investigados, apontando uma possível contaminação da biota aquática, pois os metais que são provenientes de resíduos industriais tratados de forma incorreta sofrem processo de sedimentação em ambientes lênticos, e em consequência disso, potencializando riscos para a população consumidora das espécies. O zinco também apresentou valores elevados, porém essa concentração foi observada somente nos lambaris (*Astyanax sp*) do Rio Tega, os níveis de cobre e níquel encontraram-se abaixo dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde através das legislações consultadas no estudo, fato esse que ocorreu em todas as amostras analisadas, enquanto mercúrio e chumbo não alcançaram os limites de detecção do equipamento.

Foi evidenciado pela autora que o metal cromo apresentou bioacumulação nos indivíduos detritívoros do Rio das Antas e no Rio Tega, em ambos com concentrações semelhantes. Já cobre e níquel não apresentaram diferenças significativas de concentração entre as espécies. O zinco por sua vez apresentou diferentes concentrações nos indivíduos onívoros oriundos do Rio das Antas. Com relação ao Rio Tega, os metais que apresentaram valores significativos foram: cobre, níquel e zinco, ambos nas espécies onívoras, e esse fato pode estar relacionado com o uso e ocupação do solo, pois como relatado no estudo, a área investigada conta com uma imensa atividade agrícola.

A autora conclui que esse acúmulo acima mencionado nos tecidos dos peixes, é um fator que pode estar associado a contaminação do corpo hídrico pelo aporte de efluentes industriais, notadamente de atividades de galvanização presentes na região que utiliza metais no tratamento de superfície de materiais. Ressalta ainda, que o impacto causado pelo acúmulo de metais no meio aquático, não afeta somente os peixes, mas sim, interfere nos processos químicos e biológicos que vão desde a bioacumulação nas espécies até a bioacumulação em diferentes níveis tróficos, comprometendo também a qualidade da água. E, além disso, há preocupações significativas quanto à segurança alimentar, pois a presença de metais pesados em peixes pode representar riscos para a saúde humana, especialmente em comunidades que dependem da pesca como fonte de alimento.

Corroborando esse cenário, a tese “*Efeitos da contaminação por metais pesados e biomarcadores de impacto ambiental em peixes da Bacia do São Francisco, MG*” de Savassi (2019), objetivou avaliar através de análises histológicas e imunohistoquímicas, o estado de contaminação do dourado, *Salminus franciscanus*, espécie de peixe de grande porte, endêmico da bacia do rio São Francisco, MG, que representa alto valor comercial e é amplamente consumido na alimentação da população. No estudo foram avaliados os níveis de Cd, Cr, Cu, Fe, Pb e Zn, no fígado e no tecido muscular, de 68 exemplares de *S. franciscanus* coletados em dois rios da bacia do rio São Francisco, MG, Brasil: Abaeté (pouca atividade antrópica) e Paraopeba, trechos A e B (alta atividade antrópica).

Com relação às análises estatísticas, utilizou-se o software GraphPad Prism versão 5.0 para Windows e os resultados foram expressos como média $\pm$ erro padrão (S.E.M.) e considerados significativos no intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$), feito isso o autor relata que os dados referentes a concentração dos metais não apresentaram distribuição normal, e com isso foi utilizado testes não paramétricos de Kruskal-Wallis, seguidos por testes post-hoc de Dunn e Mann-Whitney (teste de Wilcoxon).

Os resultados mostraram que os peixes do rio Paraopeba estão impróprios ao consumo humano, ultrapassando os limites seguros ao consumo no filé (Cd, Cr, Cu e Pb acima do limite permitido) estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Além dos elevados níveis de metais pesados na musculatura dos peixes, no fígado foram registrados valores acima do limite legal para os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Pb e Zn (todos os metais analisados), indicando diferenças significativas à pior qualidade ambiental e ao cenário de maior contaminação por metais pesados, encontrado no rio Paraopeba.

Quanto ao Rio Abaeté citado no início do referido trabalho como local de pouca atividade antrópica, o autor não traz os dados encontrados para tal região, ele apenas é citado em nível de comparação aos resultados evidenciados para o Rio Paraopeba.

Savassi (2019) conclui sua tese, relatando que a bioacumulação de metais pesados pode estar relacionada com a ocorrência de alterações no fígado dos peixes, e essas mudanças sugerem que os biomarcadores podem ser importantes na avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas contaminados por metais pesados. Em resumo, o autor afirma que os dados obtidos em sua pesquisa mostram que os metais pesados podem influenciar negativamente a biologia do *Salminus franciscanus* e, consequentemente, a saúde humana através do consumo de peixes contaminados.

Por fim, após a análise dos 13 trabalhos selecionados (11 artigos e 2 teses/dissertações) acerca da temática da presença de metais pesados em sedimentos e peixes, evidencia-se que há um consenso quanto à relevância desses elementos como indicadores de contaminação ambiental e de pressão antrópica sobre os ecossistemas aquáticos. Os estudos revisados destacam, de modo geral, a influência de atividades urbanas, agrícolas e industriais como as principais fontes de aporte metálico, além do papel dos sedimentos como compartimentos de acumulação e remobilização de contaminantes.

Observou-se que boa parte das pesquisas se concentra na quantificação dos teores metálicos, na avaliação de riscos ecológicos e nos potenciais riscos à saúde humana, sobretudo em comunidades ribeirinhas e em populações que consomem peixes provenientes de ambientes contaminados. Além disso, parte significativa dos estudos realiza comparações sazonais, permitindo avaliar a variação temporal na distribuição e na concentração dos metais entre os períodos de seca e de chuva.

Destaca-se também a existência de lacunas científicas relacionadas à avaliação de ambientes impactados por lixões inativos que, ao longo do tempo, passaram a apresentar ocupação humana em seu entorno ou diretamente sobre essas áreas. Estudos envolvendo

esse tipo de cenário ainda são limitados, especialmente aqueles que investigam de forma integrada os possíveis efeitos desses passivos ambientais sobre os compartimentos aquáticos e a biota local. Nesse contexto, pesquisas voltadas a áreas com ocupações assentadas próximas a antigos locais de disposição inadequada de resíduos tornam-se fundamentais para ampliar o entendimento sobre a dinâmica dos contaminantes e os potenciais riscos ambientais associados a esses ambientes.

2. QUALIDADE DA ÁGUA E RESÍDUOS SÓLIDOS

“É necessário religar-se com os seres naturais e políticos que somos para agirmos e pensarmos aquilo que verdadeiramente queremos em nossos espaços de vivência. Os rios, não precisam ser testemunhos de uma evolução social negativa ou perversa; precisam, e precisamos conviver mais e melhor.”
(Bobadillo, 2014).

Nesse capítulo abordou-se a importância da água para manutenção de todas as formas de vida do planeta, perpassando por fatos históricos que já reconheciam sua essencialidade para a sobrevivência. O percurso inicia-se versando sobre a relevância deste recurso atender aos padrões de qualidade para assegurar o bem-estar da população. Na sequência discorre-se sobre a desigualdade de distribuição da água doce no mundo, bem como as causas da escassez e por quais vias as cargas poluidoras chegam aos mananciais, comprometendo a qualidade da água e o bem-estar dos organismos aquáticos e daqueles que a utilizam. Em seguida apresenta-se o conceito de Resíduos Sólidos, bem como as normativas técnicas que norteiam sua classificação, relatam-se também quais os principais locais utilizados para o descarte final dos lixos, enfatizando o uso inadequado e ilegal dos lixões, assim como os impactos gerados a partir dessa atividade. Por fim, é descrito os impactos ainda gerados após a desativação dos lixões com destaque para o lixão Arroio Dourado da cidade de Foz do Iguaçu/PR.

2.1 A ESSÊNCIA LÍQUIDA: A IMPORTÂNCIA E OS IMPACTOS DA QUALIDADE DA ÁGUA.

A água é um recurso natural vital e essencial para a sustentação da vida. Um dos aspectos menos divulgados, embora crucial na natureza, é a sua capacidade de criar ecossistemas diversos, como rios, lagos, fontes, brejos e pântanos, além de reservatórios naturais e artificiais. Esses ambientes apresentam uma ampla variedade de formas e tamanhos, proporcionando uma vasta gama de habitats e nichos ecológicos, que sustentam uma considerável biodiversidade de flora e fauna. Esses ecossistemas são habitados por uma diversidade de organismos, incluindo bactérias, algas, protozoários, micro e macro crustáceos, moluscos, peixes, aves, mamíferos e plantas aquáticas, que frequentemente são considerados verdadeiros *hotspots* (Gomes, 2017).

Bobadilho (2014) acrescenta que a água é um elemento renovável reposto na superfície terrestre, portanto, o consumo irracional, como desperdícios, a poluição dos rios e a falta de saneamento básico faz-se com que esse recurso se torne escasso. O desmatamento, a compactação do solo, dentre outros fatores dificultam a infiltração das águas nos solos, o que comprometem o volume das águas e assim o ciclo hidrológico. Entretanto, ao analisar as ações humanas perante os cuidados com os recursos naturais e assim o aumento da crise hídrica em todo o território brasileiro, a importância do gerenciamento desses reservatórios torna-se algo essencial, contudo, é necessária a criação de programas e legislações com o intuito de controlar a utilização desses reservatórios naturais.

Os ecossistemas aquáticos têm enfrentado significativas transformações, sendo a grande maioria, causadas por atividades humanas em diversos níveis. Todos os organismos dependem da água para sua sobrevivência, uma vez que este recurso participa e impulsiona todos os ciclos ecológicos, dessa forma, os sistemas aquáticos oferecem uma ampla gama de recursos ao ser humano, graças à diversidade de espécies que os habitam, desempenhando assim um papel ativo e crucial na biodiversidade do nosso planeta (Peixoto, 2016).

Desde tempos antigos, a água foi reconhecida como essencial para a sobrevivência das comunidades, pois registros históricos mostram que os primeiros assentamentos humanos frequentemente surgiam nas margens dos rios, e seu desenvolvimento estava intimamente ligado à administração dos recursos hídricos. Por exemplo, os egípcios utilizaram o Rio Nilo para a agricultura, enquanto os povos da Mesopotâmia se estabeleceram entre os vales dos rios Tigre e Eufrates com propósitos semelhantes. Uma gestão deficiente desses recursos acarretava sérios impactos na saúde e no bem-estar das populações, podendo até levar à extinção de civilizações inteiras (Andrade, 2019).

Em suma, a disponibilidade de água está intrinsecamente relacionada à preservação dos ecossistemas. Portanto, é crucial que esse recurso atenda aos padrões de qualidade e esteja livre de substâncias que possam causar danos aos organismos, visto que, a sua qualidade e oferta condicionam a saúde e o bem-estar das populações, pois a veiculação hídrica de agentes etiológicos de caráter infeccioso ou parasitário é responsável pela alta incidência de doenças que afetam as populações de modo geral (Braga *et al.*, 2005).

Durante muito tempo, acreditou-se que este seria um bem inesgotável, porém segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, estabelece uma política, em esfera nacional, elaborando meios que possibilite tornar esse recurso natural disponível em quantidade e qualidade a toda população brasileira (Tundisi, 2011).

A água em nosso planeta apresenta um volume praticamente constante. A água doce, utilizada com maior facilidade para consumo humano, é um bem natural renovável, apresentando variações de volume com as mudanças climáticas, pois está armazenada em reservatórios superficiais e subterrâneos e nas áreas glaciais ficou acumulada em grandes geleiras. Existem variações sazonais que alteram a distribuição entre suas diversas formas ao longo do regime hídrico. Atualmente, a água doce está distribuída de forma desigual no planeta, tanto entre os tipos de mananciais, como entre as regiões e intraregionalmente. Apenas 0,3% da água doce estão em mananciais superficiais e cerca de 30% no subsolo, e a maior parte, cerca de 70%, está em geleiras. A disponibilidade maior de água pode não garantir a efetiva distribuição equânime para populações humanas. A desigualdade da distribuição dos recursos hídricos contrasta com as diferenças populacionais. A Ásia, o continente mais populoso, concentra 59,8% dos habitantes e 31,6% da disponibilidade total de água doce superficial do planeta. Por outro lado, as Américas contam com 13,6% da população mundial e 41% da água disponível (Augusto *et al.*, 2012).

Seguindo esse mesmo viés, Bordalo (2017) explica que há também as desigualdades intercontinentais e num mesmo país, como é o caso do Brasil, que tem 2,8% da população mundial e 12% da água doce do planeta. No entanto, 70% dessa água estão na Bacia Amazônica onde a densidade populacional é a menor do país. Por outro lado, a região mais árida e pobre do Brasil, o Nordeste, onde vive cerca de 30% da população, possui somente 5% da água doce. A alta densidade populacional, a poluição, a agricultura, a indústria energética-intensiva e o desmatamento provocam o aumento na escassez de água de qualidade. Nas regiões Sul e Sudeste do país, onde vive cerca de 60% da população dispõe de 12,5% de água doce.

De acordo com Andrade (2019), um aspecto bastante citado por diversos autores que contribui negativamente com a deterioração dos corpos d'água é o crescimento demográfico, principalmente o processo de urbanização, este tem causado um aumento significativo no consumo hídrico em função da concentração populacional, da necessidade de realização de infraestruturas, dos serviços urbanos, dos equipamentos domésticos e das atividades industriais e comerciais. Nesse mesmo contexto, Silva (2011) complementa

afirmando que esse crescimento da população tem afetado os recursos hídricos, que têm se tornado o destino de diversos tipos de poluentes devido à deterioração sistemática de sua qualidade e de sua potabilidade natural. A disponibilidade de água potável segura e saudável para todos é um dos desafios para os governantes e o meio científico em todo o mundo, já que a potabilidade da água é pré-requisito para a saúde e meios de subsistência.

Brito (2003) conclui que o número de pessoas aumentou e continua aumentando significativamente, todavia, os recursos naturais não, e, à medida que crescem as necessidades, os ecossistemas se deterioram.

Segundo Araújo *et al.* (2016) apesar de estar entre os países com maior disponibilidade de água no mundo, o Brasil enfrenta problemas sérios de escassez em algumas regiões devido às suas vastas dimensões geográficas e condições climáticas diversas. Regiões como o semiárido nordestino, e mais recentemente grandes metrópoles como São Paulo, Fortaleza e Recife sofrem com essa questão. De acordo com Oliveira (2002), 97,9% dos municípios brasileiros têm serviços de abastecimento de água, mas apenas 75% do volume necessário passam por tratamento convencional, e somente 20% contam com coleta e tratamento de águas residuais. Nas áreas restantes, esses resíduos são despejados diretamente em corpos d'água, tornando-as frequentemente inadequadas para certos usos.

Tal realidade eleva ainda mais a grande preocupação pela preservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos disponíveis no planeta, dando uma maior atenção para as águas superficiais, que a cada dia se tornam relativamente mais escassas em função de alguns fatores como: a má utilização dos recursos naturais pelo homem e da poluição que afeta diretamente as fontes (Gasparotto, 2011).

A contaminação das águas superficiais, de natureza limnológica, resulta praticamente de todas as atividades humanas, sendo elas comerciais, industriais e domésticas. Cada uma dessas atividades gera poluentes específicos, que têm diferentes impactos na qualidade das águas receptoras, como por exemplo, os esgotos domésticos e os efluentes de criação animal e agricultura carregam altas cargas orgânicas, podendo ser prejudiciais à saúde, o desenvolvimento agrícola libera uma variedade de compostos sintéticos e elementos químicos com alto potencial tóxico e as práticas agrícolas podem resultar na contaminação da água por pesticidas e fertilizantes (Gomes, 2017).

Neto (2014) enfatiza que os efeitos resultantes da introdução de poluentes no meio aquático dependem da natureza do poluente, do caminho que esse poluente percorre no meio e do uso que se faz do corpo d'água, e estes podem ser inseridos no ambiente de

forma pontual ou difusa. As cargas pontuais são introduzidas por lançamentos individualizados, como os que ocorrem no despejo de esgotos sanitários ou de efluentes industriais, por ser facilmente identificadas, o seu controle é mais eficiente e mais rápido.

As cargas pontuais de poluição são uma fonte significativa de degradação dos corpos hídricos, elas se referem aos efluentes de origem identificável e localizada, como os provenientes de estações de tratamento de esgoto, indústrias, refinarias, minas e outras fontes específicas. Esses efluentes contêm uma variedade de substâncias químicas nocivas, incluindo metais pesados, produtos químicos orgânicos, nutrientes em excesso (como nitrogênio e fósforo) e microplásticos, entre outros. Sua principal característica é a descarga direta sem tratamento adequado causando uma série de impactos negativos como a contaminação, redução da qualidade da água potável, morte de organismos aquáticos, eutrofização (aumento excessivo de nutrientes que estimula o crescimento de algas) e a formação de zonas mortas, onde a vida aquática não é sustentável (Paganini, 2013).

Ainda de acordo com Paganini (2013) as cargas difusas são assim chamadas, por não terem um ponto de lançamento específico e por correrem ao longo das margens dos rios como, por exemplo, as substâncias provenientes de campos agrícolas, ou por não advirem de um ponto preciso de geração, como no caso de drenagem urbana. São provenientes da deposição de poluentes de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica e chegam aos corpos hídricos de forma intermitente, associada à precipitação, são geradas a partir de extensas áreas de ocupação antrópica e arrastadas pelo escoamento superficial, ou seja, o transporte são as águas pluviais. Dificilmente pode se verificar o ponto de origem, dificultando o controle, monitoramento e tratamento.

Os impactos negativos sobre a qualidade dos recursos hídricos são diversos, sendo os principais a mortalidade dos peixes, má qualidade da água e consequentemente tornando-a imprópria para o consumo, poluição bacteriana de rios e lagos, depósitos de sedimentos, contaminação por metais pesados e um grande risco de propensão à enchentes (Neto, 2014).

Ainda nesse mesmo contexto, Neto (2014) destaca que, no amplo contexto social, econômico e ambiental do século XXI, as principais causas da “crise da água” estão diretamente relacionadas com os seguintes problemas e processos:

- Estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento de demanda;
- Infraestrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30% de perdas na rede após o tratamento das águas;

- Problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos, aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (Chuvas intensas e períodos intensos de seca); e,

- Problemas na falta de articulação e falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

Sendo assim, enfrentar a escassez e garantir água de qualidade e em quantidade para a crescente população mundial é o grande desafio do século XXI. A principal dificuldade está em encontrar formas mais efetivas de conservar, utilizar e proteger os recursos hídricos da poluição em nível global. Além da escassez, os problemas da água de má qualidade acabam por gerar queda na produção de alimentos, intensificar as doenças e aumentar as tensões políticas e sociais (Neto, 2014).

Para Junior (2024) o revés sobre a água é uma questão social, histórica e local, a presença de um quadro crescente de insustentabilidade hídrica é perpassada por dois aspectos: de um lado o aumento dos desastres climáticos (secas e enchentes) e, do outro, a contaminação dos corpos hídricos que tornam cada vez mais caro o abastecimento de água potável para a população mundial. Esse cenário torna-se ainda mais problemático quando se é mencionado às doenças de veiculação hídrica, ou seja, causadas por organismos ou outros contaminantes propagados pela água, e estas de acordo com Soares, Carmo e Bevilacqua (2017) perduram pela negligência às circunstâncias de captação, armazenamento e utilização da água pela sociedade, de maneira que práticas exercidas pelas próprias pessoas que fazem uso da água de reservatórios podem alterar sua qualidade, havendo uma inerente relação entre o acesso à água de boa qualidade, infraestrutura adequada e saúde humana.

Diante de todo esse cenário de poluição ambiental é importante destacar outros fatores que impulsionam a degradação da qualidade da água de rios é a ocupação desordenada das encostas, resultado da remoção da vegetação nativa, construções muito próximas às calhas dos rios, ineficientes sistemas de drenagem e esgotamento, serviço ineficiente de recolhimento de resíduos sólidos depositados nas ruas e lixo doméstico imprópriamente disposto são, dentre outras, fontes agravantes dos impactos catastróficos decorrentes de chuvas intensas (Nunes, 2011).

Garcias e Sanches (2009) enfatizam que dentre os impactos com relação à ocupação irregular nas encostas dos mananciais já citados, há outros que julgam importante citar como: a remoção da cobertura florestal, deixando o solo exposto e suscetível à erosão, o assoreamento dos cursos da água, a poluição das águas pelo lançamento de efluentes sem

tratamento e o descarte inadequado dos resíduos sólidos, aumentando a poluição difusa, a erosão das margens e, a diminuição gradativa da vazão dos rios, aumento do escoamento superficial, devido à compactação e impermeabilização do solo, diminuição da recarga dos aquíferos devido à baixa infiltração das águas pluviais.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS: DA GESTÃO AO DESTINO FINAL

Um dos grandes problemas ambientais que estão sempre sendo discutidos é a geração de resíduos sólidos e o seu descarte de maneira incorreta, essa ação é classificada como uma das principais fontes de poluição das águas de rios urbanos ou rurais, locais estes que carecem dos sistemas de coleta e esgotamento fazendo com que esses resíduos se desloquem para dentro dos corpos d'água.

A ABNT NBR 10004/2004 define resíduos sólidos como:

Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e 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 seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

A Normativa Técnica NBR 10.004 informa que para a classificação dos resíduos sólidos devem ser estabelecidos critérios como identificação do processo ou atividade de sua origem, constituintes e características, bem como os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Para essa classificação, são utilizados ensaios como os testes de lixiviação e solubilização onde se verifica a potencial liberação de substâncias contaminantes dos resíduos quando em contato com a água. Além disso, são consideradas propriedades químicas e físicas, que incluem análise de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e outras propriedades que possam representar riscos (ABNT, 2004).

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) quanto à origem destes, são classificados em dez categorias: resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos comerciais e de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de

serviços de saúde (RSS), resíduos da construção civil (RCC), resíduos agrossilvipastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração, conceituados no Quadro 4.

Quadro 4 Classificação dos resíduos sólidos segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ACORDO COM A ORIGEM.	
Resíduos Domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
Resíduos de limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduos domiciliares e de limpeza urbana
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Resíduos de limpeza urbana; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; resíduos de serviços de saúde; resíduos da construção civil; resíduos de serviços de transportes.
Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico	Gerados nessas atividades, excetuados os referidos (resíduos sólidos urbanos).
Resíduos Industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
Resíduos de Serviços de Saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária).
Resíduos Agrossilvipastoris	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Resíduos de Serviços de Transportes	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de Mineração	Gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Brasil (2010)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 10004/04) descreve a classificação dos resíduos sólidos conforme apresentado no Quadro 5. Com relação ao tipo estes podem ser classificados em resíduos recicláveis e não recicláveis, já quanto à composição química podem ser orgânicos e inorgânicos.

Quadro 5 Classificação dos resíduos sólidos de acordo com ABNT.

CLASSE	DEFINIÇÃO
Resíduos Classe I – Perigosos	Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade (capacidade de pegar fogo em condições normais de pressão e temperatura), corrosividade (capacidade de corroer materiais, inclusive metais e tecidos vivos), reatividade (propensão a reagir violentamente com água ou outras substâncias, podendo liberar gases tóxicos ou explosivos), toxicidade (capacidade de causar danos à saúde humana ou ecossistemas, mesmo em baixas concentrações) e patogenicidade (capacidade de transmitir doenças). Ex: resíduos químicos perigosos (solventes, ácidos e bases), resíduos hospitalares infectantes (agulhas, materiais contaminados), pilhas e baterias.
Resíduos Classe II – Não perigosos	São subdivididos em IIA e IIB
Classe II A – Não Inertes	Podem ser biodegradáveis (capacidade de decomposição por microrganismos), combustíveis (potencial de queimar ou se transformar em cinzas) ou solúveis em água (capacidade de se dissolver em água e alterar suas propriedades). Ex: resíduos orgânicos (restos de alimentos, resíduos de jardinagem), papéis, plásticos e tecidos.
Classe II B – Inertes	Resíduos que, quando testados, não apresentam substâncias solubilizadas em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água e que não se decompõem, não são combustíveis e não são solúveis. Suas propriedades são: estabilidade (não se decompõem ou sofrem transformações químicas), não possuem combustibilidade (não pegam fogo e não liberam substâncias tóxicas) e não solubilidade (não se dissolvem em água e não alteram suas características). Ex: entulhos de construção (concreto, tijolos, telhas), vidros e cacos de cerâmica.

Fonte: ABNT (2004)

Conforme Fagundes (2010), a produção de resíduos sólidos está diretamente associada às atividades humanas, abrangendo resíduos domésticos, industriais, hospitalares, entre outros, cuja quantidade e qualidade podem variar de acordo com fatores como sazonalidade, poder aquisitivo e hábitos da população. Essa geração de resíduos difere significativamente em grandes centros urbanos. Nessas áreas, o alto volume de

resíduos gerados representa um desafio em relação à sua disposição, e o acúmulo inadequado desses resíduos pode ter efeitos prejudiciais no ecossistema.

Com a demanda crescente da geração de RSU pela população que também aumenta consideravelmente aliado ao capitalismo industrial de consumo faz-se necessário uma melhoria nos programas de coleta, transporte e destinação final destes materiais (Araújo, 2019).

O descarte do lixo por sua vez é bastante diversificado, determinado pela sua natureza e pela administração local, sendo esta ação de inteira responsabilidade municipal. Moraes *et al.* (2017) categorizam os principais destinos dos resíduos, incluindo: coleta seletiva, lixão, aterros sanitários, usina de compostagem, incineração, reciclagem e biogásificação. Destes, os dois mais adotados são: aterros sanitários e os lixões.

Segundo Duarte (2018) a disposição final dos resíduos sólidos nos lixões, aterros controlados e aterros sanitários se distinguem principalmente pelo nível de controle técnico, ambiental e sanitário, bem como pelo controle de acesso de pessoas a esses locais. Os lixões, também conhecidos como vazadouros a céu aberto, representam a forma mais inadequada de destinação final, caracterizando-se pela disposição direta dos resíduos sobre o solo, sem qualquer tipo de impermeabilização, drenagem de chorume ou controle de gases. O chorume por sua vez, origina-se da decomposição da massa de resíduo orgânica e possui características peculiares e de elevado potencial poluidor. É um líquido fétido e de coloração escura, constituído por substâncias orgânicas e inorgânicas, sendo em sua maioria por água rica em sais inorgânicos, matéria orgânica e metais pesados (chumbo, mercúrio, alumínio, entre outros). E este, ao entrar em contato com o solo, pode modificar de forma intensa suas características, bem como as das águas subterrâneas, caso consiga alcançá-las. A ação das chuvas corrobora a infiltração do chorume no solo, e com o carreamento superficial desta substância nociva para dentro dos corpos d'água prejudicando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas (Medeiros, 2019).

Nessas áreas, o acesso de pessoas é irrestrito, sendo comum a presença de catadores, moradores do entorno, animais e terceiros sem qualquer proteção ou controle, o que potencializa os riscos de acidentes, exposição a contaminantes, proliferação de vetores de doenças e problemas de saúde pública. Além disso, a decomposição desordenada dos resíduos favorece a infiltração de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas, bem como a emissão descontrolada de gases. De acordo com Medeiros (2019) acrescenta-se a esta situação o total descontrole dos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias.

Comumente, ainda se associam aos lixões a criação de animais e a presença de pessoas (catadores), os quais, algumas vezes residem no próprio local.

Os aterros controlados configuram-se como uma solução intermediária entre os lixões e os aterros sanitários, apresentando melhorias pontuais na organização da disposição dos resíduos. Nesses locais, geralmente existe algum controle de acesso, com restrição parcial da entrada de pessoas e veículos, além de cobertura periódica dos resíduos com solo. No entanto, esse controle é frequentemente limitado e insuficiente, permitindo, em muitos casos, o acesso eventual de catadores e terceiros. A ausência de sistemas adequados de impermeabilização do solo, drenagem e tratamento de chorume e controle efetivo dos gases faz com que esses empreendimentos ainda representem riscos significativos ao meio ambiente e à saúde pública, apesar das melhorias em relação aos lixões (Santos, 2019).

Em contraste, para Gouveia e Prado (2010) os aterros sanitários constituem a forma tecnicamente mais adequada de disposição final de resíduos sólidos, sendo empreendimentos de engenharia concebidos para minimizar os impactos ambientais e à saúde pública. Esses sistemas operam com base em critérios técnicos rigorosos, atendendo à legislação ambiental vigente e a normas específicas de projeto, operação e monitoramento. Entre suas principais características destaca-se a impermeabilização do solo, realizada por meio de camadas de argila compactada associadas a mantas geossintéticas, com a finalidade de impedir a infiltração do chorume e a contaminação das águas subterrâneas. O chorume gerado pela decomposição dos resíduos é coletado por sistemas de drenagem e encaminhado para tratamento adequado, podendo ser tratado no próprio empreendimento ou em estações externas licenciadas. Além disso, os aterros sanitários podem dispor de sistemas de captação e controle de gases, especialmente metano e dióxido de carbono, que podem ser queimados em flares ou aproveitados para a geração de energia.

No que se refere ao acesso de pessoas, os aterros sanitários apresentam controle rigoroso e permanente, com entrada restrita exclusivamente a trabalhadores autorizados, técnicos responsáveis e veículos devidamente licenciados para o transporte de resíduos. O acesso de catadores, visitantes e do público em geral é expressamente proibido, com o objetivo de prevenir acidentes, reduzir riscos à saúde e evitar a exposição a contaminantes. Esses empreendimentos contam com cercamento, portaria, vigilância e sinalização adequada, assegurando condições operacionais e sanitárias controladas, inclusive durante a fase de pós-encerramento (Gouveia e Prado, 2010). As informações sobre controle e risco

ambiental, bem como as principais características dos lixões, aterros controlados e aterros sanitários estão sintetizadas no Quadro 6.

Quadro 6 Caracterização de lixões, aterros controlados e aterros sanitários

Tipo	Controle Ambiental	Risco Ambiental	Situação legal	Características
Aterro Sanitário	Alto	Baixo	Permitido	Engenharia completa, impermeabilização, drenagem e tratamento.
Aterro Controlado	Médio/Baixo	Médio	Tolerado provisoriamente	Apenas cobertura de resíduos; pouco controle de chorume e gases.
Lixão	Nenhum	Alto	Proibido	Resíduos a céu aberto, sem proteção, contaminando o ambiente.

Fonte: Gouveia e Prado (2010)

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, em seu Art. 1º institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) dispondo seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólido, incluído os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis. A PNRS traz alguns conceitos fundamentais, tais como: acordo setorial, logística reversa, integração de catadores, coleta seletiva, padrões sustentáveis de produção e consumo, responsabilidade compartilhada e se aplica a todos, pessoas físicas e jurídicas, de direito público e privado, responsáveis pela geração de resíduos sólidos e por ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. Os principais objetivos dessa lei, em síntese são: redução, não geração, reutilização e tratamento dos resíduos; destinação final ambientalmente adequada aos rejeitos; incentivo ao aumento da reciclagem; promoção e incentivo à inclusão social; minimização do uso dos recursos naturais no processo de produção de novos produtos; intensificação das ações voltadas à educação ambiental; incentivo à geração de emprego e renda para catadores de materiais recicláveis (Brasil, 2010).

Com o intuito de nortear as ações de toda a sociedade na gestão de resíduos sólidos a PNRS em seu Art. 6º traz uma série de princípios, como: prevenção e precaução; o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos; o desenvolvimento sustentável; a ecoeficiência; a cooperação entre as diferentes esferas do

poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social; o respeito às diversidades locais e regionais; o direito da sociedade à informação e ao controle social; e a razoabilidade e a proporcionalidade (Santos, 2019).

Quanto à destinação dos resíduos sólidos, em seu Art. 54, a PNRS proíbe a disposição final em lixões nos municípios brasileiros depois de agosto de 2014. A elaboração dos Planos de Resíduos Sólidos é de competência das esferas do Poder Público, Estadual e Municipal, além de estarem previstas metas para eliminação e recuperação de lixões (Brasil, 2010).

Devido ao não cumprimento da referida lei, entrou em vigor a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 que atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e estabelece prazos para o fim da disposição inadequada de resíduos sólidos (lixões) e a sua substituição por aterros sanitários devidamente licenciados (Brasil, 2020).

No âmbito do Estado do Paraná, a Resolução CEMA nº 109/2021 estabelece critérios e procedimentos para o gerenciamento de resíduos sólidos, disciplinando as etapas de coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final, bem como as exigências para o licenciamento ambiental dessas atividades. A normativa visa aprimorar o controle ambiental sobre a gestão de resíduos no estado, restringindo práticas inadequadas de disposição final, regulamentando o recebimento de resíduos de outras unidades da federação e reforçando a responsabilidade dos empreendimentos quanto à preservação de impactos ambientais. Dessa forma, a resolução representa um importante instrumento de gestão ambiental, alinhado aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos, contribuindo para a redução de riscos associados à contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

A Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) em sua publicação mais recente sobre o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil relata que no ano de 2024 foi registrado um índice superior a 40% na disposição final em unidades inadequadas, esse montante representa quase 41% de todo o lixo gerado no país. Desse total 28,1 milhões de toneladas foram enviadas para os mais de 3 mil lixões que ainda existem no país, apesar da prática ser considerada ilegal (ABREMA, 2025).

Nesse cenário, no que tange à desativação de um lixão, Araújo (2015) diz que o fim da operação de um lixão não cessa o conjunto de problemas que ele pode causar. A geração do chorume, por exemplo, pode continuar ao longo de décadas.

A remediação e o fechamento de lixões visam minimizar os impactos ambientais negativos causados pela deposição de resíduos. Quando é decidida a interrupção da operação em um local, é necessário estabilizar a área física, química e biologicamente, processo que leva pelo menos 10-15 anos, para depois destiná-la a um uso adequado no futuro (Lima *et al.*, 2025).

Dentre as técnicas utilizadas para a desativação de um lixão, segundo Possamai *et al.* (2007), a maneira mais adequada é a retirada da massa de lixo, transpondo-a para um aterro sanitário e recuperando a área escavada com solo natural da região. Porém, os custos envolvidos, são elevados. Uma das formas mais econômica para minimizar os impactos ambientais na remediação e no fechamento dos lixões inativos é uma sequência de medidas como: limpar a área, providenciar cobertura final, drenar águas superficiais, drenar o biogás e o percolado, tal como coletar e tratar ambos, efetuar monitoramento geotécnico e ambiental, realizar manutenção das estruturas do aterro e elaborar projeto de uso futuro da área.

Após a desativação de um lixão, a decomposição dos resíduos orgânicos presentes continua a gerar chorume e gases, como metano e dióxido de carbono. Já o chorume, com sua alta carga de nutrientes pode promover a eutrofização de corpos d'água próximos, levando ao crescimento excessivo de algas e consequente degradação da qualidade da água, o que afeta negativamente a vida aquática e os usos humanos desses recursos. Simultaneamente, a produção de gases ocorre devido à fermentação anaeróbica dos materiais orgânicos, liberando compostos que podem contribuir para o efeito estufa e representar riscos de explosões se acumulados em espaços confinados (Gupta *et al.*, 2024).

Outro problema recorrente da decomposição desses resíduos é o alto teor de metais pesados depositados no solo, dentre eles os mais comuns são: níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr), e o excesso destes no solo aumenta a possibilidade de inserção na cadeia alimentar e, consequente, contaminação dos integrantes bióticos. Além disso pode ocorrer a lixiviação e o carreamento desses poluentes para dentro de corpos d'água comprometendo a qualidade das águas superficiais e subterrâneas ameaçando a diversidade e a sobrevivência de organismos aquáticos presentes no local (Aendo *et al.*, 2022).

Embora o chorume e os gases sejam os maiores problemas causados pela decomposição do lixo após o encerramento dos lixões, outros problemas associados à sua disposição podem ocorrer, tais como: produção de odores desagradáveis, riscos de

incêndio, desvalorização imobiliária do entorno, presença de animais e insetos no local e perda da qualidade do solo e das reservas hídricas (Correia, 2020).

Vaverková *et al.* (2019) complementam que diante desses problemas que atualmente tornou-se uma preocupação mundial, o simples fechamento ou abandono desses locais não pode ser considerado uma opção, caso seja necessário, cabe ao município adotar uma técnica de recuperação ambiental das áreas degradadas, mitigando os impactos já existentes e evitando novos impactos que ainda podem vir a acontecer.

2.3 LIXÃO ARROIO DOURADO – FOZ DO IGUAÇU/PR

O município de Foz do Iguaçu, cidade essa localizada a oeste no estado do Paraná, conta com 285.415 habitantes (IBGE, 2022), enfrenta problemas ambientais graves causados pelas ações descontroladas e infundidas como, por exemplo, o descarte de resíduos sólidos em locais inapropriados contaminando as reservas de recursos hídricos, ar, solo etc.

O bairro denominado Arroio Dourado representa, devido ao seu histórico, um proeminente quadro de passivo ambiental, pois, como serviu de “lixão” para o município por volta de três décadas, apresenta fortes indícios de risco ao meio ambiente e a comunidade em seu entorno.

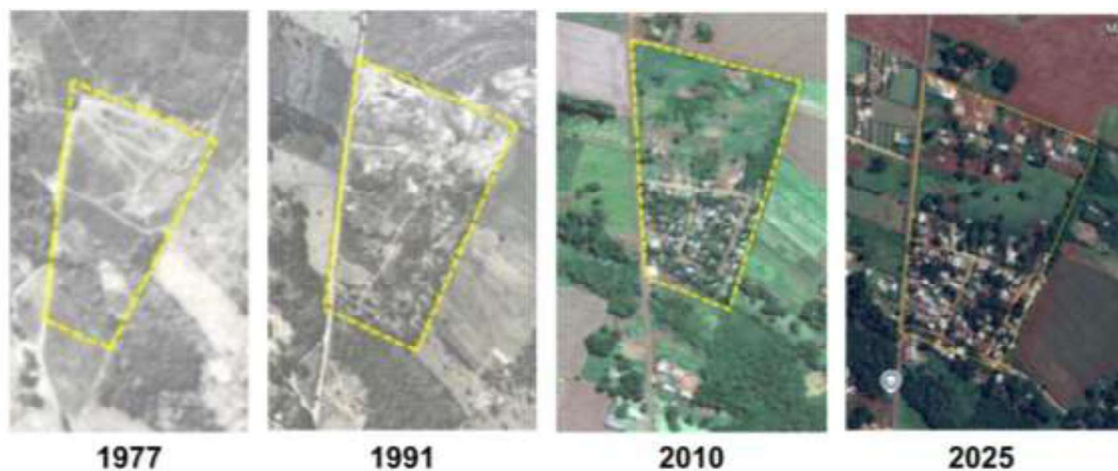
Em 1992, ocorreu o encerramento das atividades do lixão, e com essa desativação, o lixo que se encontrava exposto foi apenas coberto por uma camada de terra, sendo que esta, em muitos lugares e com o adensamento dos resíduos, erosão e lixiviação, tornou-se insuficiente e os resíduos ficaram expostos na superfície, comprometendo a qualidade de vida e pondo em risco a saúde das famílias que moram no local (Ambiental Consultoria Empresarial LTDA, 2012).

Após a desativação do lixão Arroio Dourado, muitas famílias, a maioria formada pelos próprios catadores construíram suas moradias no local, colocando em risco a saúde da pequena comunidade (aproximadamente 70 famílias), também aumentou a carga poluidora sobre o corpo hídrico superficial, devido ao lançamento pelos próprios moradores de rejeitos domésticos sem nenhum tipo de tratamento.

A evolução temporal desde a década de 70 até os dias atuais do uso e ocupação do solo na região do antigo Lixão Arroio Dourado está ilustrada na Figura 2.

Segundo a Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu (Ambiental Consultoria Empresarial LTDA, 2012), a disposição de resíduos no local foi interrompida há décadas (aproximadamente 32 anos); entretanto, a geração de gases como metano e sulfídrico permanece ativa, podendo ocasionar efeitos adversos à população residente, composta majoritariamente por famílias de baixa renda e carente de infraestrutura de saneamento básico e de serviços públicos. Em função desse cenário, a área passou recentemente a ser objeto de disputa quanto ao uso do solo, iniciada pelo Ministério Público, após a emissão de um relatório técnico preliminar que apontou a possibilidade de emissões gasosas no subsolo e a existência de riscos ambientais associados. Avaliações posteriores conduzidas pela UNILA (universidade local), que incluíram medições de gases no solo e a consideração de análises prévias da qualidade da água e do solo, não evidenciaram condições que justificassem a remoção da população, reforçando a necessidade de diagnósticos ambientais atualizados e tecnicamente consistentes para a referida bacia hidrográfica.

Figura 2 Histórico da utilização da área do Lixão Arroio Dourado na cidade de Foz do Iguaçu.



Fonte: Adaptado de Ambiental Consultoria Empresarial LTDA (2012) e Google Earth (imagem de satélite), 2025.

Houve um tempo que essas pessoas captavam água de poços rasos perfurados em cima da própria camada de lixo, aumentando assim o risco de contaminação. Sendo assim, o córrego Arroio Dourado localizado na bacia de captação de água para abastecimento público, apresenta alto potencial de contaminação.

2.3.1 Principais impactos nos rios urbanos.

Entende-se por “rio urbano” um curso d’água natural que atravessa, banha ou exerce influência direta nas áreas construídas de uma cidade ou região densamente povoada. Esses rios mantêm sua origem natural, mas adquirem novas características decorrentes da interação com a infraestrutura e os processos urbanos (Rezende; Araújo, 2015).

De acordo com Bobadillo (2014) em uma perspectiva mais reflexiva, a Constituição de 1988 exerceu forte influência sobre as políticas ambientais e urbanas que se seguiram, ao estabelecer diretrizes para a organização da Administração Pública e ressaltar a importância do equilíbrio ecológico, da saúde humana por meio da qualidade ambiental e do direito a uma vida digna em condições igualmente justas. No entanto, a realidade prática distorce esses princípios. A valorização do meio ambiente e da dignidade humana ainda está distante das prioridades governamentais, especialmente nas esferas municipais, que muitas vezes utilizam sua autonomia constitucional mais para atrair investimentos privados e executar obras dispendiosas do que para promover a conservação dos recursos hídricos sob sua responsabilidade.

Nesse viés, o descarte inadequado de resíduos torna-se uma ação fundamental na mitigação da poluição dos rios urbanos. Para os gestores públicos de todo o mundo, o gerenciamento desse tipo de material tornou-se, nas últimas décadas, um tema de preocupação.

Segundo Philippi Jr., Marcon e Grisotto (2009) o gerenciamento dos recursos hídricos urbanos depende fortemente da atuação do poder público, especialmente diante do estado crítico em que esses sistemas se encontram. O elevado índice de poluição causado pela disposição incorreta de resíduos compromete a qualidade da água e afeta negativamente a biota aquática, colocando em risco o equilíbrio ecológico e exigindo medidas urgentes e integradas de gestão ambiental. A integração intersetorial e interinstitucional das políticas e dos sistemas de planejamento e gestão principalmente em áreas de grandes cidades é bastante divergente e enfrenta vastos desafios, dado que essa integração é uma das poucas formas de viabilização de estratégias, programas e investimentos para o enfrentamento de questões socioambientais visando a preservação das reservas hídricas urbanas.

Nas regiões metropolitanas, falando exatamente das áreas subjacentes, as distorções e os desafios de integração tornam-se especialmente evidentes quando se analisam, de

forma articulada, as políticas de recursos hídricos, saneamento e desenvolvimento urbano. Essa análise revela que muitos dos instrumentos, quando existentes, de controle e monitoramento ambiental ainda carecem de regulamentação adequada e, em grande parte, demandam ajustes significativos para se alinharem efetivamente aos objetivos do desenvolvimento local (Santos 2009).

Outro fator importante quando se trata da preservação dos rios urbanos é uma maior participação e envolvimento mais qualificado da sociedade, pois tanto os órgãos responsáveis quanto à comunidade têm interesses comuns na conservação do meio ambiente. Dessa forma, a educação ambiental é um dos pilares responsáveis para o fortalecimento da cidadania e para a criação de uma ambiência institucionalmente favorável e orientada ao desenvolvimento sustentável (Medeiros *et al.*, 2011).

A educação ambiental segundo Mizutani e Maróstica (2021) é:

Um método de aprendizagem onde existe um gerenciamento nas relações entre o meio ambiente e a sociedade humana de forma integrada, sustentável e igualitária, expondo assim a relação, as formas de preservar, conservar e administrar os recursos da natureza de forma mais adequada na promoção da cidadania e do respeito ao meio ambiente proporcionando assim uma visão crítica, global e holística da responsabilidade na participação consciente na preservação ambiental (Mizutani e Maróstica, 2021. p. 6).

Mucelin e Belline (2008), afirmam que a população brasileira segue a tendência global de ocupação ambiental ao adotar o ecossistema urbano como principal espaço de moradia. A transição do Brasil de uma sociedade predominantemente rural para urbana ocorreu, entretanto, por meio de um processo essencialmente predatório, marcado por intensos desequilíbrios socioambientais. Nesse contexto, observa-se uma significativa exclusão social, especialmente entre as camadas mais vulneráveis da população, que, por não disporem de condições financeiras para adquirir terrenos em áreas urbanizadas e devidamente estruturadas, acabam ocupando de forma precária espaços ambientalmente sensíveis, como margens de rios, encostas e áreas de preservação comprometendo a integridade do ecossistema.

O fato de os seres humanos estarem próximos a áreas de mananciais por dependerem deles para a sobrevivência, os rios são constantemente expostos e suscetíveis à contaminação, especialmente pelo lançamento direto de esgoto doméstico e pelo acúmulo de resíduos em seu entorno, dessa forma o problema ambiental se concentra principalmente na produção do lixiviado, que se não tratado pode acarretar sérios

problemas na contaminação da água. O lixiviado pode apresentar altas concentrações de contaminantes como metais pesados e esses elementos tóxicos, ao se acumularem nos sedimentos e na biota aquática, oferecem riscos significativos tanto para os seres humanos, por meio do consumo de água ou de organismos contaminados, quanto para os animais e plantas que compõem o ecossistema fluvial, afetando processos biológicos essenciais, causando bioacumulação e comprometendo a biodiversidade. Dessa forma, a poluição por metais pesados não apenas agrava os problemas de saúde coletiva, mas também desequilibra profundamente os sistemas aquáticos (Andrade, 2002).

3. POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS: EFEITOS NA QUALIDADE DA ÁGUA E NA BIODIVERSIDADE.

“A degradação da qualidade da água e a perda da biodiversidade são um alerta vermelho para a sobrevivência do nosso planeta. Cada reserva hídrica poluída e cada espécie extinta são peças insubstituíveis removidas do grande mosaico da vida, enfraquecendo os ecossistemas que sustentam toda a vida na terra, inclusive a nossa.”

(The Diversity of Life – Edward O. Wilson, 1992, p. 125)

Neste capítulo, foi apresentada uma abordagem ampla sobre os metais pesados, ressaltando suas principais características químicas, sua classificação quanto à essencialidade e toxicidade, bem como os danos que podem causar para a saúde humana e para o meio ambiente. Na sequência, foi discutido a respeito dos metais pesados no ambiente aquático, destacando os mecanismos de entrada, transformação e mobilidade desses elementos nos corpos hídricos, bem como os fatores ambientais que influenciam sua biodisponibilidade. Posteriormente, a análise direcionou-se para dois compartimentos fundamentais: os sedimentos e os peixes. No primeiro, foi enfatizado o papel dos sedimentos como reservatórios e indicadores históricos de poluição, capazes de acumular e remobilizar metais sob diferentes condições ambientais. Já no segundo, abordou-se a relevância dos peixes como bioindicadores, dada sua capacidade de bioacumular metais em seus tecidos, refletindo tanto na qualidade da água quanto os riscos potenciais à biota aquática e à saúde humana.

3.1 METAIS PESADOS

De acordo com Jaishankar *et al.* (2014), a expressão “metal pesado” se aplica aos elementos que tem densidade maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico superior a 20. Além disso, possuem características próprias como aparência brilhante, bons condutores de eletricidade e, geralmente, participam de reações químicas com íons positivos de enzimas no metabolismo, sendo conhecidos também como elementos traço ou metais traço.

Esses metais são classificados em dois grupos, essenciais e não essenciais. Os metais essenciais são aqueles que fazem bem à saúde de modo geral quando é usado em pequena quantidade, porém se ultrapassar a quantidade, tornam-se prejudiciais à saúde humana e da natureza. Os metais não essenciais são aqueles que se acumulam no organismo, seja humano ou dos animais, provocando efeito tóxico. Entre esses metais temos prata, mercúrio, bário, arsênio, cobre, ouro, cádmio, zinco, níquel, manganês, cromo, cobalto, chumbo entre outros (Martins *et al.*, 2011), com relação a essencialidade dos metais, será visto mais detalhadamente no item 3.2.2 deste trabalho.

A toxicidade de uma substância depende da sua especiação, da via e do tempo de exposição. Apesar de variados, os sintomas e danos causados pelos metais pesados são provenientes de dois principais mecanismos de ação, que são: a formação de complexos com grupos funcionais das enzimas e a combinação com as membranas celulares (Pacheco *et al.*, 2015). Os metais pesados têm efeitos adversos sobre os seres vivos e causam danos aos órgãos vitais de animais e humanos (Pratush *et al.*, 2018).

Com isso, a seguir, será apresentado o impacto e a toxicidade de alguns metais pesados importantes.

Os principais metais pesados tóxicos e seus efeitos para a saúde humana estão descritos a seguir no Quadro 7.

Quadro 7 Principais metais pesados e seus efeitos na saúde humana.

Metal pesado	Ocorrência antropogênica	Efeitos na saúde
Mercúrio (Hg)	Consumo de peixes contaminados, mineração de ouro, indústrias cerâmicas, farmacêuticas, petróleo, têxteis, cosméticos, instrumentação, soda caustica, descarga de águas residuais industriais, lixo incinerado, agricultura, pilhas, lâmpadas e baterias, entre outras atividades que contaminam o meio ambiente com Hg e seus compostos.	Neurotoxicidade: afeta o sistema nervoso central e periférico. Distúrbios cognitivos e motores: especialmente em crianças, podendo causar atraso no desenvolvimento neurológico. Toxicidade renal e imunológica etc.
Chumbo (Pb)	Água contaminada (encanamentos antigos), tintas à base de chumbo e baterias.	Redução da capacidade cognitiva e problemas comportamentais, especialmente em crianças. Anemia: Afeta a síntese da hemoglobina. Disfunções renais e hipertensão em adultos etc.

Cádmio (Cd)	Fertilizantes, alimentos cultivados em solos contaminados e fumaça de cigarro.	Toxicidade renal: Danos irreversíveis aos túbulos renais. Osteoporose: Fragilidade óssea devido à interferência no metabolismo do cálcio. Efeitos carcinogênicos: Associado ao câncer de pulmão, próstata e rim etc.
Arsênio (As)	Águas subterrâneas contaminadas, mineração e pesticidas.	Lesões cutâneas: hiperpigmentação e queratose. Câncer: Especialmente de pele, pulmão e bexiga. Danos cardiovasculares e distúrbios gastrointestinais etc.
Alumínio (Al)	Utensílios de cozinha em geral; embalagens e revestimentos; metalurgia 'leve' para fabricação de transportes; cabos para transmissão elétrica; compostos para o tratamento d'água; indústrias de fundição, tintas e químicas; artefatos da construção civil e medicamentos.	Constipação intestinal, cólicas abdominais, anorexia, alterações no metabolismo do cálcio causando raquitismo, alterações neurológicas com graves danos ao tecido cerebral etc.
Cromo (Cr)	Indústrias de galvanoplastia, curtumes e cimento.	Câncer de pulmão e outros efeitos carcinogênicos. Irritação e úlceras na pele e trato respiratório. Toxicidade hepática e renal etc.
Cobre (Cu)	Catalisadores, petroquímica, fungicidas, inseticidas e praguicidas, tintas e corantes, medalhas, esmaltes, vidros e cerâmicas, caldeiras, tubos, válvulas, cabos e conectores elétricos, indústria automobilística, instalações hidráulicas e de gás contra incêndios, ar-condicionados, condensadores e compressores, anticorrosivos, placas solares, tubulações e equipamentos, edificações e construção civil.	Disfunção hepática fulminante e hepatite crônica; rigidez, tremor e convulsões; psicose, disfunção cognitiva, alterações afetivas e comportamentais etc.
Ferro (Fe)	Metalurgia para fabricação de transportes; construção civil; aços variados; soldas, ligas e purificadores de minérios; componentes magnéticos; catalisadores; motores, engrenagens e válvulas;	Vômitos; doenças hepáticas (fibrogênese, cirrose, necrose hepatocelular e carcinoma); diabetes taquicardia; úlceras; cansaço; perda de peso; dores nas

	adsorventes e abrasivos; ferramentas em geral; medicamentos; corantes, tintas e pigmentos; eletrodos industriais; mordentes; fungicidas; ímãs; entre outras infinidades de atividades que utilizam o metal e seus compostos.	articulações; porfiria; doença Alzheimer e Parkinson, etc.
Manganês (Mn)	Pilhas; produção de aditivos da gasolina; ferro e aço; fertilizantes; ração animal; indústrias de produção de oxigênio e cloro; indústrias de tintas, cerâmicas e vidros; compostos oxidantes e sínteses orgânicas; fósforo de segurança; esmalte porcelanizado; fungicidas; eletrodos para solda; catalisadores; produtos farmacêuticos e materiais elétricos.	Anorexia, cefaleia, distúrbios da fala e redução da habilidade nos movimentos finos, problemas respiratórios, queda nos níveis de cálcio, fósforo e ferro, pancreatite, aterosclerose etc.
Zinco (Zn)	Liga de bronze; galvanização de estruturas de aço; aditivos de tintas e borrachas; eletrodos de pilhas; indústrias têxteis, borrachas, tintas, cerâmicas e fertilizantes; mordentes; anticorrosivos.	Náuseas e vômitos, sonolência, atraso no crescimento, infertilidade, aumento da suscetibilidade às infecções, deficiência imunitária e demora na cura de ferimentos, problemas gástricos, hipertensão etc.

Fonte: Wandermurem (2016)

Diante do observado, ainda de acordo com Wandermurem (2016) uma gama de atividades corriqueiras e processos industriais envolvem etapas que irão expor o homem e o meio ambiente à presença de metais pesados. Estes estão alocados, nas suas espécies mais ameaçadoras, no ar, na água, nos alimentos que é consumido e, até mesmo, nos objetos e produtos que se utiliza diariamente. Trata-se de uma ameaça próxima e presente, que leva o seu humano a enfermidades que se agravam ao longo do tempo de exposição e, invariavelmente tem como resultado doenças fatais (carcinomas). Assim, elaborar um plano de gerenciamento (monitoramento, diagnóstico, análise, tratamento e reciclagem) e desenvolver tecnologias, equipamentos, produtos e serviços com a finalidade de substituir e reduzir a produção dessas espécies contaminantes é essencial.

3.2 METAIS PESADOS NO AMBIENTE AQUÁTICO

Cesar *et al.* (2007) destacam que a descarga de metais pesados em ambientes aquáticos pode acarretar alterações substanciais nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, tanto do corpo hídrico receptor quanto do próprio comportamento dos metais. Essas modificações podem ser classificadas em duas categorias principais: os efeitos do ambiente sobre os metais e os efeitos dos metais sobre o ambiente. A primeira categoria diz respeito às condições ambientais que influenciam a mobilidade, especiação e toxicidade dos metais presentes na água. Já a segunda enfatiza os impactos dos metais sobre os organismos aquáticos, afetando diretamente suas respostas biológicas. Conforme as condições ambientais variam, os metais podem provocar mudanças na densidade, diversidade, estrutura das comunidades biológicas e na composição das espécies presentes. Para Aziz *et al.* (2023) a magnitude desses efeitos está diretamente relacionada à concentração dos metais na água, e a introdução de espécies metálicas de origem antrópica pode alterar significativamente as características do meio aquático, gerando impactos negativos à biodiversidade. Dado o alto grau de interdependência entre os organismos, tais alterações tendem a desencadear desequilíbrios ecológicos e comprometer a integridade dos ecossistemas aquáticos.

Geralmente os metais-traço são, em sua maioria, elementos persistentes, tóxicos e bioacumulativos, cuja presença em ambientes aquáticos tem se intensificado devido a diversas atividades antrópicas, esses podem ocorrer dissolvidos na forma de íons hidratados livres ou complexados a ligantes orgânicos e inorgânicos, e também podem estar presentes em fase sólida, associados a sedimentos ou ao material particulado em suspensão. Diferentemente dos compostos orgânicos tóxicos, os metais-traço não são passíveis de degradação, o que lhes confere um caráter cumulativo e permanente nos componentes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade (Coutinho, 2018).

A introdução de metais nos ecossistemas aquáticos pode ocorrer por vias naturais ou antrópicas. Os aportes naturais incluem processos como a deposição atmosférica, a precipitação pluvial e a liberação a partir da rocha matriz ou de compartimentos do solo onde esses elementos estão presentes de forma espontânea. Em contrapartida, as fontes antrópicas envolvem uma ampla gama de atividades humanas, destacando-se o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, a liberação de efluentes industriais, atividades agrícolas, lixiviado oriundo da decomposição de resíduos sólidos transportados para dentro dos corpos d'água, dentre outros (Carvalho *et al.*, 2022).

Um dos grandes problemas ambientais são a presença de aterros sanitários e até mesmo lixões próximos a rios, pois os resíduos ali descartados possuem alto potencial tóxico e podem ser carregados para o interior dessas reservas hídricas. Metais pesados como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cromo, zinco e manganês, dentre outros, estão presentes em diversos tipos de resíduos levados para esses locais. Estão presentes dentre os materiais descartados: lâmpadas, pilhas galvânicas, baterias, resto de tintas, resto de produtos de limpeza, óleos lubrificantes usados, solventes, embalagens de aerossóis, resíduos de amálgama utilizada em consultórios odontológicos, materiais fotográficos e radiográficos, embalagens de produtos químicos, pesticidas, fungicidas e inseticidas, componentes eletrônicos descartados isoladamente em placas de circuitos impressos, resíduos de produtos farmacêuticos, medicamentos com prazos de validade vencidos, latarias de alimentos, aditivos alimentares e plásticos descartados (Segura-Muñoz, 2002).

Após a deposição dos resíduos no solo, inicia-se um processo de deteriorização do material não inerte, que pode ocorrer de forma física (compactação), por reações químicas (entre os componentes dos materiais e/ou água da chuva) ou decomposição (aeróbica e anaeróbica). Como resultado dessa degradação é produzido o chorume, este se mistura com a água da chuva e outros líquidos, originalmente existentes no lixo, infiltrando-se no solo, e também sendo lixiviado para dentro dos corpos d'água. A contaminação destes reservatórios tem consequências que perduram por tempo indefinido e podem ser de difícil controle atingindo plantas e animais (Braga, 2022).

Corroborando com esse cenário de perdurabilidade, Carvalho *et al.* (2022) relata que os metais possuem ainda características atômicas peculiares, dando-lhes elevada resistência à degradação química, física e biológica no sistema aquático. Isto os leva a persistirem no ambiente aquático por vários anos, mesmo depois da proibição de sua utilização ou despejo nos cursos d'água. Ao persistir no sistema aquático, o metal tem sua concentração gradualmente aumentada, o que facilita sua maior concentração na água e absorção pelos organismos.

Os metais apresentam tendência à acumulação em organismos aquáticos, sendo absorvidos tanto pela superfície corporal quanto por estruturas respiratórias, além de serem incorporados por meio da ingestão de água e material particulado. Essa bioacumulação pode desencadear toxicidade, expressa por distúrbios nas funções metabólicas e, conseqüentemente, por alterações na distribuição e abundância das populações aquáticas. Além dos efeitos letais, a exposição a metais pode provocar respostas subletais, incluindo alterações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, comportamentais e reprodutivas. A

intensidade da absorção, os efeitos tóxicos e o grau de bioacumulação variam entre os diferentes organismos e são modulados por diversos fatores ambientais, como temperatura, pH, turbidez, do oxigênio dissolvido e a presença simultânea de outros metais em solução. Nesse contexto, a acumulação de metais em organismos aquáticos pode ser considerada um indicador eficaz da presença de metais em formas biologicamente disponíveis (Castro, 2006).

De acordo com Rodrigues e Smith (2022) sedimentos e organismos aquáticos como os peixes são importantes indicadores ambientais e bastante utilizados no diagnóstico da poluição por metais pesados. Os sedimentos atuam como reservatórios e indicadores históricos de contaminação, acumulando metais ao longo do tempo e refletindo a intensidade e a persistência das fontes poluentes. Por sua vez, os peixes representam organismos bioindicadores relevantes, uma vez que bioacumulam metais em seus tecidos, permitindo avaliar não apenas a presença, mas também a biodisponibilidade e os efeitos tóxicos desses elementos nos níveis tróficos superiores. Assim, a análise conjunta desses dois compartimentos fornece uma visão mais integrada da qualidade ambiental, contribuindo para a compreensão dos riscos ecotoxicológicos e para a formulação de estratégias eficazes de monitoramento e gestão dos recursos hídricos.

3.2.1 Metais pesados em sedimento

De acordo com Trindade (2010) a palavra “sedimento” tem origem no latim, derivada da raiz *sedis*, que significa "assentamento" ou "deposição". Etimologicamente, o termo remete ao material que está disponível para transporte, que se deposita ou tem potencial para se depositar. Quanto à sua origem, os sedimentos são classificados como terrígenos, clásticos e litogênicos, quando resultam da fragmentação de rochas pré-existentes, ou como bioquímicos, quando se formam a partir da precipitação de elementos químicos. Esses materiais são transportados por agentes físicos como a água, o vento, o gelo ou por ações antrópicas, sendo posteriormente carregados para ambientes aquáticos como lagos, rios e oceanos, onde passam a compor a carga sedimentar desses sistemas. Segundo Mudroch e Macknight (1991), uma vez incorporados ao meio aquático, os sedimentos estão sujeitos a processos de acumulação, reprocessamento e redistribuição de seus constituintes, mediados por reações químicas e atividades biológicas nos diferentes compartimentos hídricos.

Complementando, Sampaio (2003) conceitua sedimento como:

[...] sendo a partícula derivada da rocha, ou materiais biológicos, que pode ser transportada por fluído; é a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processos físicos e/ou químicos, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito (Sampaio, 2003, p. 21).

Os ecossistemas sedimentares caracterizam-se por duas camadas: a recente ou biológica e a permanente. Ambas estão explicadas resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização dos ecossistemas sedimentares.

Característica	Camada recente (biológica)	Camada permanente
Formação	Recente e ativa	Antiga e estável
Composição	Rica em matéria orgânica viva	Material compactado e degradado
Troca com a água	Intensa	Mínima ou nula
Função	Reciclagem de nutrientes	Registro geológico / ambiental
Presença de fauna	Alta (bioturbação)	Baixa ou ausente

Fonte: Baseado em Sampaio (2003)

Os sedimentos não apenas figuram entre os principais poluentes dos ambientes aquáticos, como também atuam como: catalisadores, carreadores e fixadores de diversos outros contaminantes. Isoladamente, eles são capazes de comprometer a qualidade da água destinada ao consumo humano, à recreação, ao uso industrial, ao funcionamento de infraestruturas hidrelétricas e à manutenção da vida aquática (Carvalho *et al.* 2000).

Em contrapartida para Silvério (2003), os sedimentos possuem valores agregados de natureza econômica, social e ecológica. O autor destaca que eles representam um dos principais componentes dos ecossistemas aquáticos, pois sustentam a vida ao formar uma diversidade de habitats e microambientes.

Na última década, a contaminação de metais pesados nas águas de rios tem se tornado o foco principal de pesquisas ambientais, utilizando o sedimento como indicador de tal poluição. Fontes geogênicas e antropogênicas podem ser responsáveis pela liberação desses metais no ambiente, tais como a erosão, processos hidrodinâmicos e os efluentes domésticos, industriais e agrícolas (Xu *et al.*, 2018). O crescimento populacional, quando

não acompanhado de planejamento e infraestrutura adequados, tem impactado negativamente a qualidade dos corpos hídricos e, conseqüentemente, de seus sedimentos. O aumento da demanda por recursos naturais, saneamento e descarte de resíduos tem intensificado a poluição e a degradação ambiental nas últimas décadas (Oliveira *et al.*, 2013).

Os sedimentos de fundo desempenham um papel fundamental no processo de poluição dos rios por metais pesados. Eles atuam como indicadores da carga contaminante presente no ambiente aquático, sendo úteis na detecção de substâncias que, após o lançamento em águas superficiais, não permanecem dissolvidas. Além disso, os sedimentos funcionam como reservatórios e potenciais fontes secundárias de poluição, uma vez que os metais pesados ali acumulados não ficam permanentemente retidos e podem ser remobilizados para a coluna d'água em resposta a alterações nas condições ambientais, como variações de pH, potencial redox ou presença de compostos orgânicos quelantes (Araújo Júnior, 2015). As propriedades de acúmulo e de redistribuição de substâncias nos sedimentos os tornam essenciais em estudos de impacto ambiental, uma vez que registram, de forma mais duradoura, os efeitos da contaminação ao longo do tempo (Truckenbrodt, 2019).

Além do mais, na interação entre os sedimentos e os metais pesados, destaca-se, entre os aspectos físico-químicos, a notável capacidade dos sedimentos de acumular esses elementos. Os contaminantes metálicos se acumulam por meio de diferentes processos, como adsorção, complexação, precipitação e assimilação biológica. Dentre esses mecanismos, a adsorção é o processo predominante na retenção de contaminantes nos sedimentos (Lima, 2008). De acordo com Sawyer *et al.* (2003), a adsorção é definida como a acumulação de substâncias na interface entre uma superfície sólida e a solução adjacente. Essa capacidade dos sedimentos de adsorver compostos os torna um compartimento essencial para a avaliação e diagnóstico ambiental em reservatórios hídricos.

Diante da relevância dos sedimentos como compartimentos ambientais capazes de acumular e registrar historicamente a presença de contaminantes torna-se fundamental considerar os instrumentos legais que orientam sua avaliação e interpretação. A legislação ambiental estabelece valores de referência para concentrações de metais em sedimentos, os quais auxiliam na identificação de possíveis níveis de contaminação, na avaliação de riscos ecológicos e no suporte à tomada de decisões para o gerenciamento e a recuperação de áreas impactadas. Nesse contexto, o enquadramento legal constitui uma base essencial para

a análise dos resultados obtidos e para a compreensão dos potenciais efeitos dos metais sobre os ecossistemas aquáticos.

A avaliação da contaminação por metais pesados em sedimentos no Brasil é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 454/2012, que estabelece valores orientadores com base em níveis de referências internacionais. Essa normativa define dois limiares de interpretação: o nível 1 associado a uma baixa probabilidade de efeitos adversos à biota aquática e o nível 2, indicativo de maior risco ecológico e necessidade de medidas de manejo. Dessa forma, os resultados obtidos no presente estudo foram confrontados com esses valores de referência (Tabela 2), permitindo a análise do potencial de bioacumulação de metais pesados e a identificação de riscos ambientais relacionados à qualidade dos sedimentos avaliados.

Tabela 2 Valores de referência para sedimentos de água doce, segundo a CONAMA nº 454/2012.

Metal	Nível 1(mg/kg) Limiar Inferior	Nível 2 (mg/kg) Limiar Superior
Arsênio (As)	0,6	3,5
Cádmio (Cd)	0,6	3,5
Chumbo (Pb)	35	91,3
Cobre (Cu)	35,7	197
Cromo (Cr)	37,3	90
Mercúrio (Hg)	0,17	0,486
Níquel (Ni)	18	35,9
Zinco (Zn)	123	315

Fonte: CONAMA (2012)

Além da legislação nacional, a avaliação da contaminação por metais em sedimentos é amplamente subsidiada por resoluções e diretrizes internacionais, que estabelecem valores orientadores com base em evidências ecotoxicológicas e em estudos de efeitos adversos sobre organismos aquáticos. Os limites estabelecidos pelas Canadian Sediment Quality Guidelines (CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001) são amplamente utilizados como referência internacional para avaliar o risco ecológico associado à presença de metais pesados. Esses valores são expressos pelos parâmetros TEL (Threshold Effect Level), que indicam concentrações abaixo das quais efeitos adversos sobre organismos aquáticos são raramente observados, e PEL (Probable Effect Level), que representam concentrações acima das quais efeitos adversos

são frequentemente registrados. Alguns dos valores orientadores para metais em sedimentos, definidos pela CCME, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Valores orientadores para sedimento de acordo com CCME (2001)

Metal	TEL (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)
Arsênio (As)	7,24	41,6
Cádmio (Cd)	0,70	4,20
Cromo (Cr)	52,3	160
Cobre (Cu)	18,7	108
Chumbo (Pb)	30,2	112
Mercúrio (Hg)	0,13	0,70
Zinco (Zn)	124	271

Fonte: Macdonald *et al.* (2000)

Nogueira *et al.* (2021) ressalta a importância de que a avaliação da presença de metais em sedimentos deve ser conduzida à luz de referenciais legais consolidados, tanto em âmbito nacional quanto internacional. No contexto brasileiro, a Resolução CONAMA nº 454/2012 fornece subsídios essenciais para a interpretação da qualidade dos sedimentos, enquanto diretrizes internacionais, como as Canadian Sediment Quality Guidelines (CCME), complementam essa análise ao incorporar evidências ecotoxicológicas associadas aos efeitos adversos sobre a biota aquática. A utilização integrada desses instrumentos permite uma interpretação mais consistente dos resultados, fortalece a avaliação de riscos ecológicos e amplia a confiabilidade das conclusões acerca do grau de contaminação e dos potenciais impactos ambientais associados aos metais presentes nos sedimentos.

3.2.2 Metais pesados em peixes

Os peixes, como já mencionado são considerados bons indicadores para a avaliação da poluição ambiental, uma vez que também são importantes recursos pesqueiros. Peixes de diferentes espécies têm sido frequentemente usados como bioindicadores de contaminação por metais pesados em ambientes aquáticos, principalmente aqueles que se encontram expostos a possíveis focos de poluição decorrentes da degradação de resíduos sólidos, onde a presença de metais pesados se torna muito mais evidente (Łuczyńska; Paszkowska; Łuczyński, 2018).

O termo "bioindicador" refere-se à capacidade de determinados organismos de refletirem alterações físicas, químicas e estruturais no ambiente, por meio de respostas observáveis em suas populações. Essas mudanças indicam que as condições ambientais se tornaram desfavoráveis ou inseguras, sinalizando a necessidade de ações corretivas para mitigação e recuperação do ecossistema afetado. Para que uma espécie seja considerada eficiente como bioindicadora, ela deve atender a certos critérios, como: apresentar ampla distribuição e abundância no ambiente, ser de fácil coleta, possuir ciclo de vida relativamente longo, contar com características ecológicas bem documentadas, entre outros fatores que garantam sua representatividade e sensibilidade às alterações ambientais (Spiller *et al.*, 2018).

Os metais, quanto à sua essencialidade para os organismos aquáticos, podem ser classificados em essenciais e não essenciais. Os metais essenciais, como cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn), desempenham funções biológicas fundamentais, atuando como componentes indispensáveis do metabolismo e participando de diversos processos fisiológicos, especialmente aqueles mediados por enzimas. No entanto, apesar de sua importância, esses elementos podem se tornar tóxicos quando presentes em concentrações acima dos limites tolerados pelos organismos. Por outro lado, os metais não essenciais, como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni) e chumbo (Pb), não apresentam funções biológicas conhecidas no metabolismo dos organismos aquáticos (Silva Junior *et al.*, 2022). Tanto os metais essenciais quanto os não essenciais podem se tornar altamente tóxicos quando acumulados em concentrações elevadas, pois a diferença entre nutriente e poluente está basicamente na concentração do elemento químico. Nos peixes, a exposição a esses elementos pode desencadear uma série de efeitos adversos, incluindo redução da fertilidade, comprometimento do sistema imunológico, diminuição da taxa de crescimento e o desenvolvimento de patologias graves, que, em casos extremos, podem levar à morte do organismo (Miranda Filho *et al.*, 2011).

Carvalho *et al.* (2022) destaca que, no ambiente aquático, ocorrem processos biológicos como a bioacumulação e a biomagnificação, ambos diretamente relacionados à absorção de metais pesados pelos peixes. No caso da bioacumulação, os metais pesados presentes na água, tanto em suspensão quanto dissolvidos, são absorvidos pelos peixes por meio de dois mecanismos principais: a difusão direta pelas brânquias e a ingestão de água ou partículas contaminadas, com absorção ocorrendo no trato digestivo. Esses órgãos são

considerados locais-chave para a entrada de elementos metálicos no organismo, tornando-se pontos críticos para o acúmulo de substâncias potencialmente tóxicas.

Na difusão, ocorre a absorção seletiva de metais dissolvidos diretamente da solução aquosa, os quais são posteriormente concentrados nos tecidos dos organismos. Esse processo é considerado uma forma específica de bioacumulação, denominada bioconcentração. A bioconcentração refere-se, principalmente, à incorporação direta de contaminantes dissolvidos na água para os peixes, em que o metal presente na água atravessa as brânquias, entra na circulação sanguínea e é posteriormente distribuído e acumulado em diferentes tecidos corporais (Kehrig *et al.*, 2011), conforme ilustrado na Figura 3.

Quando os peixes ingerem alimentos contaminados, ocorre o processo de bioacumulação propriamente dito. Nesse mecanismo, os metais ingeridos através da alimentação são absorvidos pelo trato digestivo e retidos nos tecidos do peixe. Esse acúmulo está diretamente relacionado aos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar e aos tipos de alimento consumido, como plâncton, crustáceos e peixes de menor porte (Setia *et al.*, 2020).

Figura 3 Modelo de Bioacumulação e Bioconcentração em peixes.



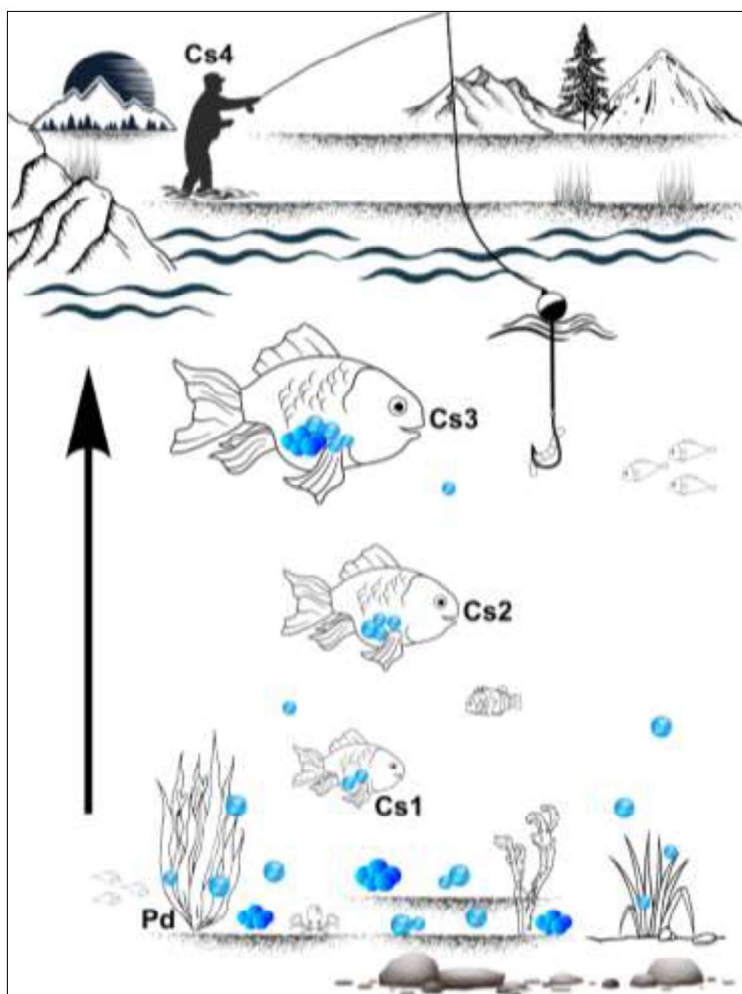
Fonte: Baseado em Lima *et al.* (2021)

À medida que o peixe ocupa níveis tróficos mais elevados, a quantidade de metais acumulados tende a aumentar, pois além dos contaminantes já absorvidos ao longo do tempo, ele passa a concentrar também os metais presentes nas presas consumidas. Como

resultado, os peixes predadores frequentemente apresentam concentrações mais elevadas de metais pesados do que os organismos que compõem a sua dieta (Lima, 2013).

De acordo com Kerhig *et al.*, (2011) no segundo caso, os peixes acumulam metais em seus organismos de forma gradual ao longo dos níveis tróficos, por meio de um processo denominado biomagnificação, ou, em alguns contextos, magnificação trófica. Esse fenômeno refere-se à transferência eficiente de contaminantes ao longo da cadeia alimentar, em que os metais acumulados nos organismos de níveis tróficos inferiores, como os produtores primários, são transmitidos aos consumidores subsequentes. Assim, a concentração de metais tende a aumentar progressivamente a cada nível trófico, sendo que, quanto mais longa for a cadeia alimentar, maior será a carga de contaminantes acumulada no consumidor final, conforme representado na Figura 4.

Figura 4 Processo de biomagnificação no sistema aquático. Produtores (Pd), Consumidor Primário (Cs1), Consumidor Secundário (Cs2), Consumidor Terciário (Cs3), Consumidor Quaternário (Cs4).



Fonte: Baseado em Lima (2013).

De modo geral, os maiores teores de metais pesados são observados em peixes localizados no topo da cadeia trófica, especialmente nas espécies carnívoras. Por ocuparem o nível mais elevado da cadeia alimentar, a ingestão de peixes contaminados constitui a principal via de exposição humana aos metais pesados, uma vez que estes retêm uma parcela significativa dos contaminantes acumulados ao longo da cadeia (Tao *et al.*, 2012).

Conforme já mencionado, Abdel-Baki *et al.* (2011) reforçam que os peixes podem ser utilizados como organismos bioindicadores da qualidade ambiental em relação à contaminação por metais pesados, além de servirem para avaliar o seu potencial como via de exposição desses contaminantes ao ser humano. Ademais, esses organismos desempenham um papel relevante na dinâmica e ciclagem de metais retidos nos compartimentos abióticos dos ecossistemas aquáticos, contribuindo para sua remobilização e eventual transferência para o meio terrestre por meio da cadeia alimentar. Isso se torna ainda mais evidente considerando que, em ambientes aquáticos, os peixes de maior porte e mais velhos geralmente consomem presas maiores e mais complexas, o que os torna mais propensos à bioacumulação de contaminantes ao longo do tempo, em comparação aos indivíduos menores da mesma população.

Wei *et al.*, (2014) diz que é importante ressaltar que as diferentes espécies de peixes incorporam os metais em concentrações variáveis, dependendo de diversos fatores, como as características metabólicas da espécie, o tipo de habitat ocupado (pelágico ou bentônico) e dos parâmetros ambientais como, salinidade e presença de material em suspensão, que podem influenciar tanto a disponibilidade dos metais no ambiente quanto o metabolismo dos organismos, acometendo os níveis de absorção e acúmulo dos contaminantes.

De acordo com Fernandes (2024) mesmo em concentrações baixas, a contaminação por metais no ambiente expõe os organismos de forma crônica, expondo-os a elevados riscos de desenvolvimento de alterações reprodutivas, e que o acúmulo de metais pode ser influenciado pelo tipo de metal, e estes podem acumular-se no fígado, brânquias e também no músculo, sendo o músculo a parte mais consumida na alimentação humana.

Paralelamente, parâmetros ambientais como pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido influenciam significativamente a biodisponibilidade dos metais, interferindo diretamente na sua absorção por via alimentar (Aziz *et al.*, 2023). Dessa forma, os estudos sobre a contaminação por metais pesados em peixes apresentam elevada complexidade, sendo fundamentais para a avaliação dos impactos sobre a biota aquática e para a compreensão dos processos de transferência trófica de contaminantes (Lima, 2013).

Considerando que os peixes ocupam diferentes níveis tróficos e podem bioacumular metais em seus tecidos ao longo do tempo, a avaliação de suas concentrações torna-se um importante instrumento para a análise da qualidade ambiental e dos potenciais riscos a biota aquática e a saúde humana. Nesse contexto, a interpretação dos níveis de metais em peixes deve ser fundamentada em legislações e diretrizes específicas que estabelecem limites máximos permitidos para essas substâncias, servindo como referência para a identificação de contaminação, a avaliação de riscos ecotoxicológicos e a proteção dos ecossistemas aquáticos e dos consumidores.

Segundo Lima *et al.* (2015) no Brasil, a avaliação dos níveis de metais pesados em peixes destinados ao consumo humano é regulamentada por normas sanitárias específicas, com destaque para a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabelece limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos, incluindo metais como arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio em peixes. De forma complementar, conforme discutido por Burger e Gochfeld (2005), diretrizes internacionais, como as estabelecidas pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura e pela Organização Mundial da Saúde (FAO/WHO), por meio do Codex Alimentarius, fornecem valores de referência amplamente reconhecidos para a proteção da saúde humana. A utilização conjunta desses referenciais nacionais e internacionais permite uma interpretação mais robusta das concentrações de metais em tecidos de peixes, subsidiando a avaliação de riscos associados ao consumo e fortalecendo a análise integrada da qualidade ambiental.

4. O OLHAR CIENTÍFICO E OS CAMINHOS DA INVESTIGAÇÃO: DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA.

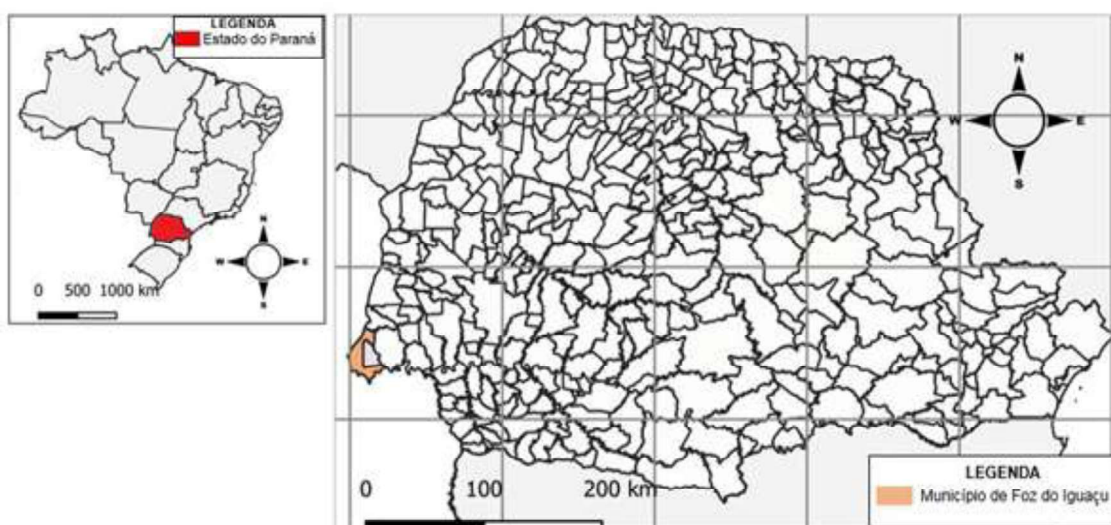
“A metodologia é mais do que um conjunto de técnicas, é o percurso consciente pelo qual a investigação transforma dúvidas em descobertas, dados em sentidos e o olhar humano em conhecimento novo sobre o mundo.”
(Soares, 2025)

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no estado do Paraná, na cidade de Foz do Iguaçu, em sua porção sudeste, na localidade de Arroio Dourado, como ilustrado na Figura 5.

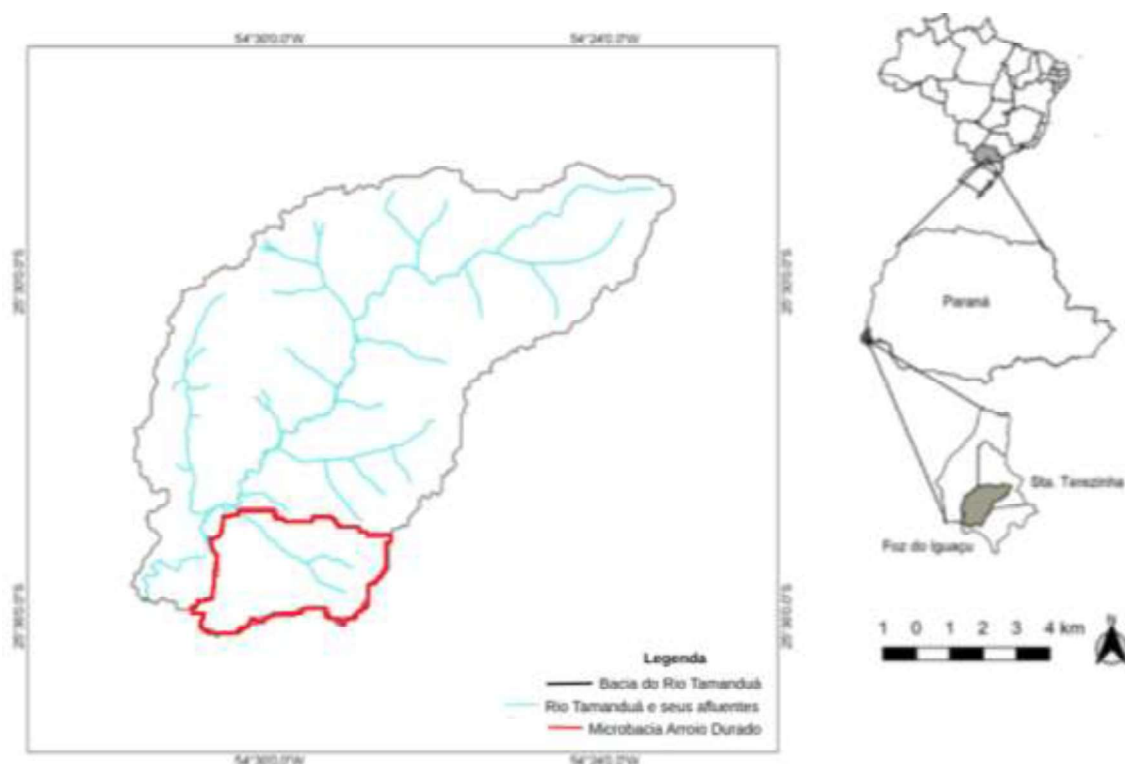
O Arroio Dourado nasce no município de Foz do Iguaçu, margeia a ocupação que se instalou nas dependências do antigo lixão e deságua no Rio Tamanduá (Figura 6). A Bacia do Rio Tamanduá tem aproximadamente 112,12 km² de extensão, e se estende pelos municípios de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, já e a microbacia do Arroio Dourado tem 10,23 km². No local há uma captação de água utilizada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) a jusante da junção entre o Arroio Dourado e o Rio Tamanduá.

Figura 5 Localização de Estado do Paraná e do município de Foz do Iguaçu.



Fonte: Autora (2025)

Figura 6 Localização da Microbacia Arroio Dourado e da Bacia do Rio Tamanduaá.



Fonte: Adaptado de Berté (2019)

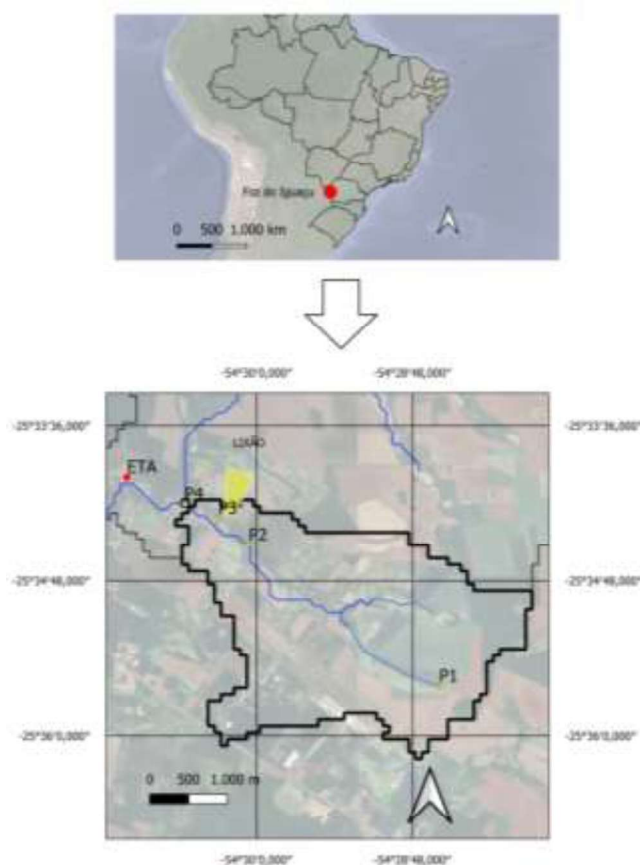
4.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO

Foram realizadas amostragens bimestrais entre os meses de agosto e dezembro de 2022. Os pontos de amostragem foram selecionados devido à presença do lixão situado as margens do rio. Assim, optou-se por realizar coletas em uma das nascentes (P1), a montante do antigo lixão (P2), a jusante do lixão (P3) e no exutório do Arroio Dourado junto à confluência com o rio Tamanduaá (P4) conforme ilustrados na Figura 7 e descritos na Tabela 4. As coletas seguiram as normas de amostragem (CETESB; ANA, 2011) e foram efetuadas sempre do exutório do rio em direção a nascente com o objetivo de evitar o revolvimento do leito e alterações dos resultados. O procedimento empregou equipamentos adequados, como béquer de aço inoxidável e bandeja devidamente esterilizada. Após a remoção da água, o sedimento foi homogeneizado utilizando-se a técnica do quarteamento (divisão, descarte parcial e sucessivas misturas), garantindo a representatividade das amostras. Os frascos enviados pelo laboratório foram recebidos

higienizados e identificados com o número da amostra a ser coletada, sendo posteriormente fechados e acondicionados em caixa térmica com gelo. Junto aos frascos, o laboratório também disponibilizou uma ficha contendo informações como: responsável pela coleta, data e hora de cada amostra coletada, a qual retornou preenchida junto com o material coletado. Durante todo o monitoramento, foram entregues aos laboratórios dentro do prazo estabelecido e mantidas na temperatura adequada (inferior a 4°C), conforme descrito detalhadamente no Apêndice 1.

As análises foram realizadas em dois laboratórios: Agrosafety e Mérieux NutriSciences. O laboratório Agrosafety possui um escopo de análises (matrizes alimentares e ambientais), acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro – Cgcre, segundo os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0286. Os ensaios da Mérieux NutriSciences foram realizados na unidade da Bioagri Laboratórios Ltda – filial São Paulo, sob a responsabilidade técnica do profissional Marcos Donizete Ceccato.

Figura 7 Pontos de coleta de sedimento



Fonte: Autora (2025)

Tabela 4 Caracterização dos pontos de amostragem do Arroio Dourado

Pontos de Coleta	Coord. Geográfica	Observações do entorno
P1 (Nascente)	S 25°35.614' W 054°28.589'	Ambiente pouco protegido, com presença de atividade agrícola e circulação de animais.
P2 (Montante)	S 25°34.518' W 054°30.060'	Área protegida por extensa vegetação ciliar em propriedade particular
P3 (Jusante)	S 25°34.319' W 054°30.279'	Trecho urbanizado localizado na área do antigo lixão, com presença de vias pavimentadas, descarte de resíduos nas margens do rio e atividades de lazer (pesca, banho etc.)
P4 (Exutório)	S 25°34.220' W 054°30.401'	Localizado em propriedade particular, com vegetação ciliar preservada, situado na confluência do Arroio Dourado com o Rio Tamanduá.

Fonte: Autora (2026)

4.2.1 Parâmetros Pesquisados

Foram avaliados 392 parâmetros, entre eles: metais pesados, HPAs, agrotóxicos e seus subprodutos e resíduos, além da caracterização e a carga de eutrofização. Os parâmetros monitorados, bem como as metodologias adotadas, identificação do laboratório onde foram realizadas as análises e os limites de quantificação (LQ) encontram-se descritos no Apêndice 2.

4.3 AMOSTRAGEM DE PEIXE

Foram realizadas amostragens semestrais nos meses de setembro de 2022, campanha 1 de peixes (C1P) e fevereiro de 2023, campanha 2 de peixes (C2P), correspondentes, respectivamente, aos períodos seco e chuvoso. Para este estudo foi definido a coleta de duas amostras sendo elas: uma amostra composta da extensão do Arroio Dourado que margeia a área do antigo lixão, a opção de uma amostra composta teve como objetivo contemplar a variabilidade espacial da biota ao longo do trecho do rio já mencionado e, além disso, devido à baixa densidade populacional de peixes registrada no local, a composição da amostra mostrou-se necessária para minimizar interferências

pontuais e garantir maior representatividade da comunidade, possibilitando uma avaliação mais robusta da bioacumulação de metais pesados associada ao passivo ambiental. Contudo, o uso de amostras compostas, aliado ao número restrito de campanhas, limita a robustez estatística dos dados de peixes, exigindo cautela na interpretação dos resultados. Como controle foi coletada uma amostra branca (*blank*), oriunda de uma ramificação do Lago da Itaipú localizada na cidade de Santa Terezinha de Itaipú/PR, em ambiente ripário, caracterizado pela presença de vegetação ciliar que contribui para a estabilização das margens, a proteção contra processos erosivos e a preservação da qualidade ambiental. Cada amostra totalizou 1kg de peixes inteiros.

Para a realização das análises, foram selecionadas três espécies de peixes que apresentaram maior abundância durante as campanhas de coleta: *Astyanax spp.* (Lambari), *Crenicichla hu* (Joana) e *Rhamdia quelen* (Jundiá). A escolha dessas espécies teve como objetivo padronizar as amostras quanto às características biológicas, especialmente tamanho e peso dos indivíduos (Tabela 5), buscando reduzir possíveis variações relacionadas às diferenças fisiológicas e metabólicas entre organismos de portes distintos. Além disso, a seleção das espécies mais representativas da área contribuiu para tornar os resultados mais consistentes e comparáveis, permitindo uma avaliação mais adequada dos processos de bioacumulação de metais no Arroio Dourado.

Tabela 5 Descrição dos peixes coletados no Arroio Dourado

Nome Popular	Nome Científico	Hábito Alimentar	Média de peso (g) dos indivíduos	Média de tamanho (cm)
Lambari	<i>Astyanax spp.</i>	Onívoro	16g	7cm
Joana	<i>Crenicichla hu</i>	Carnívoro	55g	16cm
Jundiá	<i>Rhamdia quelen</i>	Onívoro/carnívoro	100g	20cm

Fonte: Autora (2026)

O procedimento de coleta em campo seguiu as normas estabelecidas no Guia Nacional de coleta e preservação de amostras (CETESB; ANA, 2011) e foi realizado por meio de pesca elétrica (*electrofishing*), método recomendado para ambientes rasos, envolvendo uma equipe mínima de quatro pessoas (operação do equipamento, captura, seleção e acondicionamento).

Os peixes capturados foram acondicionados em gelo e transportados ao laboratório da UNILA para congelamento inicial e, após 48 horas, organizados em sacos plásticos identificados e caixas térmicas com gelo as amostras foram enviadas ao laboratório

analítico dentro do prazo estabelecido e na temperatura adequada (inferior a 4°C), garantindo sua preservação, qualidade e confiabilidade analítica, conforme descrito detalhadamente no Apêndice 3. As análises foram realizadas no laboratório Agrosafety, cuja toda a descrição já foi apresentada no item 4.2.

4.3.1 Parâmetros analisados

Foram avaliados 350 parâmetros, metais, metais pesados e resíduos de pesticidas. Assim como nas análises anteriores, os detalhes relativos aos parâmetros avaliados, às metodologias empregadas, aos limites de quantificação (LOQ) e à identificação dos laboratórios responsáveis encontram-se descritos no Apêndice 4.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Como etapa inicial da análise estatística, os compostos que apresentaram elevada frequência de valores inferiores ao limite de detecção (LOD) foram removidos antes do tratamento estatístico. Especificamente, compostos com predominância de valores não detectados (<LOQ) e detecção restrita a amostras isoladas foram excluídos, por não apresentarem poder estatístico ou variabilidade suficientes para análises multivariadas ou inferenciais confiáveis. Esses compostos não foram incluídos na Análise de Componentes Principais (PCA) nem nos testes estatísticos inferenciais; no entanto, sua ocorrência foi avaliada por meio de análise estatística descritiva e discutida de forma qualitativa.

Para as amostras de sedimento, a verificação do pressuposto de homogeneidade das variâncias foi realizada por meio do teste de Levene (valor de p). Quando esse pressuposto foi atendido ($p \geq 0,05$), as diferenças entre os grupos foram avaliadas por meio de análise de variância de uma via seguidas pelo teste post-hoc de Tukey ($p < 0,05$).

As análises estatísticas foram realizadas com o objetivo de avaliar as variações temporais e espaciais entre os pontos de amostragem. Para cada conjunto de dados, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) com a finalidade de avaliação das variações temporais, as campanhas de coleta foram consideradas como o fator principal, enquanto os pontos de amostragem (P1–P4) foram tratados como réplicas dentro de cada campanha. Essa abordagem permitiu verificar possíveis diferenças entre os períodos de monitoramento ao longo do tempo (Varol *et al.*, 2021). Posteriormente, para a análise das variações espaciais, os testes estatísticos foram conduzidos considerando os pontos de

amostragem (P1–P4) como fator principal e as campanhas como réplicas temporais. Esse procedimento teve como objetivo identificar possíveis diferenças espaciais entre os locais amostrados (Varol *et al.*, 2021).

Para as análises de sedimento, os dados previamente selecionados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA). Antes das análises multivariadas, os dados foram centrados pela média e escalonados pela variância unitária, a fim de garantir a comparabilidade entre variáveis com diferentes unidades de medida. Possíveis valores discrepantes (outliers) foram identificados por meio de boxplots e avaliados individualmente. Os resultados da PCA mostraram-se consistentes entre essas abordagens, indicando ausência de influência significativa na estrutura geral dos dados. A PCA foi aplicada com o objetivo de identificar correlações entre as variáveis e agrupar amostras com comportamentos semelhantes, reduzindo a dimensionalidade dos dados e facilitando a interpretação multivariada.

Com relação às amostras de peixes, devido ao número limitado de indivíduos e à ausência de réplicas suficientes, não foram aplicadas análises estatísticas univariadas e multivariadas, sendo os resultados apresentados com base em comparações descritivas. Essa limitação está relacionada à baixa densidade de peixes na área de estudo e ao uso de amostras compostas que, embora necessárias para garantir representatividade, reduzem a robustez estatística dos dados.

Todas as análises estatísticas e multivariadas foram realizadas utilizando o software The jamovi project (2024). jamovi. (Version 2.5).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

“Cada resultado alcançado é um fragmento de verdade revelado, não como um ponto final, mas como convite à reflexão, diálogo e construção de novos horizontes científicos.”
(Soares, 2025)

Para as análises de sedimento, inicialmente foi realizada a análise estatística descritiva dos metais nos diferentes pontos amostrais, com o objetivo de sintetizar e organizar os dados obtidos, permitindo uma visão geral do comportamento das variáveis avaliadas ao longo da área de estudo. Além disso, a estatística descritiva possibilita identificar tendências, variações e possíveis diferenças entre os pontos, auxiliando na interpretação da distribuição dos metais e fornecendo suporte para as análises estatísticas subsequentes.

Os resultados da estatística descritiva para os metais avaliados nos diferentes pontos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Estatística descritiva dos pontos amostrais.

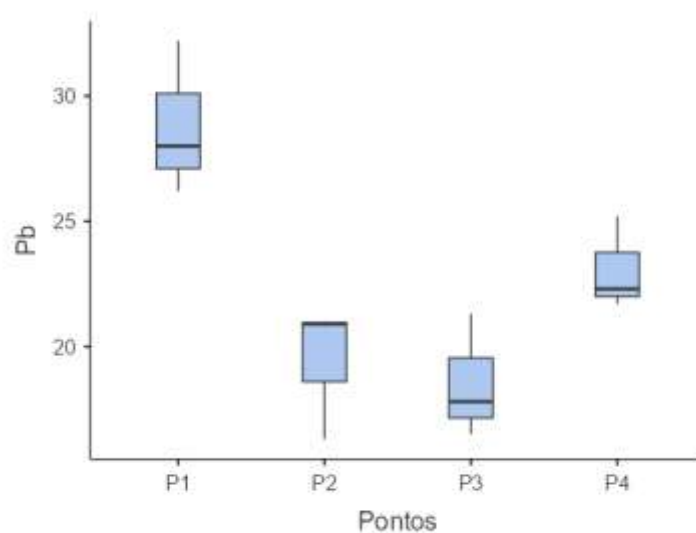
	Pontos	Média (mg/Kg)	Desvio-padrão	Mínimo (mg/Kg)	Máximo (mg/Kg)
Pb	P1	28,80	3,08	26,20	32,20
	P2	19,40	2,69	16,30	21,00
	P3	18,53	2,48	16,50	21,30
	P4	23,07	1,87	21,70	25,20
Hg	P1	0,058	0,005	0,052	0,062
	P2	0,00	0,00	0,00	0,00
	P3	0,00	0,00	0,00	0,00
	P4	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	P1	102,37	38,05	76,10	146,00
	P2	61,07	15,37	43,60	72,50
	P3	270,67	115,28	192,00	403,00
	P4	99,77	15,63	86,50	117,00
Fe	P1	83733,33	9438,40	73400,00	91900,00
	P2	68100,00	14760,42	51400,00	79400,00
	P3	97466,67	31440,47	70500,00	132000,00
	P4	73333,33	2676,44	71100,00	76300,00
Mn	P1	247,33	45,76	199,00	290,00
	P2	357,67	31,63	332,00	393,00

	P3	924,00	119,64	835,00	1060,00
	P4	795,00	111,69	705,00	920,00
Ni	P1	8,33	2,51	6,21	11,10
	P2	10,10	4,52	4,99	13,60
	P3	17,87	4,37	14,20	22,70
	P4	16,15	6,02	9,35	20,80
Zn	P1	28,30	5,68	21,80	32,30
	P2	31,57	10,25	21,30	41,80
	P3	55,87	25,91	37,50	85,50
	P4	56,23	3,51	52,90	59,90

Fonte: Autora (2026)

Entre os pontos avaliados, o ponto 1 (P1) destacou-se pelas maiores concentrações de Pb e Hg em relação aos demais. Embora os valores observados não ultrapassem os limites orientadores estabelecidos para sedimentos, porém por se tratar de uma nascente pouco preservada, o referido ponto se destaca como um alerta pontual pela ocorrência desses metais. O Pb apresentou média de 28,8 e valor máximo de 32,2, enquanto o Hg apresentou média de 0,058 e valor máximo de 0,062. Outra forma de visualizar esse comportamento encontra-se no box-plot da Figura 8, onde se observa as concentrações de Pb no P1.

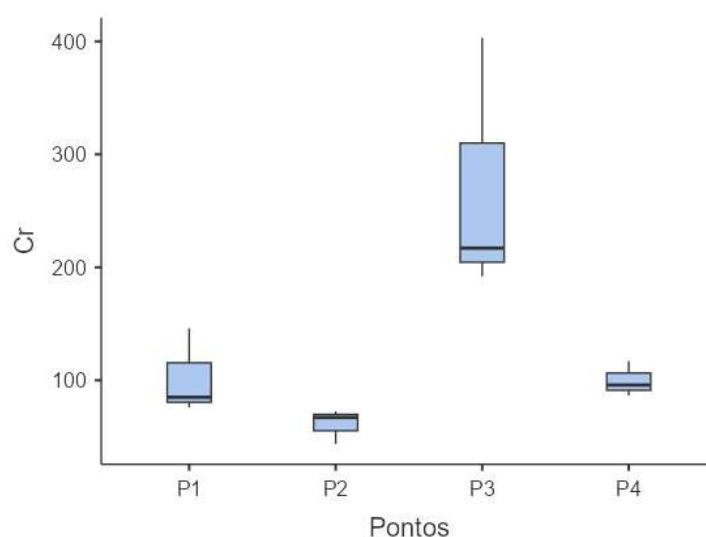
Figura 8 Box-plot das concentrações de Pb (Chumbo) no P1.



Fonte: Autora (2026)

Já os níveis de Cr chamam a atenção em P3 com valores médios de 270,67, chegando ao máximo de 403,00, sugerindo a necessidade de explorar melhor os dados devido ao possível foco de contaminação deste elemento, que também pode ser observado visualmente pelo box-plot da Figura 9.

Figura 9 Box-plot das concentrações de Cr (Cromo) no P3.



Fonte: Autora (2026)

A homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Levene, posteriormente para avaliar a variabilidade temporal e espacial das características dos sedimentos foram empregados testes estatísticos paramétricos (ANOVA) de acordo com a Tabela 7, e teste post-hoc de Tukey ($p < 0,05$) conforme Tabela 8. A análise temporal, na qual as campanhas de coleta (C1, C2 e C3) foram consideradas como fator principal, revelou baixa variabilidade entre as campanhas. Para todas as demais variáveis físico-químicas, granulométricas e geoquímicas, não foram detectadas variações temporais significativas. Esses resultados indicam que a sazonalidade ou as dinâmicas temporais de curto prazo tiveram papel limitado na composição dos sedimentos.

Em contraste, quando os pontos de amostragem (P1–P4) foram considerados como fator principal, a análise revelou marcada heterogeneidade espacial. Alguns parâmetros apresentaram diferenças significativas entre os pontos, incluindo frações granulométricas (areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila), atributos químicos (pH, carbono orgânico total, matéria orgânica, soma de bases, saturação por bases), nutrientes (fósforo extraível por resina) e diversos metais (Pb, Hg, Cr, Zn, Ni, Cu, Mn e Fe). Esses padrões

espaciais evidenciam a influência das condições ambientais locais e de aportes específicos de cada área na composição dos sedimentos.

Tabela 7 Método estatístico aplicado (ANOVA) e significância das diferenças entre as campanhas (C1-C3) e os pontos de amostragem (P1-P4) para os parâmetros avaliados nos sedimentos do Arroio Dourado.

Parâmetros	Campanhas como fator principal			Significância entre campanhas (p < 0.05)?	Pontos de amostragem como fator principal			
	Levene p-valor*	Teste estatístico	p-valor**		Levene p-valor*	Teste estatístico	p-valor**	Significância entre os pontos (p < 0.05)?
Porcentagem de Sólidos Totais	0.9057	ANOVA	0,8141	Não	0.4096	ANOVA	0,0006	Sim
Areia muito grossa	0.4053	ANOVA	0,4053	Não	0.4411	ANOVA	0,4411	Não
Areia grossa	0.4627	ANOVA	0,4627	Não	0.3750	ANOVA	0,2709	Não
Areia média	0.8771	ANOVA	0,8771	Não	0.2751	ANOVA	0,0004	Sim
Areia fina	0.8678	ANOVA	0,8807	Não	0.3413	ANOVA	0,0085	Sim
Areia muito fina	0.9965	ANOVA	0,5470	Não	0.6729	ANOVA	0,0148	Sim
Silte	0.9884	ANOVA	0,9959	Não	0.8991	ANOVA	0,0000	Sim
Argila	0.9776	ANOVA	0,9954	Não	0.8055	ANOVA	0,0000	Sim
pH	0.9667	ANOVA	0,8408	Não	0.8644	ANOVA	0,0000	Sim
H + Al	0.5707	ANOVA	0,2005	Não	0.6706	ANOVA	0,1558	Não
Carbono Orgânico Total	0.4900	ANOVA	0,8555	Não	0.5415	ANOVA	0,0089	Sim
Matéria Orgânica	0.3239	ANOVA	0,9956	Não	0.8767	ANOVA	0,0169	Sim
Soma de Bases	0.9708	ANOVA	0,3705	Não	0.5715	ANOVA	0,0458	Sim

Saturação de Bases	0.8933	ANOVA	0,3862	Não	0.2438	ANOVA	0,0198	Sim
Saturação por Alumínio	0.5749	ANOVA	0,1495	Não	0.5599	ANOVA	0,0703	Não
Amônia	0.4103	ANOVA	0,3817	Não	0.4375	ANOVA	0,4401	Não
Fósforo	0.5291	ANOVA	0,2340	Não	0.6500	ANOVA	0,0515	Não
Fósforo extraível por Resina	0.9133	ANOVA	0,7657	Não	0.6807	ANOVA	0,0001	Sim
Total Al	0.4773	ANOVA	0,1164	Não	0.9128	ANOVA	0,2702	Não
Al	0.7250	ANOVA	0,1087	Não	0.6040	ANOVA	0,0894	Não
Cr	0.7539	ANOVA	0,7757	Não	0.5019	ANOVA	0,0132	Sim
Cu	0.2756	ANOVA	0,2868	Não	0.6221	ANOVA	0,2212	Não
Fe	0.6157	ANOVA	0,1423	Não	0.3554	ANOVA	0,2763	Não
Hg	0.9902	ANOVA	0,9902	Não	0.4064	ANOVA	0,0000	Sim
K	0.4779	ANOVA	0,1200	Não	0.9350	ANOVA	0,3764	Não
Mn	0.7050	ANOVA	0,9432	Não	0.6606	ANOVA	0,0000	Sim
Ni	0.3317	ANOVA	0,5167	Não	0.8850	ANOVA	0,0887	Não
Pb	0.4740	ANOVA	0,7074	Não	0.9676	ANOVA	0,0045	Sim
Zn	0.4020	ANOVA	0,2786	Não	0.5040	ANOVA	0,0762	Não

* O valor de p do teste de Levene refere-se à homogeneidade das variâncias (H_0 : as variâncias são iguais; $p \geq 0,05$ indica homogeneidade).

** Diferenças significativas entre as campanhas ou pontos foram consideradas quando $p < 0,05$ no respectivo teste ANOVA.

Fonte: Autora (2026)

Depois de verificado o pressuposto da normalidade, os dados que apresentaram diferenças significativas na ANOVA foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey com 5% de significância (Tabela 8), dos quais pode-se destacar o elemento Cr (Cromo) especialmente em P3 com média de 270,67 mg/kg, valor significativamente diferente dos outros pontos amostrais, bem como estando acima dos valores orientadores para sedimentos conforme a Resolução CONAMA 454/2012 em todos os pontos.

Tabela 8 Teste de Tukey e diferenças significativas entre os pontos de amostragem (P1-P4) para os parâmetros avaliados nos sedimentos do Arroio Dourado.

Parâmetros	Pontos							
	P1		P2		P3		P4	
Sólidos totais (%p/p)	64,17	a	48,13	b	75,73	a	47,70	b
Areia média (g/kg)	0,00	a	0,00	a	144,67	b	0,00	a
Areia fina (g/kg)	0,00	a	7,00	a	38,67	b	0,07	a
Areia muito fina (g/kg)	19,67	a	75,00	b	17,67	a	49,67	ab
Silte (g/kg)	766,00	a	765,67	a	153,33	b	778,00	a
Argila (g/kg)	214,33	a	152,33	b	16,33	c	171,67	b
pH	4,17	a	4,33	ab	5,33	c	4,67	b
Carbono orgânico total (mg/g)	1,32	ab	2,93	a	0,06	b	2,91	a
Matéria Orgânica (g/dm ³)	26,00	ab	34,33	ab	15,67	a	41,00	b
Soma de Bases (mmol/dm ³)	33,33	a	44,33	a	57,00	a	55,67	a
Saturação de Bases (V%)	53,33	a	50,67	a	77,00	b	59,67	ab
Fósforo por Resina (mg/dm ³)	3,67	a	8,67	a	20,33	b	9,00	a
Cr (mg/kg)	102,37	a	61,07	a	270,67	b	99,77	a
Hg (mg/kg)	0,01	a	0,00	b	0,00	b	0,00	b
Mn (mg/kg)	247,33	a	357,67	a	924,00	b	795,00	b
Pb (mg/kg)	28,80	a	19,40	b	18,53	b	23,07	ab

Teste Tukey 0,05% de confiança – Letras iguais não apresentaram diferenças significativas.

Fonte: Autora(2026)

Os dados também foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA) Tabela 9, com o objetivo de identificar padrões de similaridade e a diferenciação espacial das características dos sedimentos.

Tabela 9 Cargas fatoriais da análise de Componentes Principais (PCA).

	Componentes				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Silte (0.062 a 0.00394 mm)	-0.9599	-0.0369	-0.0468	-0.0393	-0.1988
Argila (0.00394 a 0.0002 mm)	-0.9356	0.0329	-0.0137	0.2860	-0.1046
Areia Média (0.5 a 0.25 mm)	0.9341	-0.1316	0.0935	-0.0179	0.0104

pH	0.9313	0.2134	0.1969	-0.1599	0.0973
Fósforo por resina	0.9116	0.1914	0.1144	-0.2825	-0.0670
Areia Fina (0.25 a 0.125 mm)	0.9039	0.2012	-0.1333	-0.0259	-0.1655
Cr	0.8778	0.3343	-0.1848	0.1660	-0.0619
Saturação de Bases	0.8318	0.0219	0.1156	0.0572	0.3168
Porcentagem de sólidos	0.7467	-0.1220	0.1562	0.4969	0.0459
H_Al	-0.6819	0.1546	0.2831	-0.3136	-0.2754
Mn	0.6653	0.5633	0.1651	-0.3053	0.2155
K	0.0286	0.9526	0.2070	0.1260	-0.0408
Zn	0.4667	0.8337	-0.0709	-0.2082	-0.0690
Ni	0.4723	0.7804	0.1634	-0.1737	0.1289
Cu	0.5479	0.7710	0.0517	-0.0759	-0.2305
Fósforo	0.2783	0.6760	-0.1690	-0.5352	-0.1158
Potencial redox	-0.1293	0.5923	0.4918	0.5296	-0.1568
Fe	0.5488	0.5577	-0.3298	0.3776	-0.1125
Amônia	-0.1920	-0.5479	0.3578	-0.3933	-0.1664
Nitrogênio Kjeldahl	-0.2411	0.1207	-0.8908	-0.2081	0.0564
Al	-0.5848	-0.2154	-0.7141	0.2664	-0.0787
Saturação por Alumínio	-0.5447	-0.2289	-0.6858	0.3637	-0.0923
Sulfeto (Compostos de Enxofre)	-0.2976	0.3564	0.6411	-0.1619	-0.4425
Soma de Bases	0.4353	0.4358	0.5964	-0.3918	0.1618
Hg	-0.3328	-0.2185	-0.0911	0.8970	-0.0994
Pb	-0.5194	0.0931	-0.2315	0.7446	0.2045
Areia Muito Grossa (2 a 1 mm)	0.3421	-0.0793	-0.0322	-0.0140	0.8784
Areia Grossa (1 a 0.5 mm)	0.4098	-0.0991	-0.0197	-0.0170	0.8553

Foi utilizada a rotação 'quartimax'

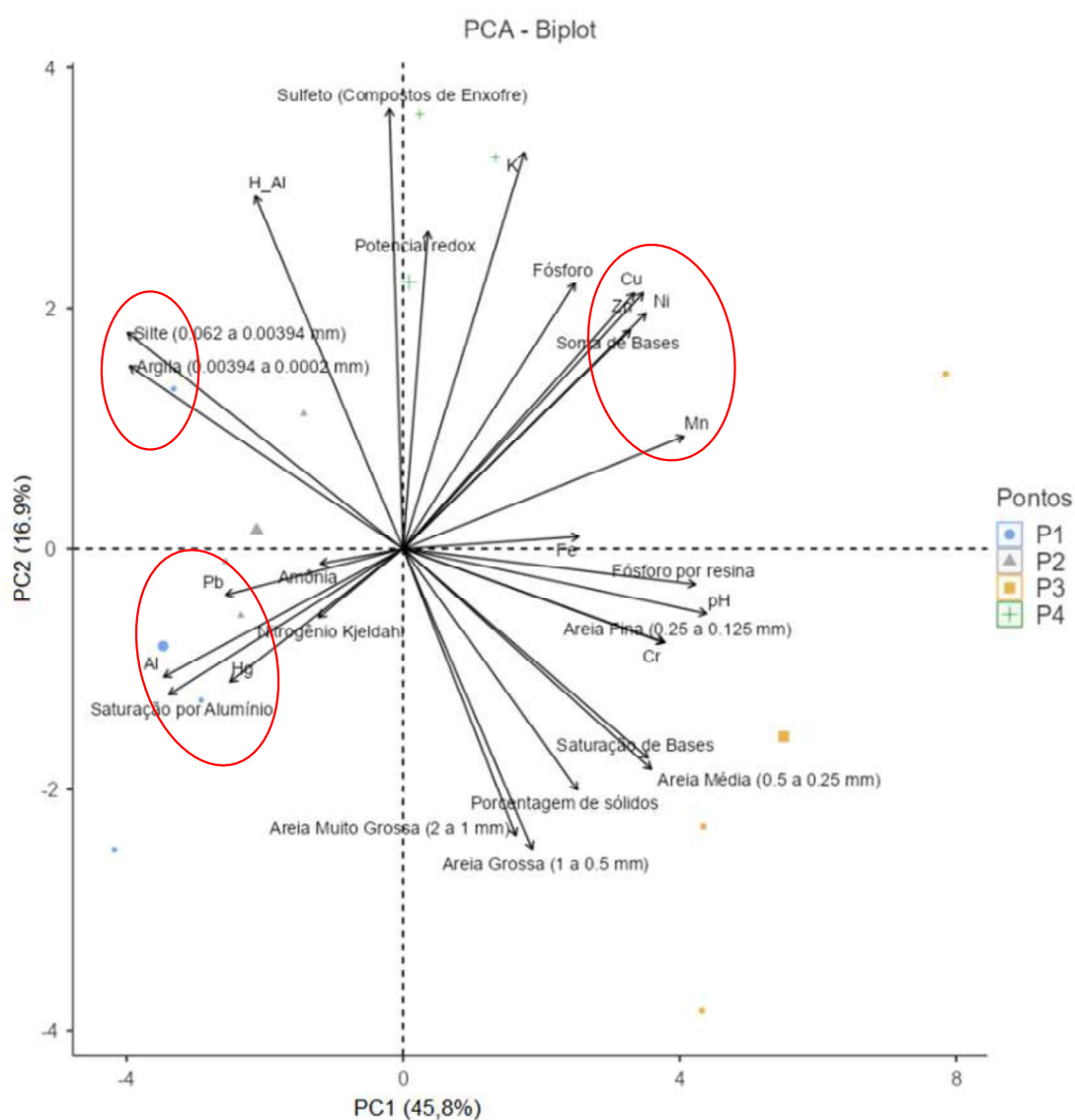
Fonte: Autora (2026)

Com apenas três componentes principais temos explicação de mais de 70% da variabilidade dos dados, sendo que os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 62,7% da variância total, demonstrando ser eficiente na redução de variáveis e concentração das variáveis de maior importância nos dois primeiros componentes, os quais revelam três agrupamentos distintos correspondentes aos pontos P1, P2 e P3 (Figura 10), confirmando que as características dos sedimentos variaram predominantemente entre os locais de amostragem.

As amostras do ponto P1 estiveram associadas a maiores concentrações de Al, saturação por alumínio, metais pesados como Pb e Hg, amônia e argila. O ponto P2 apresentou condições intermediárias, sendo agrupado principalmente em função da influência de argila e silte. As amostras coletadas em P3 mostraram maiores valores de Cr, Zn, Ni, Cu, Mn e Fe. Em termos de características físico-químicas, o P3 foi o ponto mais distinto, estando associado a maiores proporções de areia (em todas as frações, exceto areia muito fina), teor de sólidos, pH, fósforo extraível por resina, saturação por bases e soma de

bases, além de menores teores de argila, silte, saturação por alumínio, matéria orgânica e carbono orgânico total. O ponto P4 não formou um agrupamento distinto no espaço da PCA, ocupando uma posição intermediária; embora tenha apresentado similaridade com P1 e P2 em relação às características físico-químicas, sua composição de metais mostrou maior afinidade com P3. A seguir, esses resultados são discutidos de forma mais detalhada, considerando as particularidades de cada ponto amostrado.

Figura 10 PCA - Biplot dos componentes dos sedimentos do Arroio Dourado



Fonte: Autora (2026)

De forma geral, os resultados obtidos evidenciaram a presença de diferentes metais nos sedimentos ao longo de todos os pontos amostrados no Arroio Dourado, indicando a ocorrência de processos naturais e antrópicos que influenciam a composição do ambiente

sedimentar. Com o objetivo de avaliar o potencial de impacto desses elementos, as concentrações obtidas foram comparadas aos valores orientadores estabelecidos pela Resolução nº 454/2012 do CONAMA e pelas diretrizes da CCME (2001), que definem limites de qualidade para sedimentos com base na probabilidade de efeitos adversos à biota aquática. A partir dessa comparação, foi possível identificar quais metais apresentaram concentrações dentro dos níveis considerados seguros e aqueles que ultrapassaram os valores de referência, indicando potencial risco ambiental. Para facilitar a visualização e interpretação desses dados, apresenta-se a seguir no Quadro 8 uma síntese contendo as concentrações obtidas para todos os metais analisados, bem como seus respectivos valores de referência, permitindo uma análise integrada do comportamento desses elementos ao longo da área de estudo.

Quadro 8 Concentração de metais pesados nas amostras.

Metais	Campanha 1 (mg/kg)				Campanha 2 (mg/kg)				Campanha 3 (mg/kg)				CONAMA 454/212 (mg/kg)		CCME (2001) (mg/kg)	
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	Nível 1	Nível 2	TEL	PEL
Al	7560	8300	9100	7860	6190	5150	7910	30600	17000	16600	20500	30800	-	-	-	-
Pb	32,2	21	21,3	22,3	28	16,3	16,5	25,2	26,2	20,9	17,8	21,7	35	91,3	30,2	112
Cu	59	66	80,1	81	52,1	49,9	80,8	119	68,1	77,2	213	114	35,7	197	18,7	108
Fe	91900	73500	89900	72600	73400	51400	70500	71100	85900	79400	132000	76300	-	-	-	-
Mn	253	348	877	705	199	332	835	920	290	393	1060	760	-	-	-	-
Hg	0,0620	<0,05	<0,05	<0,05	0,0623	<0,05	<0,05	<0,05	0,0520	<0,05	<0,05	<0,05	0,17	0,486	0,13	0,7
Ni	7,68	13,6	16,7	9,35	6,21	4,99	14,2	20,8	11,1	11,7	22,7	18,3	18	35,9	-	-
Zn	30,8	31,6	44,6	52,9	21,8	21,3	37,5	55,9	32,3	41,8	85,5	59,9	123	315	124	271
Cr	146	72,5	217	117	85	43,6	192	95,8	76,1	67,1	403	86,5	37,3	90	52,3	160

Valores acima do Nível 1/ Nível 2 – TEL (Nível de efeito limiar) e PEL (Nível do efeito provável) são apresentados em negrito.

Fonte: Autora (2026)

As amostras do P1, localizado em área de nascente, a montante do antigo lixão e com predominância agrícola nas áreas adjacentes, apresentaram maiores concentrações de Al, amônia e predominância de frações finas, evidenciando forte controle granulométrico na retenção desses elementos, além de metais como Pb e Hg. Caracterizado como uma nascente natural alimentada por águas subterrâneas apresentou evidências de influência antrópica difusa, mesmo estando localizado em um trecho de cabeceira. Estudos realizados por nosso grupo de pesquisa na parcela de águas superficiais no mesmo período e local

indicaram concentrações elevadas de nitrato, o que sugere possivelmente a passagem e acesso de animais na nascente por esta não ser protegida, bem como a infiltração de compostos nitrogenados provenientes de áreas agrícolas no entorno, uma vez que fertilizantes aplicados no solo podem ser lixiviados e atingir o lençol freático, emergindo na nascente, padrão compatível com o descrito com Ribas *et al.* (2023), ao associarem a presença de formas nitrogenadas em ambientes aquáticos à lixiviação de insumos agrícolas. Esse comportamento é corroborado, no presente estudo, pela presença de amônia no sedimento, indicando aporte de matéria orgânica e compostos nitrogenados no ambiente. Em relação aos metais, as concentrações de Pb (26,2 a 32,2 mg/kg) e Hg (0,0520 a 0,0623 mg/kg) permaneceram abaixo dos valores orientadores estabelecidos pela resolução nacional Nível 1 (CONAMA, 2012), porém ultrapassa o TEL da resolução internacional (CCME, 2001), cujos limites de Nível 1/TEL são 35/30,2 mg/kg respectivamente para Pb, e 0,17/0,13 mg/kg respectivamente para Hg, indicando baixo risco direto à biota. Esse padrão é semelhante ao observado por Garcia e Azevedo (2019), que também identificaram concentrações desses metais abaixo dos valores de referência em sedimentos, mas destacam que, mesmo nessas condições, Pb e Hg não devem ser negligenciados devido ao seu elevado potencial tóxico e à sua capacidade de bioacumulação. Nesse sentido, a presença desses elementos, ainda que em níveis reduzidos, é ambientalmente relevante, especialmente considerando sua persistência no ambiente e o risco de transferência ao longo da cadeia trófica.

Adicionalmente, os valores de Al associados à predominância de frações finas, refletem a composição mineralógica do sedimento e condições mais ácidas típicas de ambientes intemperizados. Nesse sentido, o padrão observado no P1 reforça o papel das frações finas na retenção de contaminantes, uma vez que sedimentos mais argilosos apresentam maior área superficial e capacidade de adsorção, favorecendo o acúmulo de metais e outros compostos, conforme discutido por Pereira *et al.* (2020) e Zerizghi *et al.* (2020). Os metais Cu e Cr apresentaram concentrações superiores aos valores de referência estabelecidos pelas normativas adotadas. O Cu manteve-se, em todas as campanhas, entre os limites de Nível 1 e Nível 2 (52,1 a 68,1mg/kg), indicando possíveis efeitos nos organismos aquáticos. Já o Cr destacou-se por ultrapassar o valor orientador de Nível 2 na resolução nacional e chegando muito próximo do nível 2/PEL da resolução internacional na campanha 1, atingindo 146 mg/kg, o que indica maior potencial de impacto ambiental. Esse resultado é consistente com o observado por Tavares (2008), que também reportou concentrações elevadas desse elemento, associando sua ocorrência tanto à sua presença

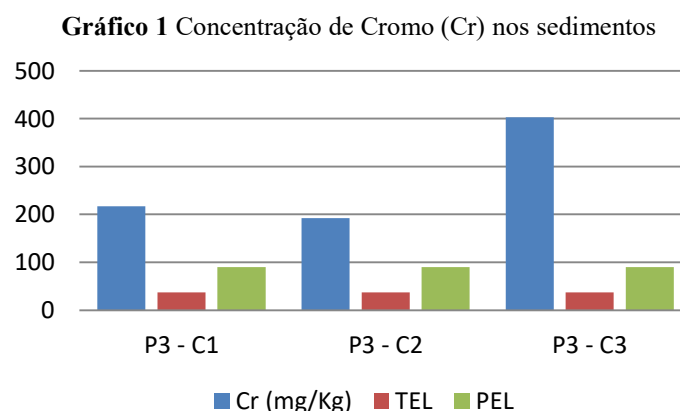
natural em rochas sedimentares quanto ao uso de corretivos agrícolas, fatos esses que corroboram com a realidade do local estudado. Dessa forma, a integração dos dados indica que o referido ponto, embora presente uma nascente natural, não está isento de pressões externas, sendo sua qualidade ambiental resultado da interação entre características naturais do compartimento sedimentar e aportes difusos associados ao uso agrícola do solo no entorno, bem como a circulação de animais na área.

O ponto P2 apresentou valores intermediários para a maioria dos parâmetros analisados, sem se destacar por concentrações elevadas de metais ou por características físico-químicas específicas, o que sugere um comportamento típico de zonas de transição em sistemas fluviais. Esse padrão indica que o local reflete a integração de materiais transportados ao longo do Arroio Dourado, em vez de representar uma área de deposição preferencial ou de aporte pontual de contaminantes. Ainda que caracterizado como zona de transição, o ponto P2 apresentou variações pontuais nas concentrações de alguns metais, com destaque para Cu e Cr, possivelmente associadas ao transporte de materiais provenientes de áreas adjacentes sob influência antrópica e ao carreamento difuso ao longo do curso d'água. Esse comportamento está de acordo com a interpretação proposta por Poletto e Martinez (2011), que destacam que a composição geoquímica dos sedimentos ao longo dos rios resulta da mistura de materiais provenientes de diferentes setores da bacia hidrográfica. De forma complementar, Asadulin *et al.* (2012) ressaltam que, em áreas de transporte e mistura, os sedimentos tendem a apresentar assinaturas geoquímicas mais homogêneas, com menor contraste em relação a pontos influenciados por fontes específicas de contaminação. Nesse contexto, o P2 pode ser interpretado como uma zona de equilíbrio relativa no sistema, onde predominam processos de mistura e redistribuição de sedimentos.

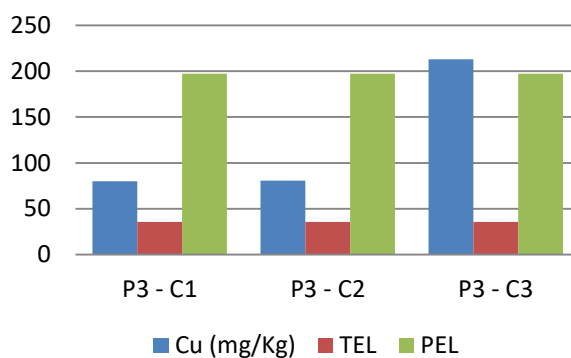
O ponto que se destacou como o mais distinto entre os locais amostrados foi o P3, localizado a jusante da área do antigo lixão, apresentou um elevado acúmulo de metais nos sedimentos, diferenças marcantes na granulometria e nas características físico-químicas. Também foram observados maiores teores de areia (em praticamente todas as frações, exceto em areia muito fina), associados a menores proporções de argila e silte, além de menor saturação por alumínio, matéria orgânica e carbono orgânico total, indicando um ambiente de maior energia hidrodinâmica e menor capacidade de retenção de partículas finas. Paralelamente, manifestou valores mais elevados de conteúdo de sólidos, pH, fósforo extraível por resina, soma de bases e saturação por bases. Somado a isso, os metais que

apresentaram as maiores concentrações foram o cromo (Cr), zinco (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe).

Considerando sua localização, sua proximidade com a área impactada pela presença de resíduos sólidos expostos, também é importante ressaltar que no local está concentrada a maioria das moradias, ou seja, implica em uma maior circulação de pessoas contribuindo para o aporte contínuo de contaminantes no ambiente. Em relação aos metais detectados, o Cr e o Cu apresentaram concentrações superiores (192 a 403mg/kg e 80,1 a 213mg/kg respectivamente) aos valores permitidos pelas resoluções em todas as campanhas, com valores acima do limite correspondente ao Nível 2 (Gráficos 1 e 2). O Ni, por sua vez, destacou-se na campanha 2 e 3, ao apresentar concentração acima do limite de Nível 1, com 20,8 e 22,7mg/kg. Para os demais metais, Zn apresentou concentrações abaixo dos valores de referência, para o Fe e Mn que não possuem valores estabelecidos pelas normativas adotadas neste estudo, a interpretação foi realizada com base em faixas típicas de concentração em sedimentos descritas por Thomas (1987), segundo o qual Fe apresenta valores naturais geralmente entre 10.000 e 50.000 mg/kg, enquanto o Mn varia entre aproximadamente 300 a 1000 mg/kg. No caso do Arroio Dourado, as concentrações de Fe observadas superaram essa faixa de referência (70.500 a 132.000 mg/kg), indicando enriquecimento desse elemento no compartimento sedimentar, enquanto o Mn apresentou comportamento mais próximo das condições naturais (800 a 1060 mg/kg), embora com variações espaciais.



Fonte: Autora (2026)

Gráfico 2 Concentração de Cobre (Cu) nos sedimentos

Fonte: Autora (2026)

As concentrações elevadas de Cu e Cr observadas no ponto P3 podem ser associadas, principalmente, à influência de resíduos sólidos presentes na área do antigo lixão, que representa a principal fonte de contaminação nesse trecho do rio. Esses metais são amplamente encontrados em diversos materiais como plásticos, ligas metálicas, componentes eletrônicos, sucatas, vidros, papel etc., os quais, quando dispostos de forma inadequada, sofrem processos de degradação física, química e biológica ao longo do tempo, conforme discutido por Turner e Filella (2021). Destaca-se que alguns desses materiais foram observados no local durante as campanhas de campo, o que reforça a plausibilidade dessa via de contaminação no trecho estudado. Além disso, a utilização da área pelos moradores para atividades como lazer e pesca contribui para a geração e deposição de resíduos e matéria orgânica nas margens do arroio, intensificando o caráter difuso dessas fontes de poluição. A decomposição desses resíduos favorece a formação de chorume, um efluente rico em matéria orgânica e compostos inorgânicos, incluindo metais, que pode infiltrar-se no solo, atingir o lençol freático ou ser transportado diretamente para o corpo hídrico por meio do escoamento superficial. Mesmo após a desativação da área, esse processo pode persistir, caracterizando o lixão como um passivo ambiental ativo.

Nesse sentido, Gupta *et al.* (2024) reforçam que a geração contínua de chorume, associada à decomposição dos resíduos, compromete a qualidade dos rios ao promover o transporte de contaminantes potencialmente prejudiciais, evidenciando que essas áreas permanecem como fontes ativas de poluição ao longo do tempo. Soma-se a isso a contribuição de águas residuárias de origem doméstica, uma vez que a ocupação no entorno, associada à ausência ou precariedade de infraestrutura de saneamento básico observada no local, favorece o lançamento de esgoto no ambiente, intensificando a

introdução de contaminantes no sistema aquático. Nesse contexto, o comportamento observado para o Cu e o Cr dialoga com o que foi discutido por Simões (2012) e Ferreira *et al.* (2021), ao indicarem que esses metais estão entre os contaminantes mais recorrentes em fluxos de escoamento superficial, especialmente em áreas com intensa presença de atividades antrópicas e infraestrutura urbana, condição compatível com a realidade observada na área de estudo.

Paralelamente, a presença de vias pavimentadas e a intensa circulação de veículos próximos ao local amostrado (destacando que essa via constitui um dos acessos ao aeroporto de Fo do Iguaçu) configuram uma fonte adicional de contaminação. Corroborando com esse pressuposto, Silva *et al.* (2019), ao avaliarem a presença de metais pesados associados às vias urbanas e ao tráfego veicular, demonstram que o desgaste de componentes automotivos, como pastilhas de freio, pneus e partes metálicas, bem como a emissão de partículas provenientes dos sistemas de exaustão, contribuem para a liberação de metais como Cu e Cr. Segundo esses autores, tais contaminantes tendem a se acumular nas superfícies pavimentadas e, durante eventos de chuva, são mobilizados pelo escoamento superficial, sendo transportados para o curso d'água e consequentemente depositando no sedimento ao longo do tempo.

Os elementos Fe, Mn e Ni ocorrem naturalmente em sedimentos, estando associados à composição mineralógica das rochas e solos da região, no entanto, seu comportamento no ambiente é fortemente influenciado por processos físico-químicos locais, especialmente pelas condições de oxigenação e pelo potencial redox, como destacado por Barbosa (2022), que ressalta a importância desses fatores no controle da dinâmica dos metais em ambientes sedimentares. O potencial redox refere-se à capacidade do meio em promover reações de oxidação ou redução, estando diretamente relacionado à disponibilidade de oxigênio, conforme evidenciado por Araújo Junior e Pereira (2021) onde destacam que em ambientes mais oxigenados (condições oxidantes), como aqueles com maior circulação de água, certos elementos tendem a se transformar em formas menos solúveis e precipitar, acumulando-se no sedimento, já em ambientes com baixa oxigenação (condições redutoras), esses mesmos elementos podem se solubilizar e retornar à coluna d'água.

Nesse contexto, o ferro (Fe) apresenta forte controle por essas condições, sendo frequentemente precipitado em ambientes mais oxigenados, o que pode justificar seu enriquecimento no sedimento. De forma semelhante, o manganês (Mn) também responde às variações de oxigenação e pH, podendo ser mobilizado e posteriormente depositado conforme as condições ambientais se alteram. Essa dinâmica é discutida por Braga (2022) e Gu *et al.*

(2015), que, ao avaliarem a distribuição de metais em sedimentos aquáticos, evidenciam a forte dependência de Fe e Mn em relação às condições redox e de oxigenação, com tendência à precipitação e acúmulo em ambientes com maior disponibilidade de oxigênio. Esse entendimento converge com os resultados observados neste estudo, considerando que o trecho avaliado apresenta maior fluxo hidrodinâmico, favorecendo a deposição desses elementos no sedimento. Em contraste, o níquel (Ni), embora também tenha origem natural, apresenta maior associação com fontes antrópicas, sendo comumente encontrado em materiais como ligas metálicas, baterias alcalinas e moedas, frequentemente presentes em áreas de disposição de resíduos sólidos. Dessa forma, a distribuição desses elementos reflete a atuação conjunta de processos naturais e aportes antrópicos no ambiente.

O ponto P4, correspondente ao exutório do Arroio Dourado, onde ocorre a confluência com o rio Tamanduá, apresentou comportamento intermediário ao longo do sistema. Em relação às características físico-químicas, observou-se maior similaridade com os pontos P1 e P2, sugerindo a influência de condições naturais e processos de mistura ao longo do curso d'água. Quanto à presença de metais, o P4 apresentou semelhança ao ponto P3, porém em menores concentrações, indicando a influência de materiais transportados a partir de trechos próximos e a montante, impactados por fontes antrópicas. Esse padrão pode ser explicado pela dinâmica hidrossedimentológica do sistema, na qual o transporte contínuo de partículas e contaminantes favorece sua redistribuição ao longo do curso d'água, com acúmulo progressivo até o exutório. Esse entendimento está em consonância com estudos recentes como o de Sojka e Jaskula (2022) que demonstram que áreas de confluência e zonas finais de drenagem tendem a atuar como regiões de integração e acumulação de metais provenientes de toda a bacia hidrográfica. Dessa forma, o P4 reflete tanto a mistura das características naturais do sistema quanto o efeito cumulativo das influências antrópicas ao longo do curso do Arroio Dourado.

Outro aspecto importante a ser destacado refere-se à campanha três (C3), que apresentou as maiores concentrações para todos os elementos analisados, quando comparadas às demais campanhas, não implicando necessariamente na superação dos valores orientadores estabelecidos pelas normativas. Esse padrão pode ser associado às condições hidrológicas do período chuvoso em que foi realizada. Nesse contexto, diversos trabalhos têm demonstrado que eventos de precipitação mais intensos promovem o aumento do escoamento superficial e do transporte de sedimentos, favorecendo o carreamento de metais para os corpos hídricos receptores. Nesse sentido, Silva *et al.* (2024) evidenciam que em períodos chuvosos aumentam significativamente a carga de metais

associados às partículas em suspensão, uma vez que o escoamento superficial mobiliza contaminantes acumulados no solo e em superfícies urbanas, transportando-os para o sistema aquático. De forma complementar, Cuervas *et al.* (2024) destacam que eventos de chuva intensos podem intensificar a redistribuição de metais ao longo da bacia hidrográfica, promovendo tanto a mobilização quanto a deposição desses elementos em sedimentos, especialmente em áreas sob influência antrópica. Assim, o aumento generalizado das concentrações observado na campanha três pode ser interpretado como resultado da intensificação dos processos de transporte e aporte de contaminantes, associados tanto à dinâmica natural do escoamento quanto às fontes antrópicas presentes na área de estudo.

Com relação às amostras de peixes do Arroio Dourado, essas representam uma etapa fundamental para a compreensão dos impactos ambientais associados à presença de contaminantes ao longo do sistema aquático, uma vez que esses organismos atuam como importantes bioindicadores da qualidade ambiental. Por meio de processos como bioacumulação e biomagnificação, os peixes refletem não apenas as condições atuais do meio, mas também a exposição contínua a contaminantes presentes na água e nos sedimentos. Nesse contexto, a análise dos metais nos tecidos desses organismos permite integrar as diferentes fontes de poluição identificadas na área de estudo, possibilitando uma abordagem mais abrangente da dinâmica dos contaminantes e de seus potenciais efeitos sobre a biota e a saúde humana.

Como já mencionado, em decorrência do número reduzido de amostras e de réplicas que possivelmente pode ser atrelado à presença de contaminantes no arroio, os resultados foram interpretados a partir de comparações descritivas. As concentrações de metais evidenciaram diferenças marcantes entre a amostra de referência (blank, coletada em rio distinto) e os indivíduos provenientes do Arroio Dourado (Tabela 12). De modo geral, observou-se variabilidade entre os elementos analisados. Em relação à amostra controle, os peixes da campanha 1 (C1P) e campanha 2 (C2P) apresentaram, para a maioria dos metais, concentrações mais elevadas. O Manganês (Mn) e o Zinco (Zn) apresentaram maiores concentrações na campanha C2P (período chuvoso), enquanto a maior parte dos demais metais apresentou níveis mais elevados na C1P, correspondente ao período seco.

Tabela 10 Concentrações de metais nas amostras de peixes do Arroio Dourado

Metais	C1P (mg/kg)	C2P (mg/kg)	Blank (mg/kg)	ANVISA	FAO	CODEX
Alumínio (Al)	77,63	61,77	5,854	-	-	-
Cádmio (Cd)	0,02	-	-	0,1	0,25	-
Chumbo (Pb)	0,633	0,02	-	0,3	2	0,3
Cromo (Cr)	0,676	-	-	0,1	1	-
Ferro (Fe)	165,9	70,34	21,18	-	-	-
Manganês (Mn)	8,095	32,71	3,047	-	-	-
Mercúrio (Hg)	0,022	0,0139	-	0,5	0,5	0,5
Níquel (Ni)	-	-	-	5	-	-
Zinco (Zn)	16,83	21,62	11,92	50	50	-

O símbolo “-” indica concentrações não detectáveis (<LOQ) e a ausência de valores de referência para determinado elemento.. Os valores de LOQ para cada metal estão apresentados no Apêndice 1.

Ainda para fins de comparação das concentrações de metais nos tecidos dos peixes, além da amostra de referência (blank), foram considerados os valores orientadores estabelecidos pela legislação vigente, incluindo Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Codex Alimentarius (FAO/WHO) e valores reportados pela Food and Agriculture Organization (FAO). Destaca-se que os limites mais elevados atribuídos à FAO estão associados a referências mais antigas e menos restritivas, sendo atualmente priorizados os valores mais conservadores adotados pelo Codex e pela ANVISA. Cabe ressaltar que essas normativas são voltadas à avaliação da segurança alimentar, estando diretamente relacionada ao consumo humano de pescado, isso se justifica pelo fato de que não há na literatura, de forma consolidada, valores orientadores específicos para a avaliação ambiental de metais em peixes.

Com isso, ao comparar os valores obtidos das amostras com os valores estabelecidos pelas diretrizes utilizadas como referência para avaliação das concentrações de metais nos peixes, observou-se que apenas o Pb (chumbo) apresentou valores superiores aos limites estabelecidos pela ANVISA e pelo Codex Alimentarius durante a campanha C1P, correspondente ao período seco. Os demais metais avaliados permaneceram abaixo dos níveis permitidos pelas normativas adotadas, indicando que, embora tenha sido observada variabilidade nas concentrações entre as campanhas, apenas o Pb apresentou potencial preocupação sob a perspectiva da segurança alimentar. Esse resultado merece atenção, uma vez que o chumbo é reconhecido por sua elevada toxicidade e capacidade de bioacumulação nos organismos aquáticos. Conforme discutido por Lee *et al.* (2019), a

exposição ao Pb pode causar danos fisiológicos e neurológicos nos peixes, além de induzir estresse oxidativo e alterações no sistema imunológico. No sistema aquático, a presença desse metal pode comprometer processos ecológicos importantes, afetando crescimento, reprodução, alimentação e comportamento das espécies, além de reduzir a sobrevivência de organismos mais sensíveis. Os autores também ressaltam que o Pb pode ser transferido entre diferentes níveis tróficos por meio da cadeia alimentar, favorecendo processos de bioacumulação e biomagnificação, o que amplia seus impactos e aumenta o risco para as espécies predadoras. Em humanos, o consumo contínuo de pescado contaminado pode estar associado a efeitos neurotóxicos, alterações renais e cardiovasculares.

As maiores concentrações de Mn e Zn observadas no período chuvoso (C2P) podem estar associadas às alterações hidrológicas promovidas pelos eventos de precipitação, que intensificam o escoamento superficial, aumentam a vazão do rio e promovem a erosão das margens e das áreas adjacentes. Esses processos favorecem o carregamento de sedimentos, matéria orgânica e contaminantes previamente acumulados no solo, em superfícies urbanas e em áreas impactadas, transportando-os para o sistema aquático. Além disso, o aumento da energia do fluxo hídrico contribui para a ressuspensão de sedimentos do leito do rio, liberando metais previamente adsorvidos e tornando-os novamente disponíveis na coluna d'água. Esse comportamento tem sido descrito na literatura, que aponta que períodos de maior descarga hídrica promovem a mobilização e redistribuição de metais como Mn e Zn ao longo do sistema aquático, favorecendo sua incorporação à biota (Bhuyan e Abu Bakar, 2017). Nesse contexto, embora o aumento da turbidez seja um indicativo desse processo, o principal fator está relacionado à intensificação dos mecanismos de transporte, ressuspensão e disponibilização dos metais, os quais passam a estarem mais acessíveis para assimilação pelos organismos aquáticos.

Além disso, a presença de açudes na área de estudo sugere a ocorrência de atividades aquícolas, que também podem contribuir para o aporte desses elementos no sistema aquático. Como destacado por Aziz *et al.* (2022), sistemas de aquicultura utilizam rações comerciais enriquecidas com micronutrientes, como Zn e Mn, essenciais ao crescimento dos peixes, mas que podem ser parcialmente liberados no ambiente. Parte da ração que não é consumida, se acumula no fundo dos viveiros, juntamente com fezes e outros resíduos orgânicos, formando um material rico em nutrientes e metais. Em condições de chuva, esse material pode ser mobilizado por meio do escoamento superficial, sendo transportado para cursos d'água adjacentes. Além disso, eventos de precipitação mais intensos podem provocar o transbordamento desses açudes ou a

lixiviação de compostos dissolvidos e particulados, favorecendo a transferência desses elementos para o rio. Dessa forma, os processos hidrológicos associados ao período chuvoso atuam como um importante mecanismo de conexão entre os sistemas de aquicultura e o ambiente natural, contribuindo para o aumento das concentrações de Zn e Mn na coluna d'água, mesmo na ausência de acúmulo expressivo desses elementos no sedimento, fato esse relevante considerar, visto que nas amostras de sedimento Mn e Zn apresentaram concentrações relativamente baixas, especialmente o Zn, indicando que a presença desses elementos nos peixes não está necessariamente associada à acumulação no compartimento sedimentar, mas sim à sua disponibilidade na coluna d'água e na fração particulada. Conforme discutido por Rajeshkumar e Li (2018), metais como Mn e Zn podem ser rapidamente assimilados pelos organismos aquáticos a partir da água e do alimento, independentemente de sua concentração no sedimento, evidenciando a importância da via trófica e da biodisponibilidade. Além disso, deve-se considerar que os peixes são capazes de acumular esses elementos em seus tecidos ao longo do tempo, de modo que mesmo concentrações relativamente baixas no ambiente podem resultar em níveis detectáveis nos organismos, especialmente em condições de exposição contínua.

Adicionalmente, a proximidade com a área do antigo lixão representa uma fonte relevante e contínua de aporte de metais para o sistema, uma vez que resíduos dispostos de forma inadequada permanecem sujeitos a processos de degradação e mobilização ao longo do tempo. Nesse contexto, Aziz *et al.* (2023) destacam que ambientes aquáticos influenciados por resíduos sólidos e atividades antrópicas apresentam maior suscetibilidade à introdução e redistribuição de metais, especialmente em condições de chuva intensa, quando ocorre aumento da drenagem superficial e da lixiviação de compostos associados aos resíduos. Esse cenário é agravado pelo descarte recorrente de resíduos sólidos nas encostas do Arroio, prática observada durante as campanhas de campo, que contribui para a introdução direta desses materiais no ambiente. Durante eventos de precipitação, esses resíduos são facilmente mobilizados pelas enxurradas, sendo transportados para o leito do rio juntamente com partículas, matéria orgânica e compostos associados.

De forma semelhante, Oziegbe *et al.* (2025) ressaltam que sistemas aquáticos submetidos ao descarte inadequado de resíduos e efluentes apresentam maior tendência ao enriquecimento por metais devido à ressuspensão, transporte e disponibilização desses elementos ao longo do fluxo hídrico, sobretudo durante períodos chuvosos, quando há maior conexão entre áreas contaminadas e o corpo hídrico. Dessa forma, a variabilidade observada para esses metais pode ser atribuída à interação entre fatores hidrológicos e

fontes antrópicas locais, evidenciando a influência direta das condições de uso e ocupação do entorno na dinâmica dos contaminantes no Arroio Dourado.

Em contraste com o observado para Mn e Zn, os demais metais avaliados, incluindo Al, Cd, Pb, Cr, Fe, Hg e Ni apresentaram maiores concentrações nos peixes durante o período seco (C1P). Esse comportamento pode estar relacionado às condições hidrológicas características desse período, marcadas pela redução da vazão e da renovação da água, o que favorece menor diluição dos poluentes e maior tempo de permanência desses elementos no ambiente aquático. Nessas condições, a disponibilidade dos metais para absorção pelos organismos tende a aumentar, favorecendo processos de bioacumulação em seus tecidos. Além disso, em períodos de estiagem, a menor intensidade do fluxo hídrico reduz a dispersão dos contaminantes, permitindo maior concentração de compostos associados a fontes antrópicas locais, como a presença de resíduos sólidos em decomposição, lançamento de águas residuárias e também de esgoto doméstico. Hylander *et al.* (2000), ao investigarem a influência da sazonalidade sobre a concentração de metais em peixes no Pantanal brasileiro durante os períodos seco e chuvoso, observaram que as maiores concentrações ocorreram na estação seca. Segundo os autores, durante esse período ocorre redução do volume de água, menor diluição dos contaminantes e concentração dos peixes em áreas mais restritas, favorecendo o aumento da exposição e da bioacumulação de metais nos tecidos. Além disso, os autores destacam que a contração dos ambientes aquáticos na estiagem promove maior interação trófica e intensificação da predação, aumentando o potencial de biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Ainda segundo os autores, nesse período, há menor dispersão dos contaminantes e maior permanência dos metais no sistema aquático, contribuindo para concentrações mais elevadas nos organismos expostos.

Outro fator que pode ter contribuído para os resultados observados está relacionado às características ecológicas das espécies analisadas. Como já mencionado, embora as análises tenham sido realizadas a partir de uma amostra composta, foram selecionadas as três espécies mais abundantes durante as coletas que foram: *Astyanax spp.* (Lambari), *Crenicichla hu* (Joana) e *Rhamdia quelen* (Jundiá), com o objetivo de aumentar a representatividade das espécies de peixes presentes no local e tornar a interpretação dos resultados mais consistente.

Campos (2015) destaca que os hábitos alimentares influenciam na absorção de metais pelos peixes, os autores caracterizam o Lambari, de hábito predominantemente onívoro e comportamento mais associado à coluna d'água, se alimenta de insetos, matéria

vegetal, algas e partículas orgânicas em suspensão, o que favorece a incorporação de metais presentes tanto na água quanto no material particulado transportado pelo fluxo hídrico. Já a Joana, apresenta hábito carnívoro e comportamento predador, alimentando-se principalmente de peixes menores e outros organismos aquáticos, o que aumenta o potencial de biomagnificação de contaminantes ao longo da cadeia trófica, uma vez que metais previamente acumulados nas presas podem ser transferidos para níveis tróficos superiores. Por sua vez, o Jundiá espécie de hábito bentônico e alimentar oportunista, mantém contato frequente com o fundo do ambiente aquático, alimentando-se de organismos associados ao sedimento, detritos e matéria orgânica depositada no leito do rio, o que favorece sua exposição a metais, que se encontram depositados no local. Essa diferença nos hábitos alimentares, no comportamento ecológico e na posição trófica influencia diretamente os processos de exposição e bioacumulação, como destacado por Oros (2025), que determina o papel fundamental que as características ecológicas das espécies desempenham na incorporação de metais nos tecidos dos peixes.

De forma geral, os resultados obtidos evidenciam que a heterogeneidade espacial exerceu maior influência sobre a dinâmica dos contaminantes no Arroio Dourado do que a variabilidade temporal entre as campanhas. Os sedimentos e os organismos aquáticos refletiram a influência conjunta das características hidrológicas, físico-químicas e das pressões antrópicas presentes na área de estudo, especialmente nas proximidades do antigo lixão e dos trechos com maior ocupação humana. Além disso, a sazonalidade demonstrou influência importante na mobilização e disponibilidade dos metais, afetando de maneira distinta os compartimentos ambientais avaliados. Em conjunto, os resultados reforçam a importância do monitoramento integrado de água, sedimento e biota para a compreensão da dinâmica de contaminantes em ambientes aquáticos submetidos a diferentes fontes de impacto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo permitiram uma avaliação integrada da dinâmica ambiental do Arroio Dourado, evidenciando a influência conjunta das características naturais do sistema e das pressões antrópicas presentes na área de estudo. A abordagem empregada, envolvendo diferentes compartimentos ambientais, possibilitou compreender de forma mais ampla os processos relacionados à mobilização, transporte, retenção e incorporação de contaminantes ao longo do arroio, contribuindo para uma interpretação mais representativa da qualidade ambiental do local amostrado.

De maneira geral, verificou-se que as diferenças espaciais entre os pontos amostrais exerceram maior influência sobre os resultados do que as variações temporais entre as campanhas, demonstrando que as condições locais de uso e ocupação do solo, as características hidrológicas e os fatores físico-químicos desempenham papel fundamental na dinâmica ambiental observada. O ponto situado à jusante da área degradada destacou-se por apresentar maiores concentrações de diversos metais, além de características físico-químicas distintas em relação aos demais pontos, sugerindo influência mais intensa das atividades antrópicas associadas ao antigo lixão, à ocupação humana e ao aporte de resíduos sólidos e efluentes domésticos. Nesse contexto, os sedimentos mostraram-se importantes compartimentos de retenção e integração de contaminantes, refletindo tanto processos naturais associados à composição geológica e às condições geoquímicas locais, quanto contribuições decorrentes das atividades desenvolvidas no entorno da bacia.

A sazonalidade também exerceu influência significativa sobre a dinâmica ambiental do Arroio Dourado, especialmente em função das alterações hidrológicas promovidas pelos períodos de chuva e estiagem. Os eventos de precipitação favoreceram processos de escoamento superficial, erosão, carreamento de partículas e ressuspensão de sedimentos, aumentando a mobilização de materiais presentes na bacia hidrográfica e sua redistribuição no ambiente aquático. Por outro lado, durante o período seco, a redução da vazão e da capacidade de diluição do sistema favoreceu a permanência e a concentração relativa de metais no ambiente, influenciando diretamente os processos de exposição da biota aquática. Esses resultados evidenciam a importância da sazonalidade na dinâmica dos contaminantes e reforçam a necessidade de monitoramentos ambientais que considerem diferentes períodos hidrológicos.

As análises realizadas nos peixes demonstraram a relevância da biota como ferramenta complementar na avaliação ambiental, apontando processos de exposição e bioacumulação ao longo do sistema. Além das condições ambientais propriamente ditas, observou-se que características ecológicas das espécies, como hábitos alimentares, posição trófica e interação com diferentes compartimentos do ambiente aquático, influenciam diretamente a incorporação de contaminantes nos tecidos. Dessa forma, os resultados reforçam a importância do uso de organismos bioindicadores em estudos ambientais, especialmente em sistemas submetidos a múltiplas fontes de impacto.

Os dados obtidos também indicam que o antigo lixão, associado ao descarte inadequado de resíduos sólidos no entorno do rio e às demais atividades antrópicas presentes na área, representa uma potencial fonte contínua de contaminação para o sistema aquático. Embora não seja possível atribuir isoladamente ao lixão todas as alterações observadas e a reduzida população de peixes no local, a proximidade entre as áreas mais impactadas e os pontos que apresentaram maior influência antrópica sugere forte relação entre o passivo ambiental existente e a dinâmica dos contaminantes no Arroio Dourado. Além disso, a ausência de recuperação ambiental da área e a permanência de resíduos expostos favorecem processos contínuos de mobilização de materiais para o ambiente aquático, principalmente durante períodos de maior precipitação.

Nesse contexto, o presente estudo contribui para o entendimento da qualidade ambiental do Arroio Dourado e fornece informações relevantes para futuras ações de monitoramento, gestão e recuperação ambiental da área. Os resultados obtidos reforçam a importância da adoção de estratégias integradas de preservação dos recursos hídricos, controle do descarte inadequado de resíduos e acompanhamento contínuo das condições ambientais da bacia, visando minimizar os impactos sobre o ecossistema aquático e sobre as populações que utilizam direta ou indiretamente os recursos associados ao curso d'água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-BAKI, A. S.; DKHIL, M. A.; AL-QURASHY, S. Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 13, p. 2541-2547, mar. 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/257937847_Bioaccumulation_of_some_heavy_metals_in_tilapia_fish_relevant_to_their_concentration_in_water_and_sediment_of_Wadi_Hanifah_Saudi_Arabia?enrichId=rgreq-747e9d93141183a49a5689b4a0903f48-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI1NzkzNzg0NztBUzoxMDQzODAsNDY3MTQ2MzBAMTQwMTg5Nzc2NTQyNA%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf. Acesso em: maio de 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos- Classificação**. NBR 10004, 2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>

AENDO, P.; NETVICHIAN, R.; THIENDEDSAKUL, P. Carcinogenic risk of Pb, Cd, Ni, and Cr and critical ecological risk of Cd and Cu in soil and groundwater around the municipal solid waste open dump in Central Thailand. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2022, p. 1–12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/3062215>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA; CETESB, 2012. 327 p.

ALY JUNIOR, O. Água de chuva e política de adaptação às mudanças climáticas no Brasil. **IEE-USP**, v. 4, dez. 2024. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://sites.usp.br/govamb/wp-content/uploads/sites/1284/2025/06/04_Agua-de-chuva_-1.pdf. Acesso em: maio de 2025.

AMBIENTAL CONSULTORIA EMPRESARIAL LTDA. **Diagnóstico ambiental: lixo Arroio Dourado – avaliação ambiental e de risco à saúde humana**. Relatório técnico elaborado para a Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu. Cascavel (PR), 2012. 152 p.

ANDRADE, R. M. de F. **Análise da relação entre a qualidade da água, o uso e ocupação do solo e a densidade demográfica na bacia hidrográfica do Rio Passaúna**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4794>. Acesso em: 18 de junho 2024.

ANDRADE, R. da C. **Impacto ambiental de lixões e aterros sanitários em recursos hídricos**. 2022. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.bdttd.ueg.br/bitstream/tede/10>

[70/2/DISSERTAC%CC%A7A%CC%83O_RODRIGO_DA_COSTA_ANDRADE%20-%20Rodrigo%20Andrade.pdf](#). Acesso em: 22 de outubro de 2024.

ANGHEBEN, F. M. **Avaliação ecotoxicológica e histopatológica de peixes em ambientes contaminados por metais pesados na região carbonífera de Santa Catarina**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019 .

ARAÚJO, J. A. de.; SOUZA, R. F. de. Aporte antropogênico de metais pesados em sedimentos de corrente de áreas de lixão, urbanizadas a agrícola, em Parelhas-RN, região semiárida do Brasil. **Revista Geografia**, v. 21, n. 3, p. 5-22, 2012. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/10022>

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Indicadores de qualidade ambiental no Lago Bolonha, Parque Estadual do Utinga, Belém-Pará. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 42, n. 1, p. 276-299, 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/48373/32948>. Acesso em: 4 de julho de 2025.

ARAÚJO JÚNIOR, J. C. M. de.; PEREIRA, R. Evolução da contaminação por metais pesados em sedimentos em área estaurina do Rio Capibaribe: uma revisão. **Revista de Geografia**, v. 38, n. 1, p. 236-253, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/248266>

ARAÚJO, A. R.; BELCHIOR, G. P. N.; VIEGAS, T. E. de S (Orgs.). **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Fundação Sintaf/Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2016.

ARAÚJO, K. K. S. **A influência do lixão desativado na qualidade da água do rio Estiva em Marechal Deodoro, Alagoas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.repositorio.ufal.br/jspui/bitstream/riufal/5825/1/A%20influ%C3%Aancia%20do%20lix%C3%A3o%20desativado%20na%20qualidade%20da%20%C3%A1gua%20do%20rio%20Estiva%20em%20Marechal.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2025.

ARGUMEDO, C. D. Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, norte de Colombia. **Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 124-136, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98025>

ARISEKAR, U.; SHAKILA, R. J.; SHALINI, R.; JEYASEKARAN, G. Human health risk assessment of heavy metals in aquatic sediments and freshwater fish caught from Thamirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 159, p. 111496, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111496>.

ASADULIN, E. E.; MIROSHNIKOV, A. Y.; VELICHKIN, V. I. Geochemical signature of bottom sediments in the mixing zones of and yenisei waters with kara sea water. **Geochemistry International**, v. 51, n. 12, p. 1005-1018, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0016702913120021>

AUGUSTO, L. G. da S.; GURGEL, I. G. D.; CÂMARA NETO, H. F.; MELO, C. H. de; COSTA, A. M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1511-1522, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000600015>.

AVEIGA ORTIZ, A. M.; BAJAÑA, C. L. B.; CEDEÑO, G. M.; PINCAY, M. C.; MOREIRA, I. D. Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 43, n. 3, p. 13-23, 2022. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-0338202200030001. Acesso em: junho de 2025.

AZIZ, K. H. H.; MUSTAFA, F. S.; OMER, K. M.; HAMA, S.; HAMARAWF, R. F.; RAHMAN, K. O. Heavy metal pollution in the aquatic environment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 4175-4193, 2023. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d3ra00723e>. Acesso em: maio de 2025.

AZIZ, K. H. H.; MUSTAFA, F. S.; OMER, K. M.; HAMA, S.; HAMARAWF, R. F.; RAHMAN, K. O. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 13, n. 26, p. 17595-17610, 2023. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d3ra00723e>.

AZIZ, T.; ALAM, S.; SARKAR, R.; RAHMAN, M. Heavy Metal Contamination in Feed-based Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture in the Rajshahi Region. **Journal of Agriculture and Life Science**, v. 03, n. 2, p. 79-85, 2022. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://csa.ru.ac.bd/bjals/Volume3\(2022\)/v0302202209.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://csa.ru.ac.bd/bjals/Volume3(2022)/v0302202209.pdf)

BARBOSA, J. M. P. **Dinâmica geoquímica de metais-traço (Fe, Mn, Cu e Zn) em lagoas hipersalinas-alcalinas na costa do Rio de Janeiro, Brasil**. 2022. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes-RJ, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2023/04/JORGE-PENICHE-LIBERADA.pdf>

BHUYAN, S.; BAKAR, M. A. Seasonal variation of heavy metals in water and sediments in the Halda River, Chittagong, Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 27587-27600, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-0204-y>

BOBADILHO, R. S. **A problemática dos rios urbanos costeiros: entraves e possibilidades para a qualidade Ambiental e Social**. 2014. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Costeiro) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://gerenciamentocosteiro.furg.br/images/dissertacoes/030-Rosani-Sola-Bobadilho.pdf>. Acesso em: junho de 2025.

BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da amazônia brasileira. **Geosp: Espaço e Tempo (Online)**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 120, 14 ago. 2017. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.107531>.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MILLERWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, I. de F. **Presença de metais pesados em área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Indianópolis-MG**. 2022. 41 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37675/1/Presen%c3%a7aMetaisPesados%20.pdf>. Acesso em: agosto de 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. **Lei no 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera dispositivos legais. *Diário Oficial da União*, Seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 454, de 1º de novembro de 2012**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 8 nov. 2012.

BRITO, L. T. de L. **Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Salitre-Bahia e classificação das fontes hídricas**. 2003. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/16836?mode=full>. Acesso em: outubro de 2025.

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. **Environmental Research**, v. 99, n. 3, p. 403–412, 2005.

CAMPOS, S. A. B. **Metais pesados em peixes de diferentes níveis tróficos na área de influência do reservatório do Ahe Foz do Chapecó**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2015. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rgsgsc.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/11/metais-pesados-em-peixes-de-diferentes-nc3adveis-trc3b3ficos-na-c3a1rea-de-influc3aancia-do-reservatc3b3rio-da-ahe-foz-do-chapec3b3.pdf>

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life**. Winnipeg: CCME, 1999.

CARVALHO, M. de A. R.; BOTERO, W. G.; OLIVEIRA, L. C. de. Natural and anthropogenic sources of potentially toxic elements to aquatic environment: a systematic literature review. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 29, n. 34, p. 51318-51338, 26 maio 2022. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-20980-x>.

CARVALHO, N. de O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C. dos.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. ANEEL, Brasília, 154 p, 2000.

CASTRO, S. V. de. **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do Alto Rio das Velhas-MG**. 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/31c47215-857b-499d-b629-e393eb1841d4/content>. Acesso em: setembro de 2025.

CESAR, A.; CHOUERI, R.B.; RIBA, I.; MORALES-CASELLES, C.; PEREIRA, C.D.s.; SANTOS, A.R.; ABESSA, D.M.s.; DELVALLS, T.A.. Comparative sediment quality assessment in different littoral ecosystems from Spain (Gulf of Cadiz) and Brazil (Santos and São Vicente estuarine system). **Environment International**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 429-435, maio 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.007>.

CORREIA, S. de A. **Impactos ambientais causados pelo lixo desativado da cidade de Delmiro Gouveia – AL**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão, Delmiro Gouveia, 2020. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/7581/1/Impactos%20ambientais%20causados%20pelo%20lixo%20desativado%20da%20cidade%20de%20Delmiro%20Gouveia%20-%20AL.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

COUTINHO, S. N. **Estudo de bioacumulação de metais tóxicos e elementos traço em amostras de macrófitas aquáticas flutuantes do Reservatório Guarapiranga, São Paulo - SP, Brasil**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-13042018-162720/publico/2018CoutinhoEstudo.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

DUARTE, M. B. C. P. **Os impactos socioambientais decorrentes de lixões: Estudo de caso do Sítio Gulandin – Limoeiro de Anadias**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.repositorio.ufal.br/jspui/bitstream/riufal/3210/1/Os%20impactos%20socioambientais%20decorrentes%20de%20lixo%20b5es%20estudo%20de%20caso%20do%20S%20aditio%20Gulandim%20-%20Limoeiro%20de%20Anadia%20-%20Alagoas.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

FAGUNDES, G. S. **Influência do antigo lixão do Roger, João Pessoa, nas águas subterrâneas locais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) Universidade Federal da Paraíba, 2010. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5447/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

FERNANDES, M. R. **Contaminação por metais pesados em sedimentos, água e peixes de rios do Estado de Mato Grosso do Sul: Avaliação de risco ecológico e implicações para a saúde humana**. 2024. Tese (Doutorado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2024. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufms.br/retrieve/7b4cf108-dfb6-4921-bdb0-612b27a95402/Tese%20Melina%20R%20Fernandes.pdf>. Acesso em: agosto de 2025.

FERREIRA, K. de. S.; RANI-BORGES, B.; SANTOS, G. L. M.; CARDOSO-SILVA, S.; SÁ, L. R. M.; POMPÊO, M. Metais nos Sedimentos em Reservatórios: há toxicidade potencial?. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 33, p. 1-12, 25 ago. 2021. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v33-2021-58794>.

GARCIAS, C. M.; SANCHES, A. M. Vulnerabilidades sócioambientais e as disponibilidades hídricas urbanas: levantamento teórico-conceitual e análise aplicada à região metropolitana de Curitiba - PR. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, [S.L.], n. 10, p. 96-111, 1 jul. 2009. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.1984-4506.v0i10p96-111>.

GARCIA, J. B. P.; AZEVEDO, M. R. A. de. Avaliação de chumbo (pb), mercúrio (hg) e cádmio (cd) no sedimento de margem da represa do Guarapiranga, uma questão de saúde pública. **Holos Environment**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 131-145, 16 jun. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i1.12291>.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba –SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64133/tde-06072011-104010/publico/Mestrado.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, SP: Atlas, 2002.

GOMES, F. C. **Análise espacial da qualidade da água em bacias hidrográficas impactadas por atividades antrópicas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite: Arroio Dourado, Foz do Iguaçu – PR, Brasil**. [S. l.]: Google, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/>

GOUVEIA, N.; PRADO, R. R. do. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 44, n. 5, p. 859-866, out. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-89102010005000029>.

GU, Y. G.; LIN, Q.; YU, Z. L.; WANG, X. N.; KE, C. L.; NING, J. J. Speciation and risk of heavy metals in sediments and human health implications of heavy metals in edible nekton in Beibu Gulf, China: a case study of qinzhou bay. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 101, n. 2, p. 852-859, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.019>.

GUPTA, A.; VERMA, A.; RAJAMANI, P. Impact of Landfill Leachate on Ground Water Quality: a review. **Springer Water**, [S.L.], p. 93-107, 2024. Springer Nature Switzerland. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-55513-8_6.

HYLANDER, L. Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and water parameters. **The Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 261, n. 1-3, p. 9-20, 16 out. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0048-9697\(00\)00591-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0048-9697(00)00591-x).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Foz do Iguaçu**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/foz-do-iguacu/panorama>

JAISHANKAR, M.; TSETEN, T.; ANBALAGAN, N.; MATHEW, B. B.; BEEREGOWDA, K. N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 60-72, 1 jun. 2014. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/intox-2014-0009>.

Projeto Jamovi (2025). *Jamovi* (Versão 2.6) [Software de computador]. Obtido em <https://www.jamovi.org>

KAPEPA, Maria. Perfil de contaminação das águas e peixes por metais pesados e suas consequências para a saúde humana: uma revisão de literatura.. **Revista Brasileira de Ciências Biomédicas**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 16-31, 29 abr. 2020. Revista Brasileira de Ciencias Biomedicas. <http://dx.doi.org/10.46675/rbcbm.v1i1.1>.

KEHRIG, H. A.; MALM, O.; PALERMO, E. F. A.; SEIXAS, T. G.; BAÊTA, A. P.; MOREIRA, I. Bioconcentração e biomagnificação de metilmercúrio na baía de Guanabara, Rio de Janeiro. **Química Nova**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 377-384, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422011000300003>.

KÖSE, E.; EMIROGLU, Ö.; ÇIÇEK, A.; AKSU, S. Metal concentrations in sediment and fish on Sakarya River and Dam Lakes, Turkey. **Soil and Sediment Contamination**, v. 28, n. 8, p. 703-717, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1705755>

LEE, J. W.; CHOI, H.; HWANG, U. K.; KANG, J. C.; KANG, Y. J.; KIM, K.; KIM, J. H. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: a review. **Environmental Toxicology And Pharmacology**, [S.L.], v. 68, p. 101-108, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>.

LIMA, D. P. de. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do Rio Cassiporé, Estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/985380/1/Dissertacao-Daniel.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

LIMA, D. P.; SANTOS, C.; GOMES, M. P. Ecological and human health risks of metal contamination in fish from tropical aquatic ecosystems. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 1–15, 2015.

LIMA, E. de A. M. **Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco**. 2008. Tese (Doutorado em Geociências) — Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6214/1/arquivo3912_1.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

LIMA, J. F. M.; RAFAEL, C. R. P.; FONSECA, R. A.; PEREIRA, M. M. A.; OLIVEIRA, T. M.; SILVA, D. M. S.; PEREIRA, G. C. A.; MARTINS, D. W. F. Análise de aspectos e impactos ambientais de um lixão. **Revista de Geopolítica**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 330-345, 8 out. 2025. Seven Events. <http://dx.doi.org/10.56238/revgeov16n5-008>.

LIMA, N. V de.; ARAKAKI, D. G.; MELO, E. S. de P.; MACHATE, D. J.; NASCIMENTO, V. A. do. Assessment of Trace Elements Supply in Canned Tuna Fish Commercialized for Human Consumption in Brazil. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 22, p. 12002-12017, 16 nov. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph182212002>.

ŁUCZYŃSKA, J.; PASZCZYK, B.; ŁUCZYŃSKI, M. J. Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 153, p. 60-67, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.057>

MACDONALD, D. D.; INGERSOLL, C. G.; BERGER, T. A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 39, n. 1, p. 20–31, 2000.

MARTINS, C. A. da S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CÂNDIDO, A. DE O. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 3-4, p. 383-391, jul./set. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/2072>. Acesso em: setembro de 2025.

MEDEIROS, A. M. A. **Análise do chorume produzido pelo antigo Lixão do Roger, pós encerramento das atividades**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/24701/1/AN%c3%81LISE%20DO%20CHORUME%20PRODUZIDO%20PEL>

[O%20ANTIGO%20LIX%c3%83O%20DO%20ROGER%20P%c3%93S%20.pdf](#). Acesso em: agosto em 2025.

MEDEIROS, A. B de.; MENDONÇA, M. J. da S. L.; SOUSA, G. L de.; OLIVEIRA, I. P de. A importância da educação ambiental na escola nas séries iniciais. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.bibliotecaagptea.org.br/administracao/educacao/artigos/A%20IMPORTANCIA%20DA%20EDUCACAO%20AMBIENTAL%20NA%20ESCOLA%20NAS%20SERIES%20INICIAIS.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

MIRANDA FILHO, A. Luiz.; MOTA, A. K. M.; CRUZ, C. da C.; MATIAS, C. M. M.; FERREIRA, A. P. Hexavalent chromium in fish from the Sepetiba Bay in Rio de Janeiro, Brazil: a risk assessment to human health (portuguese). **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 200-209, 31 dez. 2011. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.568>.

MIZUTANI, M.; MARÓSTICA, J. R. Os desafios na gestão de resíduos e na promoção da sustentabilidade e participação popular em Santo André-SP. **Conjecturas**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 1-17, 30 jun. 2021. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/conj-088-107>.

MORAES, C. L.; LAVNITCKI, L.; BECEGATO, V. R.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; PAULINO, A. T.; HENKES, J. A. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água e do chorume na área de influência do lixão desativado do município de Lages-SC. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 149-164, 9 nov. 2017. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v6e32017149-164>.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos de Aurá – Belém-PA**. 2002. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/items/cb21480c-0d92-4661-9163-1725d9302afl>

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 111–124, jun. 2008. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/sn/a/q3QftHsxztCjbWxKmGBcmSy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: outubro de 2025.

MUDROCH, A. M. S. D. (eds.). 1991. **Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling**. CRC Press, Boca Raton. 210p.

MUSADIS, C. A.; SILVEIRA, S. METAIS PESADOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE HUMANA: revisão de literatura. **Revista Ft**, [S.L.], v. 29, n. 140, p. 35-36, 11 nov. 2024. Revista ft Ltda. <http://dx.doi.org/10.69849/revistaft/ch10202411110735>.

NASIR, M.; MUCHLISIN, Z.; SAIFUL, S.; SUHENDRAYATNA, S.; MUNIRA, M.; IQHRAMMULLAH, M. Heavy Metals in the Water, Sediment, and Fish Harvested from the Krueng Sabee River Aceh Province, Indonesia. **Journal Of Ecological Engineering**,

[S.L.], v. 22, n. 9, p. 224-231, 1 out. 2021. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/141643>.

NETO, F. M. **Potencial poluidor e risco ambiental dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Gramame, Paraíba, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/7687/2/arquivototal.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

NOGUEIRA, P. F; CABRAL, J. B. P; CAMARA, M. A. B. Avaliação qualitativa do risco de poluição por metais potencialmente tóxicos nos sedimentos do empreendimento hidrelétrico de Foz do Rio Claro. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 41, p. 172916-172926, 28 abr. 2021. Universidade de São Paulo. Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais. <http://dx.doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2021.172916>.

NUNES, R. T. S; FREITAS, M. A. V. **Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

OLIVEIRA, C. L. B. de; SILVA, A. de S.; LIMA, V. L. A. de. **Avaliação da qualidade das águas da bacia hidrográfica do riacho Vitória, em Petrolina-PE, Brasil, utilizando como instrumento de interpretação as técnicas de análise multivariada**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CYTED-XVII, 2, 2002, Salvador, BA.

OLIVEIRA, R. S.; KIYATAKE, D. M.; HARADA, M. L.; RIBEIRO, K. T. S. Sanitary quality of the public groundwater supply for the municipality of Belém in Northern Brazil. **Cadernos de Saúde Coletiva**, v. 21, n. 4, p. 377-383, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cadsc/a/dM5bykmtXkyjFBWgsCkSg8n/?lang=en>. Acesso em: setembro de 2025.

OROS, A. Bioaccumulation and trophic transfer of heavy metals in marine fish: Ecological and ecosystem – level impacts. **Journal of Xenobiotics**, v. 15, n. 59, p. 1-38, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2039-4713/15/2/59>

PAGANINI, W. da S. **Poluição difusa e corpos d'água: ação silenciosa e desastres naturais**. In: Conferência Brasileira de Desastres Naturais, 2013.

PEIXOTO, J. S. **Monitoramento da qualidade da água no Baixo São Francisco e ações de Educação Ambiental**. (2016) – Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2016. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/6177/1/JEIS_IKAILANY_SANTOS_PEIXOTO.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

PEREIRA, E. de A. A.; PAIVA, W. de.; MOLOZZI, J.; LOPES, W. S. Sediment and tissue analysis for metals in a tropical estuary. **Regional Studies In Marine Science**, [S.L.], v. 38, p. 101358-101374, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101358>.

PHILIPPI JR., A.; MARCON, G.; GRISOTTO, L. E. G. Desafios para a gestão de recursos hídricos e o desenvolvimento urbano. *REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 6, n. 2, p. 65-91, jul./dez. 2009. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/74/b62a86a55130fbcbbd0565b207eb79f6_6c9aa87a495d323171354cc8ea80fac2.pdf. Acesso em: setembro de 2025.

POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. SEDIMENTOS URBANOS: ambiente e água. *Holos Environment*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 01-18, 31 jan. 2011. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v11i1.3053>.

POSSAMAI, F. P.; VIANA, E.; SCHULZ, H. E.; COSTA, M. M. de.; CASAGRANDE, E. Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. *Ciência & Saúde Coletiva*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 171-179, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232007000100020>.

RAJESHKUMAR, S.; LI, X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, [S.L.], v. 5, p. 288-295, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>.

RAMÍREZ-AYALA, E.; ARGUELLO-PÉREZ, M. A.; TINTOS-GÓMEZ, A.; PÉREZ, J. A. M.; DÍAZ-GÓMEZ, J. A.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, R. Y.; NÖÑEZ-NOGUEIRA, G.; SEPÖLVEDA-QUIROZ, C. A.; ZEPEDA-GONZÁLEZ, F. A.; LEZAMA-CERVANTES, C. Heavy metals in sediment and fish from two coastal lagoons of the Mexican Central Pacific. *Latin American Journal Of Aquatic Research*, [S.L.], v. 49, n. 5, p. 818-827, 31 out. 2021. Pontificia Universidad Catolica de Valparaíso. <http://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue5-fulltext-2628>.

REZENDE, G. B. de M.; ARAÚJO, S. M. Rios urbanos: reflexões sobre os aspectos ambientais e urbanos de suas margens rumo a uma perspectiva integradora e participativa. *Revista Espacios*, v. 36, n. 23, p. 3, 2015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a15v36n23/15362303.html>

RIBA, I.; BONNAIL, E.; SALAMANCA, M. J.; CONRADI, M.; COSTA, M. H. Integrative Assessment of Sediment Quality in the São Francisco River (Mina Gerais, Brazil). *Applied Sciences*, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 3465-3480, 8 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13063465>

RODRIGUES, K. F. S.; SMITH, W. S. Assessment of potentially toxic metals in water, sediment, and the tissues of seven important fish species from neotropical brazilian river. *Neotropical Ichthyology*, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 327-345, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0155>.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da Bacia do Alto Paraguai**. 2003. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/1473/1/Antonio%20Carlos%20Silva%20Sampaio.pdf>. Acesso em: julho de 2025.

SANTOS, J. V. dos. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos: um desafio**. 2009. Tese (Doutorado em Direito do Estado) – Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2134/tde-25082011-150523/publico/TESE_FINAL.pdf. Acesso em: agosto de 2025.

SANTOS, L. dos. **Caracterização do chorume e avaliação de toxicidade em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SAVASSI, L. A. **Efeitos da contaminação por metais pesados e biomarcadores de impacto ambiental em peixes da bacia do rio São Francisco, MG**. 2019. Tese (Doutorado em Biologia Celular) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/ec63da26-2141-4f6d-a495-4b21d76d43e6/content>. Acesso em: setembro de 2025.

SAWYER, C.; MCCARTY, P.; PARKIN, G. 2003. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5. ed. MacGraw-Hill, New York, 752 p.

SEGURA-MUÑOZ, S. I. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados**. 2002. Tese (Doutorado em Saúde Pública) — Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-25072003-084308/publico/tese.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

SETIA, R.; DHALIWAL, S. S.; KUMAR, V.; SINGH, R.; KUKAL, S. S.; PATERIYA, B. Impact assessment of metal contamination in surface water of Sutlej River (India) on human health risks. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 265, p. 114907-114927, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114907>.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, E. P. da.; SIMÕES, T. R.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; PEREIRA, J.; FORMIGA, K. T. M. Effect of rainfall characteristics on the transport of trace metals in suspended particles during rainfall events. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 634, p. 131062-131077, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131062>.

SILVA JUNIOR, J. B. da.; CARVALHO, V. S. de.; SOUSA, D. S.; SANTOS, I. F. dos.; BRITO, G. B.; QUEIROZ, A. F.S.; FERREIRA, S. L.C. A risk assessment by metal contamination in a river used for public water supply. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 179, p. 113730-113747, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113730>.

SILVA, C. P. da.; SILVEIRA, E. L. da.; SEREMETA, D. C. H.; MATOS, D. G. dos S.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; CAMPOS, S. X. de. Bioaccumulation and bioconcentration of metals in Characidae from a Neotropical river basin under anthropic

activities. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 28, p. 38434-38447, 17 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13420-9>.

SILVA, D. B. da. **Qualidade de água e sedimento em reservatório**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2016. Disponível em:
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-08072016-103350/pt-br.html>

SILVA, D. R. O da.; AVILA, L. A. de.; AGOSTINETTO, D.; BUNDT, A. da C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S. Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Química Nova**, [S.L.], p. 327-345, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422011000500004>.

SILVA, F. B. V. da.; LIMA, L. H. V.; SILVA, R. L.; NASCIMENTO, C. W. A. do. **Impacto do tráfego veicular nos teores de metais pesados em poeira de asfalto da cidade do Recife**. In: CONIMAS – I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade, João Pessoa-PB.

SILVA, M. H. L.; CASTRO, A. C. L de.; SILVA, I. S da.; CABRAL, P. F. P.; AZEVEDO, J. W. de J.; SOARES, L. S.; BANDEIRA, A. M.; BASSO, M. J.; NUNES, J. L. S. Determination of metals in estuarine fishes in a metropolitan region of the coastal zone of the Brazilian Amazon. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 186, p. 114477-114497, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114477>.

SILVÉRIO, P. F. **Bases técnico-científicas para a derivação de valores guias de qualidade de sedimentos para metais: experimentos de campo e laboratório**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em:
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04042005-234116/pt-br.php>
 Acesso em: setembro de 2025.

SOARES, A. C. C.; CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D. Saberes sociais e a construção da preferência pela água de consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 22, n. 10, p. 3215-3223, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320172210.17702017>.

SOARES, E. M.; FERREIRA, R. L. Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 327-345, 15 dez. 2017. UNINTER. <http://dx.doi.org/10.22292/mas.v13i6.762>.

SOJKA, M.; JASKUŁA, J. Heavy Metals in River Sediments: contamination, toxicity, and source identification::a case study from poland. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 17, p. 10502-10518, 23 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph191710502>.

SPILLER, M. S.; SPILLER, C.; GARLET, J. Arthropod bioindicators of environmental quality. **Revista Agroambiente On-Line**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 41-56, 23 dez. 2017. Universidade Federal de Roraima. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v12i1.4516>.

TAO, Y.; YUAN, Z.; XIAONA, H.; WEI, M. Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 81, p. 55-64, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.04.014>.

TAVARES, J. M. **Metais nos sedimentos superficiais da plataforma continental entre Itacaré e Olivença, Sul da Bahia, Brasil**. 2008. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Salvador, 2008. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/23376/1/TESE%20JOSEINA.pdf

TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: fatores naturais e antrópicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/items/debfd96c-29a5-4e07-bd0e-d97742c2d478>. Acesso em: agosto de 2025.

TRUCKENBRODT, W. 2019. **Argilominerais nas Geociências: estruturas, propriedades, identificação e origem**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. 124p.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TURNER, A.; FILELLA, M. Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts. **Environment International**, [S.L.], v. 156, p. 106622-106636, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106622>.

VAN ELK, A. G. H. P.; D'OLIVEIRA, P. M. S.; GIORDANO, G.; ANDRADE, R. C. de. Potencial poluidor da disposição final de resíduos sólidos nas águas da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara – RJ. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 195-203, fev. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200319>.

VAROL, M.; KARAKAYA, G.; SÜNBÜL, M. R. Spatiotemporal variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved trace metal(loid)s in the Karasu River, Turkey. **Environmental Research**, [S.L.], v. 202, p. 111733-111747, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.111733>.

VAVERKOVÁ, M. D. Landfill Impacts on the Environment—Review. **Geosciences**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 431-444, 3 out. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences9100431>.

VIANA, L. F.; KUMMROW, F.; CARDOSO, C. A. L.; LIMA, N. A. de.; CRISPIM, B. do A.; BARUFATTI, A.; FLORENTINO, A. C. Metal bioaccumulation in fish from the Araguari River (Amazon biome) and human health risks from fish consumption. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 4111-4122, 13 ago. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-22457-3>.

VIANA, L. F.; CARDOSO, C. A. L.; OLIVEIRA, M. S. B.; LIMA-JUNIOR, S. E.; KUMMROW, F.; FLORENTINO, A. C. Metals bioaccumulation in fish captured from Araguari River upper section (Amazon biome), and risk assessment to human health resulting from their consumption. **Journal Of Trace Elements And Minerals**, [S.L.], v. 7, p. 100111-100125, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100111>.

WANDERMUREM, A. V. **Contaminação por metais pesados em água, sedimentos e peixes do açude Antas, Paraná/RN**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2016. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes-defendidas/arquivos/2212adriana_final.pdf. Acesso em: setembro de 2025.

WEI, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, D.; TU, T.; LUO, L. Metal concentrations in various fish organs of different fish species from Poyang Lake, China. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 104, p. 182-188, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.001>.

WU, D.; FENG, H.; ZOU, Y.; XIAO, J.; ZHANG, P.; JI, Y.; LEK, S.; GUO, Z.; FU, Q. Feeding Habit-Specific Heavy Metal Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Fish in a Tropical Reservoir in Southern China. **Fishes**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 211-231, 18 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fishes8040211>.

XIAO, H.; SHAHAB, A.; LI, J.; XI, B.; SUN, X.; HE, H.; YU, G. Distribution, ecological risk assessment and source identification of heavy metals in surface sediments of Huixian karst wetland, China. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 185, p. 109700-109719, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109700>.

XU, J.; CHEN, Y.; ZHENG, L.; LIU, B.; LIU, J.; WANG, X. Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sediment of the Main Tributaries of Dongting Lake, China. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 1060-1075, 10 ago. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10081060>.

ZHANG, S.; CHEN, B.; DU, J.; WANG, T.; SHI, H.; WANG, F. Distribution, Assessment, and Source of Heavy Metals in Sediments of the Qinjiang River, China. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 15, p. 9140-9156, 26 jul. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19159140>.

ZERIZGHI, T.; YANG, Y.; WANG, W.; ZHOU, Y.; ZHANG, J.; YI, Y. Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a shallow lake: a case study of baiyangdian lake, North China. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.L.], v. 192, n. 2, p. 327 – 345, 31 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. DOI: [10.1007/s10661-020-8078-8](https://doi.org/10.1007/s10661-020-8078-8)

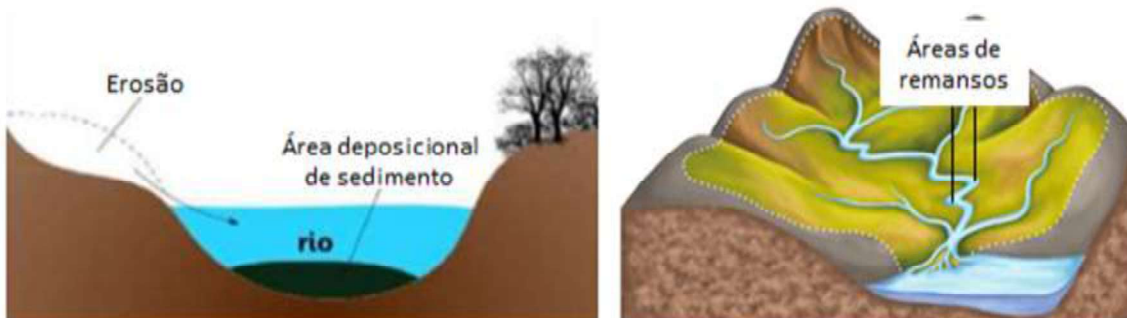
APÊNDICE 1: POP – Procedimento Operacional Padrão para amostragem de sedimento.

- PLANO DE AMOSTRAGEM

De acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras, CETESB (2011), a escolha dos pontos de coleta de sedimento deve levar em consideração, o tipo de ambiente, os locais de descarte de cargas poluentes e os padrões de vazão, velocidade e sentido da corrente.

Para a coleta de sedimento do Projeto Arroio Dourado, foram definidos 4 pontos de coleta, nomeados da seguinte maneira: P1 (Nascente), P2 (Montante), P3 (Jusante) e P4 (Exutório).

Para qualquer tipo de ambiente, a coleta para avaliação da qualidade de sedimento normalmente ocorre nas áreas de deposição do sedimento fino (argila), pois são nesses locais que os contaminantes ficam retidos, em rios ocorre nas margens deposicionais e nas áreas de remansos (CETESB, 2011), conforme ilustrado abaixo.



* Exemplos de áreas de deposição sedimentar e áreas de remansos.

Fonte: Autora (2023)

- EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM

Os equipamentos utilizados na coleta de sedimento estão apresentados a seguir:



Fonte: Autora (2023)

- PROCEDIMENTO DE COLETA

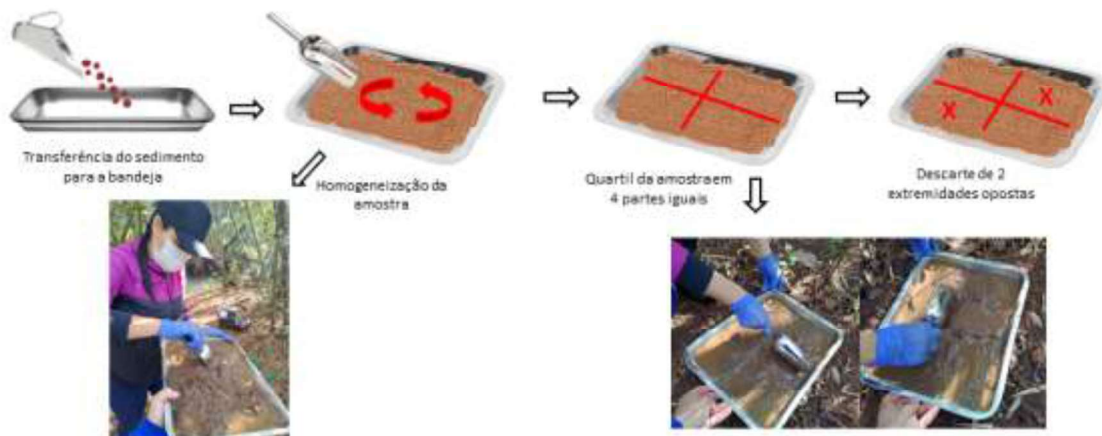
- **Passo 1:** Em amostragens onde não é exigida a esterilidade do balde, todos os equipamentos citados acima devem ser ambientados com água do próprio local, antes da coleta propriamente dita.

- **Passo 2:** Com o auxílio da caneca de aço inox (usada para corpos d'água rasos) será feita a coleta do sedimento, em seguida deixar escoar toda a água que está presente na amostra e transferir o material para a bandeja, é necessário coletar amostra suficiente para homogeneização e para preencher os frascos, conforme ilustrado a seguir.



Fonte: Autora (2023)

- **Passo 3:** Depois de transferido o material para a bandeja, o mesmo precisa ser homogeneizado, e aplica-se uma técnica chamada QUARTIL, na qual consiste em dividir a amostra em 4 partes iguais, feito isso descarta-se duas extremidades opostas e mistura o material novamente, repete-se esse procedimento quantas vezes necessário para que a amostra fique homogênea, em seguida o sedimento é transferido para os frascos.



Fonte: Autora (2023)

- **Passo 4:** Após obter volume de amostra necessário, o sedimento é transferido para os frascos (4 para cada ponto), é necessário preenchê-los totalmente.



Fonte: Autora (2023)

- ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE

Depois de finalizada a coleta, as amostras devem ser armazenadas em caixa térmica com gelo, sendo necessários 9 kgs, para que dessa forma as mesmas mantenham-se preservadas, e em seguida transportadas para Curitiba/PR para análise na empresa Bioagri Laboratórios Ltda.



Fonte: Autora (2023)

OBSERVAÇÃO: Ao final da coleta em cada ponto é necessário preencher a CADEIA DE CUSTÓDIA (documento com identificação das amostras), este vai junto com a caixa para o laboratório.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA; CETESB, 2012. 327 p.

APÊNDICE 2: Parâmetros analisados, LQ e identificação do laboratório responsável pela realização das análises de sedimento.

Composto	Unidade	LQ	Laboratório
Porcentagem de Sólidos	%p/p	0,05	Mérieux NutriSciences
Alumínio; Ferro	mg/kg	2500	Mérieux NutriSciences
Amônia (como NH ₃)	mg/kg	2,7	Mérieux NutriSciences
Cádmio	mg/kg	0,1	Mérieux NutriSciences
Cálcio; Potássio	mg/kg	50	Mérieux NutriSciences
Cobre	mg/kg	0,5	Mérieux NutriSciences
Chumbo; Cromo; Níquel; Fósforo; Manganês; Zinco	mg/kg	1	Mérieux NutriSciences
H+Al; CTC; Magnésio; Al; Soma de Bases	mmol/dm ³	-----	Mérieux NutriSciences
Matéria Orgânica	g/dm ³	-----	Mérieux NutriSciences
Fósforo Resina	mg/dm ³	-----	Mérieux NutriSciences
Saturação de Bases	V%	-----	Mérieux NutriSciences
Saturação Al	m%	-----	Mérieux NutriSciences
Mercurio; Carbono Orgânico Total	mg/kg	0,05	Mérieux NutriSciences
Areia muito grossa (2 a 1mm); Areia grossa (1 a 0,5mm); Areia média (0,5 a 0,25mm); Areia fina (0,25 a 0,125mm); Areia muito fina (0,125 a 0,062mm); Silte (0,062 a 0,00394mm); Argila (0,00394 a 0,0002mm); Material > 2,00 mm	g/kg	-----	Mérieux NutriSciences
Potencial Redox (susp. A 50%)	mV	-----	Mérieux NutriSciences
2,4-D; 2,4,5-T; Bentazona; Demeton S; Demeton-O; Parationa Etilica	mg/kg	0,0034	Mérieux NutriSciences
Alaclor; Carbaril; Aldrin; Clorotalonil; Carbofuran; Molinato; Dieldrin; Dodecacloropentaciclodecano; Eldrin; HCH Alfa; HCH Beta; HCH Delta; Heptacloro; Heptacloro Epóxido; Hexaclorobenzeno; Isodrin; Metoxicloro; Trifluralina; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(K)fluoranteno; Criseno; Acenaftileno; Fluoreno; Antraceno; Benzo (g,h,i) perileno; Fenantreno; Dibenzo (a,h) antraceno; Indeno (1,2,3, cd) pireno; Pireno; Acenafteno; Fluoranteno; Naftaleno; Benzo(a)antraceno; Endrin Aldeído; Endrin Ketone; Atrazina; Malationa; Metolacoloro; Dissulfotom; Propanil; Simazina; Cis clordano (Alfa clordano; Trans Clordano (Gama Clordano); Trans-Nonacloro	mg/kg	0,0025	Mérieux NutriSciences
DDD (isômeros); DDE (isômeros); Clordano (isômeros)	mg/kg	0,005	Mérieux NutriSciences
Endossulfan (a, b e sulfato)	mg/kg	0,01	Mérieux NutriSciences
p,p'- DDT + p,p'- DDD + p,p'- DDE	mg/kg	0,0075	Mérieux NutriSciences
Demetron (Demetron – O e Demetron – S)	mg/kg	0,0067	Mérieux

			NutriSciences
Lindano (g – HCH); Benzo(a)pireno	mg/kg	0,00067	Mérieux NutriSciences
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/kg	27	Mérieux NutriSciences
Total de PAHs (L. Holandesa)	mg/kg	0,034	Mérieux NutriSciences
Sulfeto (A.V.S)	µmol/g	0,01	Mérieux NutriSciences
Gutition	mg/kg	0,0027	Mérieux NutriSciences
Acetamipride; acibenzolar-S-metílico; aldicarbe; aldicarbe sulfona; aldicarbe sulfoxido; ametrina; aminocarbe; amitraz; azinfós-etílico; azinfós-metílico; azoxistrobina; benalaxil; bendiocarbe; benfuracarbe; bifentrina; bitertanol; boscalida; bromacila; bromofós- etílico; bromofós-metílico; bromopropilato; bromuconazol; bupirimate; buprofezina; cadusafós; carbendazim; carbossulfano; carboxina; carfentrazona- etílica; cialotrina; cianazina; cianofenfos; ciazofamida; ciflutrin totais; cimoxanil; cipermetrin totais; ciproconazol; ciprodinil; ciromazina; cletodim; clofentezina; clomazona; clorfenapir; clorfenvinfos; clorfluazurom; clorimurom etílico; clormefos; clorobenzilato; clorotalonil; clorpirifos-metílico; clortiofos; clotianidina; coumafos; cresoxim-metílico; deltametrina; diazinona; diclofluanida; diclorvos; dicrotofos; difenoconazol; diflubenzurom; dimetoato; dimetomorfe; diniconazole; dinotefuran; dissulfotom; diurom; epoxiconazol; espinosade; espiroclorfen; espiromesifeno; espiroxamina totais; etiofencarbe; etiona; etiprole; etofenproxi; etoprofos; etoxazol; famoxadona; fenamifos; fenarimol; fenazaquin; fenbuconazol; fenehexamida; fenitrotiona; fenobucarbe; fenoxicarbe; fenpiroximate; fenpropatrina; fenpropimorfe; fentiona; fipronil; flonicamida; fluasifope-P-butílico; fluazinam; fludioxonil; flufenoxurom; fluquinconazol; flusilazol; flutriafol; forato; formetanato-HCL; fosadona; fosfamidona; fosmete; fostiazato; furatiocarbe; heptenofos; hexaconazol; hexazinona; hexitiatoxi; imazalil; imazapir; imidacloprido; indoxacarbe; iprodiona; iprovalicarbe; isazofos; isoprotruron; isoxaflutol; lambda-cialotrina; linurom; lufenurom; malaoxona; malationa; mepronil; metalaxil-M; metamidofos; metconazol; metidationa; metiocarbe; metoxifenozida; metribuzim; metsulfurom; mevinfos; miclobutanil; monocrotofos; monuron; neburon; novaluron; nuarimol; ometoato; oxadixil; oxamil; oxifluorfen; paclobutrazol; paraoxona-etílica; parationa-metílica; penciclurom; penconazol; pendimetalina; pentaclorofenol; permetrin totais; picoxistrobina; piraclostrobina; pirazofos; piridabem; piridafentona; pirifenox; pirimetanil; pirimicarbe; pirimifos-etílico; pirimifos-metílico; piriproximfen; procloraz; profam; profenofos; promecarbe; prometrina; propamocarbe; propargito; propiconazol totais; protiofos; quinalfos; quinoxifen; rotenona; sulfentrazona; sulfosulfuron; sulfotepe; sulprofos; tebuconazol; tebufenozida; tebufenpirade; tebupirinfos;	µg/kg	10	Agrosafety

tebutiurum; teflubenzurom; temefós; terbufós; tetraconazol; tetradifona; tiabendazol; tiacloprido; tiametoxam; tiobencarbe; tiodicarbe; tiofanato- metílico; tiometona; tionazim; tolclófós-metílico; ;tolifluanida; tralkoxidim; triadimefom; triadimenol; triazofós; triciclazol; triclorfom; trifloxistrobina; triflumizol; triflumurom; triticonazol; vamidotiona; vinclozolina			
butóxido de piperonila; cloroxuron; diflufenicam; dodemorfe;espinetoram; fosfolam; metaflumizone; metoprene; Mexacarbate; nitempiran; paraoxona- metílica; siduron	µg/kg	20	Agrosafety
aletrina; carbofenotiona; dialate totais	µg/kg	50	Agrosafety
Tiram	µg/Kg	200	Agrosafety

Fonte: Autora (2026)

Metodologias adotadas para constatação e avaliação dos compostos nas amostras de sedimento.

Composto	Laboratório	Metodologia
Mercúrio	Mérieux NutriSciences	Determinação: EPA 245.7:2005 / Preparo: EPA 3051A: 2007
Alumínio; Cádmio; Cálcio; Chumbo; Cobre; Cromo; Ferro; Fósforo; Manganês; Níquel; Zinco; Potássio	Mérieux NutriSciences	Determinação: EPA 6010D: 2018 / Preparo: EPA 3051A: 2007
Porcentagem de Sólidos	Mérieux NutriSciences	SMWW, 23ª Edição, 2017 – Método 2540 G
Nitrogênio Total Kjeldahl	Mérieux NutriSciences	POP PA 005
Carbono Orgânico Total	Mérieux NutriSciences	POP PA 182
Matéria Orgânica	Mérieux NutriSciences	“Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais” Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
Areia muito grossa (2 a 1mm); Areia grossa (1 a 0,5mm); Areia média (0,5 a 0,25mm); Areia fina (0,25 a 0,125mm); Areia muito fina (0,125 a 0,062); Silte (0,062 a 0,00394mm); Argila (0,00394 a 0,0002mm); Material > 2,00 mm	Mérieux NutriSciences	ISSO 13320: 2020 / POP PA 180
2,4-D; 2,4,5-T; Bentazona; Demeton S; Demeton-O; Parationa Etílica; Alaclor; Carbaril; Aldrin; Clorotalonil; Carbofuran; Molinato; Dieldrin; Dodecacloropentaciclodecano; Eldrin; HCH Alfa; HCH Beta; HCH Delta; Heptacloro; Heptacloro Epóxido; Hexaclorobenzeno; Isodrin; Metoxicloro; Trifluralina; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(K)fluoranteno; Criseno; Acenaftileno; Fluoreno; Antraceno; Benzo (g,h,i) perileno; Fenantreno; Dibenzo (a,h) antraceno; Indeno (1,2,3, cd) pireno; Pireno; Acenafteno; Fluoranteno; Naftaleno; Benzo(a)antraceno; Endrin Aldeído; Endrin Ketone; Atrazina; Malationa; Metolacolor; Dissulfotom; Propanil; Simazina; Cis clordano (Alfa clordano; Trans Clordano (Gama Clordano); Trans-Nonacloro; DDD (isômeros); DDE (isômeros); Clordano (isômeros); Endossulfan (a, b e sulfato); p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE; Demetron (Demetron – O e Demetron – S); Lindano (g – HCH); Benzo(a)pireno; Total de PAHs (L. Holandesa); Gution.	Mérieux NutriSciences	Determinação EPA 8270E: 2018, POP PA 076 / Preparo: EPA 3550C: 2007
Acetamipride; acibenzolar-S-metílico; aldicarbe; aldicarbe sulfona; aldicarbe sulfoxido; ametrina; aminocarbe; amitraz; azinfós-etílico; azinfós-metílico; azoxistrobina; benalaxil; bendiocarbe; benfuracarbe; bitertanol; boscalida; bromuconazol; bupirinato; buprofezina; cadusafós; carbendazim; carbossulfano; carbofenotiona; carboxina; carfentrazona-	Agrosafety	EPA 8321B Rev2:2007

etílica; cianazina; ciazofamida; cimoxanil; cipermetrinas totais; ciproconazol; ciprodinil; ciromazina; cletodim; clofentezina; clomazona; clorfenvinfós; clorfluazurom; clorimuro etílico; cloroxuron; clorpirifós- metílico; clortiofós; clotianidina; coumafós; cresoxim-metílico; diazinona; diclofluanida; diclorvós; dicrotofós; difenoconazol; diflubenzurom; dimetoato; dimetomorfe; diniconazole; dinotefuran; dissulfotom; diurom; dodemorfe; epoxiconazol; espinosade; espiroclorfenox; espiromesifeno; espinetoram; espiroxamina totais; etiofencarbe; etiona; etiprole; etofenproxi; etoprofós; etoxazol; famoxadona; fenamifós; fenarimol; fenazaquin; fenbuconazol; fenehexamida; fenobucarbe; fenoxicarbe; fenpiroximato; fenpropimorfe; fentiona; fipronil; flonicamide; fluasifope-P-butílico; fluazinam; fludioxonil; flufenoxurom; fluquinconazol; flutriafol; forato; formetanato- HCL; fosadona; fosfamidona; fosmete; fostiazato; furatiocarbe; hexaconazol; hexazinona; hexitiazoxi; imazalil; imazapir; imidacloprido; indoxacarbe; iprovalicarbe; isoproturon; isoxaflutol; linurom; lufenurom; malaoxona; malationa; mepronil; metaflumizone; metalaxil-M; metamidofós; metconazol; metidationa; metiocarbe; metoprene; metoxifenoazida; metribuzim; metsulfurom; mevinfós; mexacarbate; miclobutanil; monocrotofós; monuron; neburon; nitempiran; novaluron; nuarimol; ometoato; oxadixil; oxamil; oxifluorfen; paclobutrazol; paraoxona-etílica; parationa- metílica; pencicurom; penconazol; pendimetalina; picoxistrobina; piraclostrobina; pirazofós; piridabem; piridafentiona; pirifenox; pirimetanil; pirimicarbe; pirimifós-etílico; pirimifos-metílico; piriproxifen; procloraz; profam; profenofós; promecarbe; prometrina; propamocarbe; propargito; propiconazol totais; quinoxifen; rotenona; siduron; sulfentrazone; sulfosulfuron; sulfotepe; tebuconazol; tebufenoazida; tebufenpirade; tebutiuron; teflubenzurom; temefós; terbufós; tetraconazol; tiabendazol; tiacloprido; tiametoxam; tiobencarbe; tiodicarbe; tiofanato-metílico; tolclofós-metílico; ;tolifluanida; tralkoxidim; triadimefom; triadimenol; triazofós; triciclazol; triclofom; trifloxistrobina; triflumizol; triflumurom; triticonazol; vamidotona		
Aletrina; bifentrina; bromacila; bromofós- etílico; bromofós-metílico; bromopropilato; butóxido de piperonila; cialotrina; cianofenofós; ciflutrinas totais; cipermetrinas totais; clorfenapir; clormefós; clorobenzilato; clorotalonil; deltametrina; dialate totais; diflufenicam; fenitrothion; fenpropatrina;	Agrosafety	EPA 8270E Rev5:2018

flusilazol; fosfolam; heptenofós; iprodiona; isazofós; lambda-cialotrina; paraoxona- metílica; pentaclorofenol; permetrinas totais; protiofós; quinalfós; sulprofós; tebupirinfós; tetradifona; tiometona; tionazim; vinclozolina		
Tiram	Agrosafety	POP MET103-R00

Fonte: Autora (2026)

APÊNDICE 3: POP – Procedimento Operacional Padrão para amostragem de peixes.

- PLANO DE AMOSTRAGEM

De acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras, CETESB (2011), a seleção do tamanho do território de amostragem é influenciada por diversos fatores, dentre eles destacam-se: grupos taxonômicos a serem estudados e pela natureza do problema a ser investigado. Para peixes esse território de amostragem pode variar sua extensão de acordo com a necessidade, levando em consideração a densidade das populações encontradas no ambiente.

Para a amostragem de peixes do Projeto Arroio Dourado, ficou definido que será realizada a coleta de duas amostras sendo elas: 1 amostra composta (pontos e espécies) do rio, devido ao baixo número de indivíduos encontrados e 1 amostra denominada “B” (branco), oriundo do Lago de Itaipú localizado na cidade de Santa Terezinha de Itaipu/PR, trata-se de um ambiente protegido por mata ciliar em seu entorno. Cada amostra deve totalizar 1 kg de peixes inteiros.

- EQUIPAMENTOS DE AMOSTRAGEM

Neste estudo, optou-se pelo método de amostragem da pesca elétrica, muito utilizado para meios científicos e recomendado para ambientes de águas rasas.

Os equipamentos utilizados na coleta de peixes estão apresentados abaixo.



Fonte: Autora (2023)

- PROCEDIMENTO DE COLETA

Para a coleta de peixes recomenda-se uma equipe de no mínimo 4 pessoas para:

- 1º - operar o equipamento costal do tipo mochila;
- 2º - capturar os peixes com o auxílio de um puça;
- 3º - manusear a peneira para selecionar os indivíduos;
- 4º - armazenar os peixes no balde;

A coleta dos peixes por eletricidade se dá pela criação de um campo elétrico na massa de água, produzindo alterações no comportamento dos indivíduos, o que se traduz em movimentos involuntários de contração e relaxamento muscular nos peixes, permitindo assim a sua captura.



*Imagem utilizada mediante autorização.

Fonte: Autora (2023)

Após essa captura, os peixes são manipulados cuidadosamente, colocados no gelo e transportados até o laboratório da universidade (UNILA) para o congelamento. Após 48h os peixes são organizados separadamente em pequenas quantidades em sacos plásticos devidamente identificados e armazenados em caixas térmicas organizados em camadas

(gelo + peixe) para o transporte até o laboratório responsável pela análise na cidade de Curitiba/PR.



Fonte: Autora (2023)

É importante ressaltar que para este estudo optou-se por realizar o congelamento no laboratório da universidade antes de despachar as amostras para Curitiba, com o objetivo de preservar a integralidade e a qualidade da amostra e dessa forma conferir confiabilidade as análises e resultados.

OBSERVAÇÃO: Referente ao equipamento utilizado é importante observar as medidas de segurança necessárias para coleta em campo, principalmente as relativas aos riscos inerentes a descargas elétricas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA; CETESB, 2012. 327 p.

APÊNDICE 4: Parâmetros analisados, LQ e referência de método utilizado pelo laboratório nas análises de peixes.

Composto	Unidade	LQ	Referência do método
Cádmio; chumbo; cobre; mercúrio	mg/kg	0,01	POPMET406-R00
Cromo	mg/kg	0,05	POPMET406-R00
Cobre; manganês; zinco	mg/kg	0,1	POPMET406-R00
Ferro	mg/kg	0,2	POPMET406-R00
Alumínio	mg/kg	5	POPMET406-R00
2,4-D; hidroxi-carbofurano; azoxistrobina; benalaxil; benfuracarbe; abamectina; bentazona; benzoato de emamectina; acetamipride; boscalida; bromuconazol; buprofezina; alanicarbe; carboxina; cianazina; ciazofamida; ciprodinil; ciromazina; clofentezina; clorantraniliprol; clorbromuron; clorfluazuron; clorimuron etílico; clorpirifós-metílico; clortiófos; clotianidina; coumafós; demetom-S-metil sulfona; diazinona; diclofluanida; diclorvós; dicrotofós; difenoconazol; diflubenzurom; demetoato; dimetomorfe; dimoxistrobina; dinotefuran, diurom; epoxiconazol; espinetoram; espiromesifeno; espirotetramato; etiofencarbe sulfona; etiofencarbe sulfóxido; etiprole; etoprofós; etoxazol; famoxadona; fenamifós; fenamifós sulfona; fenamifós sulfóxido; fenbuconazol; fenehexamida; fenpiroximato; fenpropimorfe; fentiona; flusifope-p; fludioxonil; flufenacet; flufenoxurom; flusilazol; flutriafol; forato; forclorfenurom; formetanato-HCL; imazalil; imazapir; imidacloprido; indoxacarbe; iprovalicarbe; isazofós; isoprocarbe; isoxaflutol, linurom; malaoxona; malationa; mepronil; metaflumizone; metamidofós; metalocloro; metoxifenoazida; metribuzim; metsulfurom metílico; miclobutanil, molinato; monocrotofós, monuron, neburon; nitempiram; movaluron; nuarimol; ometoato, oxadixil; penconazol; pimetozina; piridabem; pirifenox; pirimetanil; pirimicarbe; pirimifós-etílico; pirimifós-metílico; profam; profenofós; promecarbe; prometon; propamocarbe; propargito; propiconazol totais, quinoxifem; rotenona; sulfometurom metílico; sulfotepe; sulprofós; tebuconazol; tebufenozida; temefós; terbufós; tiabendazol; tiametoxam; tiobencarbe; triazofós; triadimenol; triadimefom.	mg/kg	0,01	POPMET410-R00
Acefato; acibenzolar-S-metílico; cadusafós; carbaril; carfentrazona-etílica; cimoxanil; cletodim; cloroxuron; cresoxim-metílico; diooxacarbe; dodemorfe; espiroxamina totais; etiofencarbe; etiona; fenarimol; fenocarbe; fenoxicarbe; flonicamide; fluasifope-P-butílico; flumetralina; fluoxastrobin; fluquiconazol; fosadona; fosfamidona; fosmete; furatiocarbe; hexaconazol; iprodiona; isoproturon; mandipropamida; metconazol; mexacarbate;	mg/kg	0,02	POPMET410-R00

oxamil; paclobutrazol; pencicuirom; pendimetalina; picoxistrobina; piraclostrobina; prometrina; protioconazol; siduron; simazina; simetrina; tebufenpirade; tetraconazol; tiodicarbe; tiofanato-metilico; tionazim; totifluanida; trifloxistrobina; tribumizol; zoxamida.			
2,4,5-T; azinfós-etílico; azinfós-metilico; bitertanol; bupirinato; carbendazim; demetom (O+S); desmedifan; dietofencarbe; diniconazole; dissulfotom; espinosade; etirimol; fenamidona; fenazaquim; fluazinam; fostiazato; hexazinona; lufenurom; metiocarbe; mevinfós; piriproxifem; procloraz; propoxur; teflubenzurom; tiacloprido; tolclófós-metilico; triclorfom; triflumurom.	mg/kg	0,05	POPMET410-R00
Dialate totais	mg/kg	0,2	POPMET410-R00
Alacloro; aldrin; bifentrina; bromofós-etílico; brmofós-metilico; bromopropilato; carbofurano; carbossulfano; cianofenfós; cianofós; cipermetrinas totais; ciproconazol; clomazona; clordane; clorfenvinfós; clormefós; clorobenzilato; clorpirifós-etílico; deltametrina; dieltrin; dodecacloro; endossulfam; endossulfam-alfa; endossulfam-beta; endossulfam-sulfato; endrin; fenitrotona; fenprpatrina; fentoato; HCH-alfa; HCH-beta; HCH-delta; HCH-gama; heptacloro; heptacloro-epóxido; heptenofós; haxa- clorobenzeno; lamdda-cialotrina; metalaxil-M; metamitrona; metoxicloro; oxifluorfem; parationa-etílica; pirazofós; piridafentiona; sulfentrazona; tebupirinfós; tebutiurom; tetraclorvinfós; tetradifona; tiometona; tralkoxidim; trifluralina; triticonazol; vamidotiona.	mg/kg	0,01	POPMET292-R00
Bromacila; arbofenotiona; clorfenapir; DDD- o,p'; DDD-p,p'; DDE-o,p'; DDE-p,p'; DDT- o,p'; DDT-p,p'; fluometurom; fodfolam; metoprene; paraoxona-etílica; paraoxona- metílica; parationa-metilica; pentaclorofenol; quinalfós; sulprofós; triciclazol; protiofós.	mg/kg	0,02	POPMET292-R00
Dialate totais	mg/kg	0,04	POPMET292-R00
Aletrina; butóxido de piperonila; diflufenicam; flutolanil; permetrinas totais; propanil.	mg/kg	0,05	POPMET292-R00
Metidationa	mg/kg	0,001	POPMET410-R00
Clordane alfa-cis; clordane gama-trans	mg/kg	0,002	POPMET292-R00
Espirodiclofeno	mg/kg	0,004	POPMET410-R00

Fonte: Autora (2026)