



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS AQUÁTICOS
TROPICAIS

MURYLO AUGUSTO RIBEIRO MACEDO

**ANÁLISE AMBIENTAL DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA, PARÁ,
BRASIL**

BELÉM
2023

MURYLO AUGUSTO RIBEIRO MACEDO

**ANÁLISE AMBIENTAL DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA, PARÁ,
BRASIL**

Dissertação apresentada à coordenação do curso de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, da Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Linha de Pesquisa: Ecologia Aquática e Manejo de Recursos Naturais.

Orientadora: Prof. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.

BELÉM

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M141a Macedo, Murylo Augusto Ribeiro
ANÁLISE AMBIENTAL DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA, PARÁ, BRASIL / Murylo
Augusto Ribeiro Macedo. - 2023.
60 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Aquicultura e Recursos Aquáticos
Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia,
Belém, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Maria de Lourdes Souza Santos

1. Impactos ambientais. Região Metropolitana de Belém. Elementos traço. CONAMA.. I. Santos ,
Maria de Lourdes Souza , *orient.* II. Título

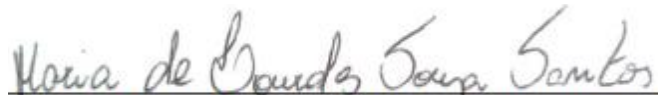
MURYLO AUGUSTO RIBEIRO MACEDO

**ANÁLISE AMBIENTAL DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA, PARÁ,
BRASIL**

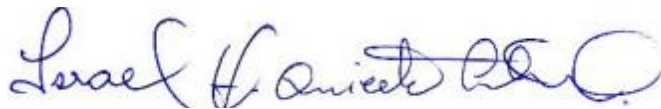
Dissertação apresentada à coordenação do curso de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, da Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Data: 30/10/2023

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos (Orientadora)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Prof. Israel Hidenburgo Aniceto Cintra
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Prof. Maamar El-Robrini
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFPA



Prof. Maurício Willians de Lima
Professor externo ao programa

BELÉM

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus e Nossa Senhora de Nazaré por ter iluminado meu caminho durante esta árdua jornada, me mostrando sempre os melhores caminhos para concluir mais uma etapa acadêmica em minha vida, agradeço por todas as bênçãos e graças alcançadas até aqui.

À minha mãe Maria da Conceição Ribeiro Macedo (em memória) por seu amor incondicional, que chegou a ver meu nome apenas na listagem de aprovação do mestrado, e que ficou muito feliz com mais uma conquista minha, e que com certeza torce por mim do céu. Agradeço por seu apoio desde os anos iniciais de escola, até a faculdade, por investir em toda a minha formação e ter concedido a mim uma oportunidade que poucas pessoas têm acesso, que é um ensino de qualidade.

Ao meu pai, Carlos Alberto Ribeiro Macedo e meus irmãos Marcus Alberto Ribeiro Macedo e Laelia Anayze Ribeiro Macedo, por todo apoio até aqui, a sua disponibilidade e prontidão sempre que eu precisei. E ao meu grande amor, meu filho Miguel da Silva Ribeiro por ser minha grande força e fonte de amor maior, para que eu não desistisse dessa jornada de grandes desafios.

A minha orientadora professora Dra Maria de Lourdes Souza Santos, por todo apoio, confiança, orientações, paciência, publicações, pelos puxões de orelha e por todo conhecimento que adquiri ao longo desses anos de mestrado.

Agradeço também aos meus amigos da pós-graduação graduação e do Laboratório de Química Ambiental (LQA/UFRA), que mesmo de forma online me ajudaram de forma direta ou indiretamente, me dando forças e incentivos e me ajudando a aprimorar meus conhecimentos. Agradeço também ao apoio Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como, a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGAqRAT). Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos os meus professores do mestrado.

RESUMO

A urbanização adjacente causada por alguns bairros de Belém (PA) que cercam os lagos Bolonha e Água Preta, a microbacia hidrográfica do Murucutu, vem sofrendo diversos impactos ambientais significativos que podem afetar a qualidade do abastecimento de água da região metropolitana de Belém. Estes bairros residenciais que cercam os lagos, em sua maioria, são desprovidos de saneamento básico, constituindo uma fonte de contaminação da água dos lagos. Nos últimos anos notou-se que o espelho d'água do lago Bolonha vem sendo tomado por um tipo de vegetação que recebe o nome de macrófita, a espécie encontrada no lago é predominantemente de aguapés (*Eichhornia crassipes Solms*), que pode ser utilizada como um indicador de excesso de nutrientes, e seu surgimento pode estar ligado tanto à própria dinâmica do meio físico, bem como ao aporte de nutrientes em razão da ocupação “desordenada” as margens do lago, trazendo inúmeros prejuízos à população que usufrui deste corpo hídrico. Com isso, neste estudo serão quantificadas as concentrações de contaminações com elementos traço, nas águas superficiais dos lagos, a fim de identificar áreas que tenham maior acúmulo desses metais. Também serão obtidos dados de pH e turbidez dessas águas, além de verificar a influência da sazonalidade na distribuição dos elementos, do pH e da turbidez os quais serão referenciados com a resolução CONAMA 357/2005.

Palavras-chave: Macrófitas, Corpo hídrico, Elementos traços, Murucutu.

ABSTRACT

Due to intense urban pressure, caused by some neighborhoods in Belém (PA) that surround the Bolonha and Água Preta lakes, the Murucutu hydrographic microbasin has been suffering several significant environmental impacts that can affect the quality of the water supply in the Metropolitan Region of Belém (RMB), these residential neighborhoods that surround the lakes are mostly devoid of basic sanitation, which constitutes a possible source of water contamination. In recent years, it has been noticed that the Lake Bologna water body has been taken over by a type of vegetation that is called macrophyte, the species found in the lake is predominantly water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solms), which can be used as an indicator of poor quality, and its appearance may be linked both to the dynamics of the physical environment, as well as to the supply of nutrients due to the “disorganized” occupation of the lake shores, causing countless losses to the population that uses this water body. Thus, in this study, the levels of trace elements in surface waters will be quantified, in order to identify areas that have greater accumulation of these metals, pH, turbidity and chloride data of these waters will also be obtained. The influence of seasonality on the distribution of elements, pH, turbidity and chloride will be verified, which will be referenced with CONAMA resolution 357/2005.

Keywords: Macrophytes, Water body, Trace elements, Murucutu.

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|--------------------------------------|
| 1 | CONTEXTUALIZAÇÃO..... | 10 |
| 2 | OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 12 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| 3 | REFERÊNCIAS DA CONTEXTUALIZAÇÃO | 13 |
| 4 | CAPÍTULO I..... | 14 |
| | IMPACTO URBANO NAS ÁGUAS DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA (BELÉM, PARÁ): UM ESTUDO DE CASO ENTRE OS ANOS DE 2011 E 2022 Erro! Indicador não definido. | |
| | Introdução | Erro! Indicador não definido. |
| | Material e métodos..... | Erro! Indicador não definido. |
| | Resultados e discussão | Erro! Indicador não definido. |
| | Conclusão..... | Erro! Indicador não definido. |
| | Agradecimentos | Erro! Indicador não definido. |
| | Referências..... | Erro! Indicador não definido. |
| 5 | CAPÍTULO II | 34 |
| | AVALIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS-TRAÇOS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA MICROBACIA DO MURUCUTU, PARÁ, BRASIL | 35 |
| | Introdução | 36 |
| | Materiais E Método..... | 37 |
| | Resultados E Discussão | 39 |
| | Conclusão..... | 52 |
| | Referências..... | 53 |

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A água é um elemento essencial para a existência humana e para o correto funcionamento do planeta Terra. Na Amazônia sua presença é abundante, entretanto, existem problemas na gestão deste recurso na região, o que gera a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, propiciando impactos como a má qualidade da água, perda de *habitat* de espécies aquáticas e doenças de veiculação hídrica (CARVALHO; LEMOS; DANTAS FILHO, 2015). Dentre estes problemas está a contaminação da água por elementos traço lançados de forma irregular nos corpos hídricos, sendo de suma importância o monitoramento da presença destes, principalmente em águas destinadas para o consumo humano.

Os elementos traço são definidos quimicamente como um grupo situado entre o cobre e o chumbo na tabela periódica tendo pesos atômicos entre 63,546 e 200,590 e densidade superior a 4,0 g/cm³. Passam a ser considerados tóxicos quando suas concentrações excedem o limite de tolerância dos organismos, podendo ser encontrados em excesso quando são descartados sem controle ou tratamento por atividades econômicas como a agricultura, indústrias, mineração, dentre outras (ALVES *et al.*, 2021). Zuliani *et al.* (2017) afirmam que a contaminação do ambiente pode ocorrer por meio de metais, que são associados à efeitos adversos na biota e na saúde humana.

Elementos-traço, é um termo utilizado para se referir aos elementos encontrados em baixas concentrações, teores em torno de partes por milhão (mg kg⁻¹ ou mmol kg⁻¹), ou ainda menores (µg kg⁻¹ ou µmol kg⁻¹), em substratos como solo, planta, água subterrânea (ZULIANI *et al.*, 2017). A concentração desses elementos no solo sem adição antropogênica é geralmente considerada de pouco risco, não afetando negativamente o crescimento de plantas ou a qualidade da água. Entretanto, há locais onde mesmo sem alteração antropogênica dos elementos-traço, sua concentração excede os limites admissíveis para solos, por causa de processos naturais de enriquecimento por meio do material de origem (BRASIL, 2005).

A crescente demanda de materiais para o consumo humano aumentou a exploração de recursos naturais e industrialização, como consequência muitos ambientes foram enriquecidos artificialmente por diversos elementos-traço. Esses elementos podem contaminar a água pelo processo de dispersão de materiais particulados no ambiente, sendo facilmente carreados para os corpos d'água, onde ficam disponíveis ou retidos nos sedimentos. Assim, é de suma importância estudá-los, principalmente quando não estão no ambiente de forma natural.

Segundo Pantoja *et al.* (2014) a bacia do Murucutu é a que possui maior concentração de áreas naturais em Belém, sua importância está vinculada a relevância dos 20 ecossistemas lânticos presentes na bacia, com destaque para os Lagos Bolonha com 1.954.000 m³, e o Água Preta com

9.905.000 m³, que são responsáveis por 63% abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém – RMB, o abastecimento ocorre da água retirada do Complexo do Utinga.

A bacia do Murucutu sofre com intensa pressão urbana, pois está localizada próxima à diversos bairros do município de Belém. O aumento populacional e a consequente produção de resíduos sólidos nessas áreas, concomitante ao gerenciamento inadequado dos mesmos e da má gestão de serviços de saneamento básico, faz com que haja diversos prejuízos à bacia, como o descarte irregular de resíduos sólidos e efluentes de esgoto (RODRIGUES; VIEIRA; MENDES, 2021).

Araújo Júnior já em 2015, descrevia que ao longo dos anos o espelho d'água do lago Bolonha foi tomado por um tipo de vegetação de macrófita aquática, a espécie *Eichhornia crassipes* Solms (Jacinto da água ou aguapé). Seu surgimento foi associada tanto a própria dinâmica do meio físico, bem como ao aporte de nutrientes em razão da ocupação “desordenada” as margens do lago. Devido à precariedade do saneamento básico, os efluentes e os resíduos sólidos gerados pela população podem atingir os recursos hídricos, contaminando-os.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2022), o estado do Pará possui três cidades no *ranking* do saneamento de 2022, sendo que dois fazem parte da RMB. Em relação ao acesso ao tratamento de esgoto, em Belém, apenas 17,14% tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário, sendo 41,75% de seu esgoto manejado de forma adequada, por meio de sistemas centralizados de coleta e tratamento ou de soluções individuais. Do restante, 9,77% é coletado mas não é tratado e 48,48% não é tratado nem coletado.

Existem poucos estudos na área acerca da quantificação dos níveis de elementos- traço nas águas dos lagos Bolonha e Água Preta. Qual a concentração destes elementos nas águas dos lagos? o que é contrastante, devido a importância desses lagos como fonte de abastecimento de água para parte da população da RMB. Dessa forma, conhecer qual a concentração dos elementos-traço nas águas dos lagos Bolonha e Água Preta é fundamental para sanar as lacunas no conhecimento científico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as concentrações de elementos-traço nas águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta, localizados na microbacia hidrográfica do Murucutu, em relação a sazonalidade da região.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar bibliografia acerca da qualidade da água dos lagos Água Preta e Bolonha, situados no município de Belém-PA;
- Quantificar as concentrações de elementos traços (Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Ba e Pb) nas águas superficiais, a fim de identificar áreas de maior acúmulo desses elementos traços;
- Obter dados de pH e turbidez nas águas superficiais e relacionar com os dados dos elementos-traço;
- Verificar a influência da sazonalidade na distribuição dos elementos-traço;
- Relacionar os dados das águas superficiais com a Resolução CONAMA 357/2005;
- Análise de correlação entre os elementos.

3 REFERÊNCIAS DA CONTEXTUALIZAÇÃO

ALVES, L. L.; ALVES, L. L.; OLIVEIRA, R. I. S.; SANTOS, L. X. C.; MELO, L. M. F.; SANTOS, S. S. R. *et al.* Avaliação de metais pesados e poluentes ambientais no Rio do Sal (Nossa Senhora do Socorro-SE) e seu impacto na saúde humana. **Saúde Coletiva (Barueri)**, v. 11, n. 61, p. 5006-5017, 2021. Disponível em:
<https://www.revistas.mpmcomunicacao.com.br/index.php/saudecoletiva/article/view/1207>.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Antropogeomorfologia da bacia hidrográfica do murutucu: abastecimento hídrico, uso e ocupação em Belém-PA. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 34, p. 98-122, 2015. DOI: 10.5380/raega.v34i0.37539. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/37539/26217>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**; 2005, 27p. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

CARVALHO, F. I. M.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2221-2241, 2015. Disponível em:
<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/1070>.

Instituto Trata Brasil. **Ranking do saneamento**. 2022. Disponível em:
<https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2022/>.

PANTOJA, M. A. L.; RIOS, E. G.; PEREIRA, B. W. F.; CORRÊA, D. L.; SOARES, J. A. C.; FIGUEIREDO, D. B. Detecção de canais e rios impactados pelo despejo irregular de efluentes na cidade de Belém. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26, 2014, Gramado-RS. **Anais**.

RODRIGUES, N. B.; VIEIRA, F. A.; MENDES, L. D. Elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos como geoindicadores de mudanças ambientais antropogênicas em sistema fluvial da Baixada Fluminense. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. e171126-e171126, 2021. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.171126. Disponível em:
<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/171126>.

ZULIANI, D. Q.; ABREU, L. B.; CURI, N.; CARVALHO, G. S.; COSTA, A. M.; MARQUES, J. J. Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da bacia do rio das mortes, minas gerais. **Holos**, [S.L.], v. 4, p. 308-326, 19 set. 2017. DOI 10.15628/holos.2017.5451

4 CAPÍTULO I

Artigo nas normas da Revista Brasileira de Geografia Física, submetido em maio de 2023 e encontra-se em avaliação.

Qualis CAPES (2017-2020): área Zootecnia/Recursos Pesqueiros – A2
Scopus: 17%

IMPACTO URBANO NAS ÁGUAS DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA (BELÉM, PARÁ): UM ESTUDO DE CASO ENTRE OS ANOS DE 2011 E 2022.

RESUMO

No município de Belém, capital do estado do Pará, encontra-se os Lagos Água Preta e Bolonha, utilizados como fonte de fornecimento de água para parte da população da Região Metropolitana de Belém (RMB). Apesar da importância destes mananciais, a área da bacia do rio Murucutu encontra-se antropizada, principalmente devido aos impactos causados pelo crescimento urbano. Partindo dessa premissa, este trabalho teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico referentes a qualidade da água dos Lagos Água Preta e Bolonha, e compreender como as ações humanas comprometem a manutenção desses recursos. Para a execução do estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica em publicações científicas, nacionais e internacionais, indexada nas bases de dados SCIELO e Google Acadêmico, entre o período de 2011 e 2022. Foram encontrados 17 trabalhos referentes à temática proposta e pode-se notar que os lagos são fundamentais para o abastecimento público da RMB, nos entanto, próximo aos lagos bacia estão localizados vários bairros que causam pressão urbana em seu entorno, situação que causa diversos problemas, tanto sociais quanto ambientais. Falta ainda dados de um programa de monitoramento das águas dos lagos. Contudo, apesar dos fortes impactos ambientais descritos na literatura, os lagos ainda conseguem manter o abastecimento da região.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Região Metropolitana de Belém. Expansão urbana.

URBAN IMPACT ON THE WATER OF LAKES BOLONHA AND ÁGUA PRETA (BELÉM, PARÁ): A CASE STUDY BETWEEN THE YEARS 2011 AND 2022.

ABSTRACT

In the municipality of Belém, capital of the state of Pará, there are Lakes Água Preta and Bolonha, used as a source of water supply for part of the population of the Metropolitan Region of Belém (RMB). Despite the importance of these sources, the area of the Murucutu river basin is anthropized, mainly due to the impacts caused by urban growth. Based on this premise, this work aimed to carry out a bibliographical survey regarding the water quality of Lakes Água Preta and Bolonha, and to understand how human actions compromise the maintenance of these resources. For the execution of the study, a bibliographic review was carried out in scientific, national and international publications, indexed in the SCIELO and Google Scholar databases, between the period of 2011 and 2022. It should be noted that the lakes are fundamental for the public supply of the RMB, however, close to the basin lakes are located several neighborhoods that cause urban pressure in their surroundings, a situation that causes several problems, both social and environmental. There is still a lack of data from a lake water monitoring program. However, despite the strong environmental impacts described in the literature, the lakes still manage to supply the region.

Keywords: Environmental impacts. Metropolitan Region of Belem. Urban expansion.

Introdução

A água é recurso natural fundamental à vida e à maioria das atividades produtivas e energéticas desenvolvidas no mundo. Este recurso natural exerce um papel fundamental à vida do planeta e sua escassez pode gerar danos inimagináveis (Melo e Oliveira, 2022). Este recurso encontra-se nas formas líquida, sólida e gasosa, em oceanos, rios, lagos, calotas polares e na própria atmosfera.

Na superfície da Terra a água está distribuída entre água doce e água salgada. Aproximadamente 97,0% correspondem as águas salgadas e 3,0% águas doces, distribuídos em 2,5% de água doce congeladas em geleiras e calotas polares (água em estado sólido) e somente 0,5% em água doce disponível correspondendo a 1,39 bilhões de km³ (Melo e Oliveira, 2022).

A presença na superfície da terra se fundamenta no ciclo hidrológico, cujo resultado é o escoamento de 42.700 Km³/ano de água pelos rios, distribuídos de forma irregular, gerando áreas de notável abundância como, por exemplo, a Amazônia e outras de elevado estresse hídrico como as regiões do norte da África e da Península Arábica (Silva e Pereira, 2019).

No entanto, apesar do conhecimento da importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento das cidades, a poluição desses recursos é uma consequência dessa expansão, isso porque o modo como as cidades são geridas produz altas cargas poluidoras geradas por esgotos domésticos e industriais. O déficit do saneamento básico aliado à expansão das cidades está ligado à degradação qualitativa dos corpos hídricos, sobretudo nas áreas mais urbanizadas do Brasil. Esse quadro resulta em uma situação de ciclo vicioso, em que quanto mais a população cresce nas cidades, maior a demanda por água e a geração de efluentes potencialmente contaminantes (Peixoto et al., 2022).

E a fim de promover ações de planejamento e manejo dos recursos hídricos no Brasil, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH instituída pela Lei Federal N^o 9.433 de 1997, que definiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a gestão dos recursos hídricos que deve ser descentralizada e contar com participação do poder público, dos usuários e das comunidades. A bacia hidrográfica é a unidade ideal para a gestão de recursos naturais e para mitigação do impacto de desastres naturais e de origem antrópica (Carvalho, 2020).

As bacias hidrográficas envolvem explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes. São caracterizadas também por sua grande importância econômica para as populações em geral e em especial por serem, de alguma forma, a intersecção entre os diversos fatores que compõem o meio físico, químico, biológico e antrópico (Santos e D'Esquivel, 2022).

Nesse contexto, com a concepção que a bacia hidrográfica é a unidade de gestão e planejamento dos recursos hídricos, o manejo da bacia deve ser realizado com medidas que tenham como objetivos a implementação de estratégias conservacionistas, melhorias no saneamento ambiental, além da articulação entre todos os instrumentos existentes, logo, o manejo de bacias hidrográficas assegura a manutenção dos usos múltiplos da água e a continuidade da prestação dos serviços fornecidos pelos ecossistemas aquáticos a toda sociedade (Silva et al., 2021).

Porém, o crescimento desordenado das cidades, associado à baixa infraestrutura no saneamento básico, provoca a impermeabilização do solo, facilitando o escoamento superficial em maior intensidade, levando materiais orgânicos e inorgânicos, incluindo nutrientes, em excesso para os rios, ocasionando a degradação do recurso hídrico (Souto et al., 2019).

No município de Belém, capital do estado do Pará, encontra-se a bacia do rio Murucutu, com destaque por conter os lagos Água Preta e Bolonha, utilizados como fonte de fornecimento de água para grande parte da população da Região Metropolitana de Belém (RMB).

Esta bacia também se encontra em uma Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém (RMB), além de conter o Parque Estadual do Utinga (PEUt) que foi criado com o objetivo de proteger os mananciais de abastecimento de água da RMB (lagos Bolonha e Água Preta), a grande extensão e a existência de áreas urbanas ao redor do parque tornam difícil um controle concreto e eficaz do mesmo (Brasil et al., 2021).

Dessa forma, a preocupação com a qualidade da água é constantemente ressaltada em cidades com altas taxas de expansão, infraestrutura deficiente e controle populacional reduzido. Partindo dessa premissa, este trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliográfico referentes a qualidade da água dos lagos Água Preta e Bolonha, situados no município de Belém-PA, e compreender como as ações humanas comprometem a manutenção desses recursos.

Material e métodos

Área de Estudo

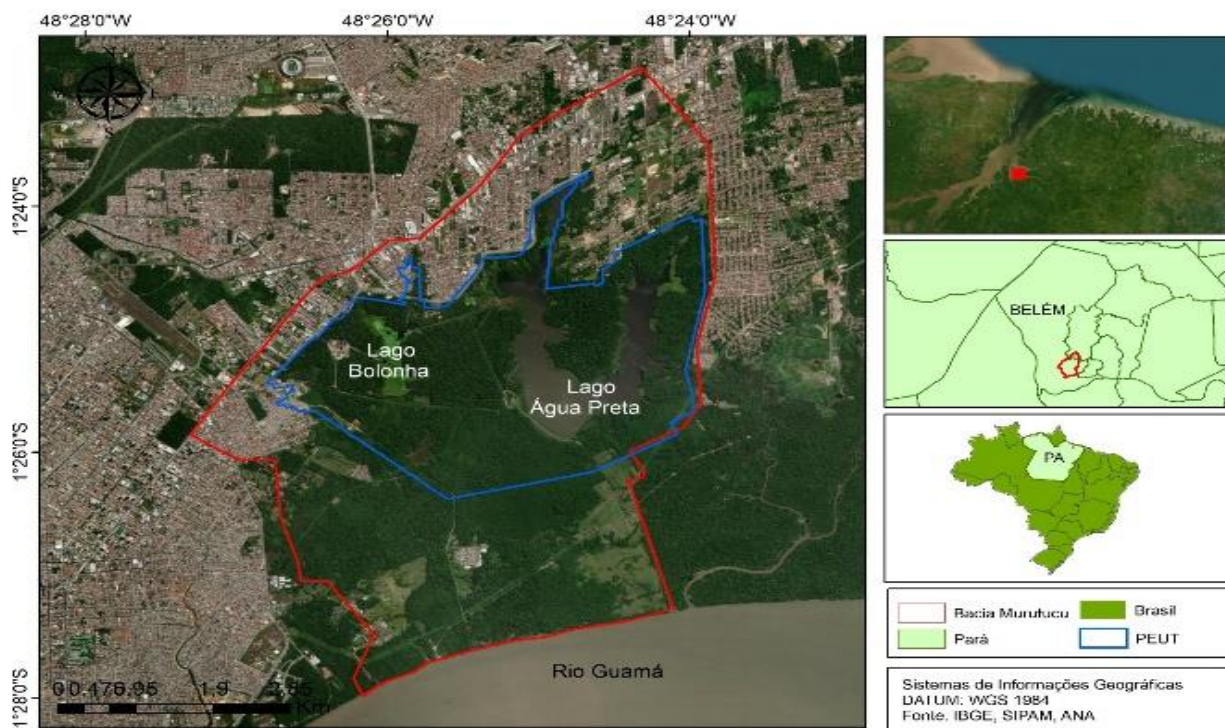
A bacia hidrográfica do Murucutu (Figura 1) está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém, onde tem grande importância socioambiental por englobar o Parque Estadual do Utinga - PEUt, e os lagos Bolonha e Água Preta.

A APA Belém foi criada por meio do Decreto Estadual nº 1.551, de 03 de maio de 1993, com principais objetivos de: a) promover a recuperação das áreas degradadas, incluindo o seu reflorestamento, b) ordenar com base em critérios urbanísticos e ecológicos, o uso do solo, c) assegurar a potabilidade da água dos mananciais,

através da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Bolonha e Água Preta, d) preservar a biodiversidade representada pelas plantas, animais e ecossistemas das florestas de várzea, igapó e terra firme, remanescentes e em estágio de sucessão, e promover sua recuperação e, e) preservar o Sítio Histórico do Engenho do Murutucu (Brasil et al., 2021).

Contudo, o processo desordenado de ocupação urbana do entorno do PEUt e as dificuldades ligadas aos aspectos jurídicos e operacionais da gestão ambiental edificam uma discussão sobre as diferentes estratégias de uso do parque urbano na região a partir da sobreposição de territórios e os impactos na paisagem (Souza et al., 2020).

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Murucutu, PEUt, lagos Bolonha e Água Preta (Belém, PA).

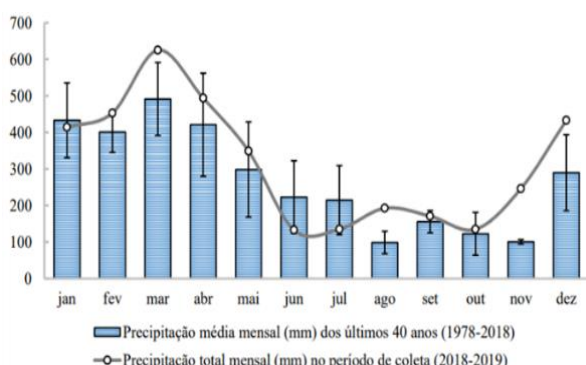


Fonte: Autores.

O clima na Região Metropolitana de Belém, segundo a classificação de Köppen é tropical úmido, caracterizado por chuvas abundantes durante o ano todo com precipitação média anual acima de 2000 mm, onde independentemente do mês, a precipitação mensal na região é superior a 60 mm, além da ausência de um período seco definido (Viana et al., 2020).

Varela et al. (2020) descreveram a precipitação entre os anos de 2018 e 2019 e compararam com a série dos últimos 40 anos (Figura 2) para o município de Belém, com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação pluviométrica de Belém-PA, e observaram a influência direta da sazonalidade local nos dados de temperatura e oxigênio dissolvido nas águas do rio Guamá.

Figura 2: Precipitação pluviométrica no município de Belém, com o total mensal no período de estudo (2018 a 2019) e a média mensal dos últimos 40 anos (1978 a 2018).



Fonte: Varela et al., 2020.

A cidade de Belém está localizada na embocadura de um braço do delta Amazônico, na Baía do Guajará, próximo à linha do Equador, às margens da Baía do Guajará e do rio Guamá, distante 120 quilômetros do mar no estuário do rio Pará (Alencar et al., 2019).

A bacia hidrográfica do rio Guamá, que passa por um acentuado processo de degradação de seus recursos, ocasionado por ações antrópicas. A bacia está situada entre os paralelos 2°40'S e 0°40'S e meridianos 48°45'W e 46°45'W e inserida na Região Hidrográfica Costa Atlântica - Nordeste, segundo a resolução nº 04/2008 do Conselho de Recursos Hídricos do Estado do Pará, mostrando-se como área de grande circulação econômica, composta pela Região Metropolitana de Belém (RMB) e outros municípios com desenvolvimento voltado a indústria, mineração, comércio e agropecuária (Rocha e Lima, 2022).

O rio Capim é o principal afluente do rio Guamá, drenando uma menor área do território maranhense, e os rios Moju e Acará apresentam sua foz integrada a do rio Guamá, todos com regime de maré associado (Dias e Lima, 2019; Ferreira et al., 2020). De modo geral, a unidade hídrica que compõe a totalidade da bacia do rio Guamá é formada por um conjunto de microbacias, que dadas as suas dimensões, têm comportamento e dinâmicas próprias (Rocha e Lima, 2022).

A água bruta do rio Guamá é bombeada e aduzida para o lago Água Preta (cerca de 9.905.000.m³), seguida de descarga de água para o lago Bolonha (cerca de 1.954.000 m³) por gravidade (Oliveira et al., 2018). Além disso, o lago Bolonha também recebe água de chuva, água subterrânea e água drenada em sua bacia hidrográfica (rio Aurá, trecho dos igarapés Tucunduba e Uriboquinha, sub-bacias dos rios Murucutum e Água Preta). Juntos, estes lagos são responsáveis pelo abastecimento de água de 70% da população de Belém e 30% da população de Ananindeua (Mourão e Pereira, 2020).

Gonçalves et al. (2015) descreveram a caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta, obtidos por técnicas de geoprocessamento (tabela 1), como:

- A microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta tem configuração geométrica não circular;
- A bacia tende a ser mais alongada, o que favorece o processo de escoamento superficial;
- O índice de sinuosidade indicou que a microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta apresentaram possibilidades de acúmulo de sedimentos ao fundo de seu corpo d'água;
- A baixa densidade de drenagem da bacia possibilita o menor escoamento de águas da chuva para o interior da bacia.

Os lagos são utilizados para três finalidades principais: a) armazenar água durante o período de menores precipitações pluviométricas, quando a demanda de água pela população é aproximadamente igual ao volume distribuído; b) diluir as maiores concentrações de cloreto da água do rio Guamá, se houver e c) melhorar a clarificação da água armazenada, devido à sedimentação (Rodrigues e Matos, 2018).

Os lagos Água Preta e Bolonha estão comprometidos pela eliminação desenfreada da cobertura vegetal, a qual aumenta o escoamento superficial e o carreamento de sedimentos para os lagos, a isso soma-se também o acúmulo e

lançamento irresponsável de resíduos (sólidos e líquidos) pelas populações residentes dos novos bairros periféricos, surgidos às proximidades dos mananciais de abastecimento (Rodrigues e Matos, 2018). A redução da vegetação ao entorno dos lagos Bolonha e Água Preta, devido à pressão urbana, aumentou o escoamento superficial, além de transportar mais sedimentos para os lagos, impactando diretamente suas qualidades (Castro, 2020).

Tabela 1: Características dimensionais da microbacia dos lagos Bolonha e Água Preta.

| Parâmetros morfométricos | Resultados calculados |
|---|-----------------------|
| Coefficiente de compacidade (kc) | 1,71 |
| Fator de Forma (Ff) | 0,27 |
| Índice de circularidade (Ic) | 0,34 |
| Densidade de drenagem (Dd) (Km/Km ²) | 0,28 |
| Índice de sinusiosidade (Is) | 1,43 |
| Dados obtidos | Valor |
| Área da bacia | 29,42 |
| Perímetro da Bacia (Km) | 33,15 |
| Comprimento do rio principal (Km) | 14,99 |
| Declividade máxima (%) | 11,78 |
| Declividade mínima (%) | 0,65 |
| Declividade média (%) | 6,21 |
| Altitude máxima (m) | 197 |
| Altitude mínima (m) | 159 |
| Altitude média (m) | 179,56 |
| Amplitude (m) | 38 |
| Ordem da bacia | 3 |

Fonte: Gonçalves et al., 2015.

Apesar dos esforços institucionais para minimizar os impactos nos mananciais, várias modificações no ambiente natural próximo ao lago Bolonha foram identificadas nos últimos dez anos, sendo elas: expansão urbana desordenada, falta de infraestrutura em saneamento, extensão da Avenida João Paulo II e obras de engenharia no Parque Ambiental do Utinga (Mourão e Pereira, 2020).

Outro fator preocupante atrelado a qualidade da água dos lagos Bolonha e Água Preta é a falta de rede coletora de esgoto sanitário, pois o esgoto bruto é lançado diretamente no solo e na rede de microdrenagem de águas pluviais. Apesar de vários moradores terem cavado fossas sanitárias, a maioria das pessoas não possui nenhuma rede de eliminação de efluentes de armários ou cozinhas. O esgoto atinge frequentemente os corpos d'água da APA Belém, e a falta de coleta de esgoto sanitário também pode contaminar as águas subterrâneas com grandes riscos para os habitantes que consomem a

água e para os lagos que podem ser contaminados pelo aquífero subterrâneo (Mourão e Pereira, 2020).

As concentrações de nutrientes e matéria orgânica encontradas nos sedimentos do lago Água Preta foram em áreas com o entorno intensamente urbanizado, apontando o lançamento de esgotos domésticos e industriais como a fonte de maior contribuição de nitrogênio e fósforo para o manancial (Oliveira et al., 2018).

Levantamento bibliográfico

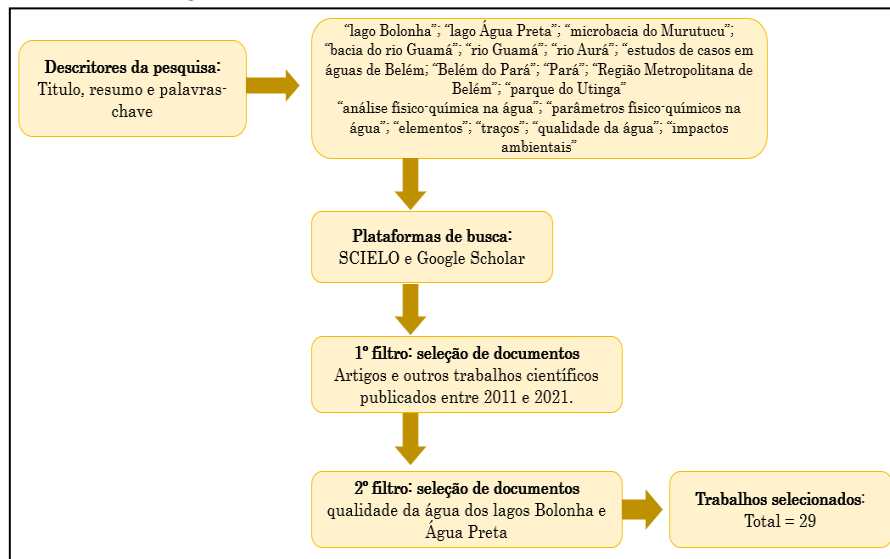
Para a elaboração dessa pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática das publicações científicas sobre a qualidade da água das bacias hidrográficas no estado do Pará. Foram delimitadas as bases de dados internacionais de produção científica a serem utilizadas na busca dos artigos, sendo: *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e *Google Scholar*. Também foi realizada uma pesquisa de literatura cinzenta, que inclui teses e dissertações, anais de conferências, boletins informativos, entre outros, além de buscar informações em livros e legislações pertinentes a temática.

Como filtro da busca, foi utilizado a data de publicação (01 de janeiro 2011 a 31 de dezembro de 2022) e o idioma (português e inglês). De todos os artigos e demais literaturas que foram retornadas, avaliaram-se também os títulos, resumo e palavras-chave, tendo como propósito a inclusão e/ou exclusão (trabalhos que não estavam relacionados com o escopo do presente estudo). Ao fim desse processo, 29 trabalhos científicos se enquadraram nos parâmetros de amostragem da revisão sistemática (Figura 3). Com base na aplicação de descritores bibliométricos em ambas as plataformas de dados – SCIELO e *Google Scholar* – foi recuperado um total de 17 artigos.

A distribuição desses documentos (ordenados por ano de publicação) é explorada na figura 4, mostrando um avanço na pesquisa desse tema ao longo dos anos. Observa-se que o maior número de publicações, foi registrado nos anos de 2015 e 2020, e artigo foi encontrado para os anos de 2016, relacionado a qualidade da água e ambiental.

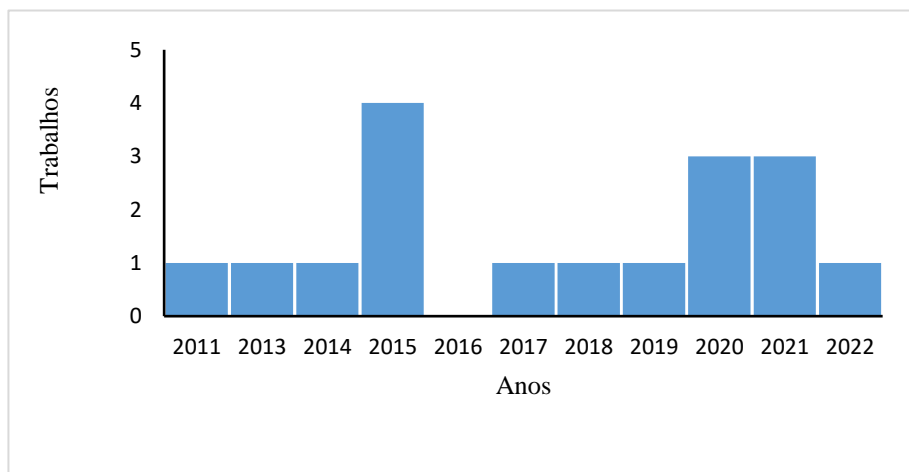
Esse aumento do número de estudos sobre a qualidade dos lagos Bolonha e Água Preta, pode estar relacionado a expansão urbana desordenada no entorno dos lagos, somado também a degradação ambiental e mudanças climáticas e como estes fatores afetam a dinâmica dos mananciais que abastecem grandes regiões metropolitanas.

Figura 3: Procedimentos estabelecidos para executar levantamento bibliográfico sobre a qualidade da água dos Lagos Bolonha e Água Preta.



Fonte: Autores.

Figura 4: Evolução temporal das publicações da qualidade da água e ambiental dos lagos Bolonha e Água Preta.



Fonte: Autores.

Resultados e discussão

Qualidade da Água

Qualidade da água é um termo geral usado para descrever uma ampla gama de características físicas, químicas e biológicas. Estes incluem sua cor e sabor, bem como a concentração de sólidos suspensos, temperatura, pH, alcalinidade, as concentrações de nutrientes naturais, matéria orgânica e íons minerais, concentrações de metais potencialmente tóxicos e compostos orgânicos sintéticos, concentração de oxigênio dissolvido e a presença de micróbios derivados de fezes, incluindo patógenos humanos e animais (Whelan et al., 2022).

CETESB (2021) descreve o significado ambiental de variáveis físicas, químicas, biológicas e microbiológicas relacionadas a qualidade da água, e algumas variáveis são descritas abaixo:

- Cor: a cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população.

- Condutividade: a condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados.

- Série de sólidos: nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e

cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas.

- Temperatura: variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canaveiras, por exemplo) e usinas termoeletricas.

- Transparência: a partir da medida do disco de Secchi, é possível estimar a profundidade da zona fótica, ou seja, a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna de água, que indica o nível da atividade fotossintética de lagos ou reservatórios.

- Turbidez: alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

- Alcalinidade: alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas (eutrofização), sendo que em período de intensa insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades. A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais decorre da descarga de efluentes de indústrias, onde se empregam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada. Em águas tratadas, pode-se registrar a presença de alcalinidade de hidróxidos em águas abrandadas pela cal.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO: a DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da

DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

- Fósforo total: o fósforo aparece em águas naturais devidos, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

- Oxigênio dissolvido: num corpo de água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação.

- Potencial Hidrogeniônico – pH: a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do Estado de São Paulo. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

- Série de Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrato e nitrito): as fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias,

matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização.

A qualidade da água é controlada naturalmente pela quantidade e origem da precipitação e pelo contato entre a água e a vegetação, o solo e a rocha por onde ela percorre os caminhos hidrológicos até os aquíferos, córregos, rios e lagos, além de fatores antropogênicos. Estes incluem a emissão acidental e intencional de resíduos industriais e municipais e águas residuais (que podem conter uma variedade de poluentes), transferências de fontes difusas de poluentes de áreas agrícolas e urbanas e deposição atmosférica de poluentes transportados pelo ar (CETESB, 2021).

Essas influências antropogênicas variam no espaço e no tempo. No curto prazo, variam com os padrões climáticos, como chuva e evapotranspiração, que controlam a sazonalidade do déficit hídrico do solo, a magnitude e os caminhos do escoamento e a vazão do rio (que fornece diluição e influencia a temperatura da água). A médio e longo prazo, variam com o tamanho da população, tipo e intensidade da atividade industrial, provisão e tipo de tratamento de águas residuais, natureza e escala do desenvolvimento urbano, projetos de esgoto e com as práticas agrícolas ou florestais predominantes (CETESB, 2021).

Nesse contexto, os parâmetros da qualidade da água funcionam como uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. No Brasil a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Esta resolução enquadra os corpos d'água em águas doces, salobras e salinas, conforme os valores de salinidade, e

classifica em classe especial, classe 1, classe 2 e classe 3, conforme seu uso.

Lagos Bolonha e Água Preta

As águas dos lagos Bolonha e Água Preta foram enquadradas dentro da Resolução CONAMA 357/2005 como águas doces (águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰), classe II (Vasconcelos e Souza, 2011; Silva et al., 2014; Brito et al., 2020). Esta classe é descrita dentro da referida Resolução como águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

As águas dos lagos Bolonha e Água Preta se enquadram nas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.

O tratamento da água oriunda dos lagos é feito na Estação de Tratamento de Água - ETA Bolonha, ela foi projetada com uma capacidade nominal de 6,4 m³.s⁻¹ e é responsável pelo abastecimento da maior parte da Região Metropolitana de Belém - RMB. É uma ETA de ciclo completo e foi implantada em duas etapas. A primeira (1^a) foi inaugurada em 1986 e a segunda (2^a) em 2010, ambas com capacidade nominal de 3,2 m³.s⁻¹ (Chaves et al., 2021).

As seguintes etapas de tratamento da água são empregadas na ETA Bolonha (Fenzel et al., 2018):

- a) Unidade de mistura rápida: um coagulante, geralmente sulfato de alumínio, é misturado na água num tempo muito curto e de forma homogênea;
- b) Unidade de floculação: o coagulante transforma as impurezas que se encontram em suspensão, em estado coloidal e dissolvidas, em partículas que possam ser removidas por sedimentação ou filtração;
- c) Unidade de decantação: após passar pela câmara de floculação os flocos com densidade maior sedimentam por gravidade no fundo dos tanques de decantação;
- d) Unidade de filtração: as impurezas que não são decantadas podem ser retidas nos leitos

filtrantes, que geralmente são de areia, ou antracito ou outro material;

e) Unidade de Desinfecção: as bactérias patogênicas e outros microorganismos são eliminados, tornando a água potável atendendo as normas do Ministério da Saúde.

Os parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga foram caracterizados com dados obtidos entre janeiro de 2007 e setembro de 2009, em três pontos, ponto 1 às margens do rio Guamá, na estação de captação, o segundo foi retirado na parte central à esquerda do lago Água Preta, e o terceiro localizado no lago Bolonha na parte central. Os resultados obtidos mostraram que a população residente nas proximidades do lago Bolonha apresentava deficiência de atendimento em relação ao saneamento básico. Valores das variáveis cor e turbidez dos lagos Bolonha e Água Preta aumentaram nos meses de maior precipitação, e o aumento dos valores desses parâmetros foi relacionado à maior produção de resíduos sólidos, esgotos e poluentes que eram lançados no corpo d'água ou levados pelas chuvas até os lagos (Vasconcelos e Souza, 2011).

A influência da expansão urbana na qualidade da água do lago Água Preta foi avaliada com base de dados físicos e químicos e também com a aplicação do índice de estado trófico - IET. As águas superficiais foram caracterizadas como típicas de regiões tropicais, sem variações térmicas acentuadas entre os períodos sazonais da região, e com valores de pH da região Amazônica (Santos et al., 2013).

O IET tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias. Três variáveis são utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico: clorofila *a*, fósforo total e transparência da água. No entanto, apenas duas clorofila *a* e fósforo total são utilizados, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, além de muitas vezes não se dispor desses dados (CETESB, 2021).

O IET permite classificar os corpos de água nos seguintes graus de trofia (CETESB, 2021):

- IET ≤ 47 - Ultraoligotrófico;
- 47 < IET ≤ 52 - Oligotrófico;
- 52 < IET ≤ 59 - Mesotrófico;
- 59 < IET ≤ 63 - Eutrófico;

- $63 < IET \leq 67$ - Supereutrófico;
- $IET > 67$ - Hipereutrófico.

As características do estado trófico foram descritas por Barreto et al. (2013):

- Ultraoligotrófico: Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.

- Oligotrófico: Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.

- Mesotrófico: Corpos de água com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

- Eutrófico: Corpos de água com alta produtividade e redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.

- Supereutrófico: Corpos de água com alta produtividade, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água, como florações de algas e interferências nos seus múltiplos usos.

- Hipereutrófico: Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila *a*, IET(CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas. Assim, o índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo. Deve-se ter em conta que num corpo hídrico, em que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila *a* certamente coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila *a* irá refletir esse fato, classificando o estado trófico em um nível de

menor trofia àquele determinado pelo índice do fósforo (CETESB, 2021).

O lago Água Preta foi descrito como um ambiente eutrófico, e foi ressaltado que medidas como manejo e preservação através da identificação e tratamento de fontes pontuais e não pontuais de poluição eram necessárias para que as condições ambientais naturais deste recurso hídrico não fossem modificadas (Santos et al., 2013).

No processo de apropriação e uso dos recursos hídricos a sociedade acaba por alterar a qualidade da água de ecossistemas aquáticos, provocando assim, a degradação ambiental. Dentre os problemas ambientais gerados tem-se a eutrofização. O processo de eutrofização é considerado atualmente como um problema existente em diversos ecossistemas aquáticos no mundo, pois atinge lagos, represas, rios e águas costeiras de todo planeta, constitui um problema ambiental significativamente difundido. A eutrofização tem gerado inúmeras perdas da biodiversidade, redução da qualidade da água e, por sua vez, baixa disponibilidade e, conseqüentemente, tem provocado riscos à saúde humana e de animais (Santos e Medeiros, 2023).

Os efeitos causados pela eutrofização cultural ou artificial foram descritos por Smith e Schindler (2009), para lagos, reservatórios, rios e ecossistemas costeiros:

- Aumento da biomassa de fitoplâncton e vegetação macrófita;
- Aumento da biomassa de espécies consumidoras;
- Mudanças para espécies de algas formadoras de floração que podem ser tóxicas ou não comestíveis;
- Aumento de *blooms* de zooplâncton gelatinoso (ambientes marinhos);
- Aumento da biomassa de algas bentônicas e epífitas;
- Mudanças na composição de espécies da vegetação macrófita;
- Declínios na saúde dos recifes de coral e perda de comunidades de recifes de coral;
- Aumento da incidência de mortes de peixes;
- Reduções na diversidade de espécies;
- Reduções na biomassa de peixes e mariscos colhidos;
- Diminuição da transparência da água;
- Problemas de sabor, odor e tratamento de água potável;
- Depleção de oxigênio;
- Diminuição do valor estético percebido do corpo d'água.

No Brasil e também em grande parte dos países em desenvolvimento, a falta de saneamento básico adequado tem caracterizado um quadro de possibilidade e contribuição para que o processo de eutrofização ocorra com mais significância. A existência de efluentes domésticos e/ou industriais lançando, diretamente, sem tratamento prévio, material nos cursos de água é um dos variados exemplos. Tais aportes de matéria orgânica e poluentes tem contribuído para a eutrofização em diversos ambientes aquáticos (Santos e Medeiros, 2023).

Entre os efeitos da eutrofização o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, toxicidade de algas, morte maciça de peixes e crustáceos selvagens e de criação; doenças e mortes de aves marinhas e mamíferos, mudanças de habitat e estrutura nutricional, questões estéticas e recreativas, consumo de oxigênio dissolvido, aumento de custos, redução da capacidade de transporte, além de causar a contaminação das águas para o consumo humano (Gadelha et al., 2022).

O crescimento das algas pode causar vários problemas, como gosto e odor desagradáveis, entupimento de filtros e promoção do aparecimento de precursores de subprodutos da desinfecção, ocasionando o declínio na qualidade da água potável. A remoção de algas em sistemas de tratamento de água é difícil devido ao seu tamanho pequeno e baixa densidade específica. Vários relatórios de pesquisa afirmam que o pré-tratamento com oxidantes como ozônio, cloro, permanganato de potássio e ferrato de potássio pode melhorar o processo de coagulação e remover algas e outras substâncias (Gadelha et al., 2022).

A avaliação da qualidade das águas superficiais dos lagos também foi feita com a aplicação do Índice de Qualidade da Água – IQA (Silva et al., 2014).

O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. São utilizados nove parâmetros no cálculo do IQA (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total e resíduo total), que refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. É importante também salientar que este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas. Os valores

do IQA variam entre 0 e 100 e indicam (CETESB, 2021) que a água pode ser considerada como:

- 79 a 100 - Ótima;
- 51 a 79 - Boa;
- 36 a 51 - Regular;
- 19 a 36 - Ruim;
- 0 a 19 - Péssima.

Os valores de IQA encontrados para os lagos ficaram entre aceitáveis e ótimo. No entanto parâmetros, como por exemplo, o fósforo total, as concentrações ficaram fora ao estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 para ambientes lênticos, águas doces, Classe 2, até 0,030 mg/L P (Silva et al., 2014).

Araújo Júnior (2015a) mostrou a partir de indicadores da qualidade da água os impactos do uso do solo nas proximidades do lago Bolonha. Segundo o autor, o espelho d'água do lago vem sendo tomado por macrófitas, a espécie encontrada no lago é predominantemente de aguapés (*Eichhornia crassipes Solms*) e seu surgimento pode estar ligado tanto a própria dinâmica do meio físico ou quanto ao aporte de nutrientes em razão da ocupação 'desordenada' as margens do lago, ou as duas atuando conjuntamente. Essa proliferação de macrófitas em altas densidades podem comprometer a qualidade das águas destes lagos, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. Também descreveram que no período de 1960-1990 a cidade de Belém e sua região metropolitana tiveram um "progresso" em ritmo acelerado, provocando distorções na ocupação da terra, no planejamento e, mormente, nos sistemas de saneamento básico, os quais não conseguiam acompanhar este ritmo.

Mudanças no lago Bolonha, no período de 1998 a 2010, foram descritas com a utilização de técnicas de geoprocessamento e levantamentos bibliográficos, foi verificado uma alta ocorrência de macrófitas nesse lago o que evidenciou a concentração de nutrientes propiciadores à sua proliferação, os quais comprometem a rede de abastecimento hídrico, uma vez que a decomposição de matéria orgânica ocasiona a desoxigenação da água, tornando-a menos adequada a ingestão humana, pois está agora passa a ser composta por outras substâncias que em excesso podem comprometer seus consumidores (Araújo Júnior, 2015b).

O Sistema de Informação Geográfica-SIG foi utilizado na modelagem da microbacia hidrográfica dos mananciais Bolonha e Água Preta e a qualidade da água também foi avaliada para subsidiar ações eficazes no que tange o gerenciamento dessa microbacia, por meio de cálculos dos parâmetros morfométricos, da

qualidade da água e do índice de estado trófico. Os índices de forma e de compacidade apontaram que a bacia não estaria propensa a enchentes, enquanto, o índice de circularidade expos que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o escoamento superficial. Também foi detectado a partir de análises química da água, valores fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para oxigênio dissolvido, fósforo total e clorofila- α , salientando uma forte intervenção antrópica ao longo da bacia, que por meio do índice de estado trófico- IET indicou um ambiente hipertrófico (Gonçalves et al., 2015).

Quanto ao uso e ocupação do solo, o mapa gerado mostrou que a bacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta possui uma área urbana somada à área desmatada equivalente a 43% da área total da bacia, o que demonstrou a pressão antrópica nos lagos (Gonçalves et al., 2015).

O comportamento do transporte de fósforo no lago Água Preta, foi analisado por meio de simulação obtida pela solução numérica da equação de advecção-difusão-reação, que é a base do modelo de transporte de poluentes, bem como outros fenômenos de transporte em ambientes hidrodinâmicos. O resultado obtido indicou a necessidade de informações mais densas para uma análise quantitativa mais precisa do processo em questão. No entanto, eles indicaram que o fósforo inserido pelo rio Guamá é consumido em uma área próxima à montante, antes que chegue à saída do reservatório. Além disso, a simulação indicou que o principal fornecedor de fósforo na água, saindo do lago, são os esgotos domésticos lançados pela população (Lima et al., 2015).

Técnicas de sensoriamento remoto e análises de qualidade de água, foram aplicadas para os anos de 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015. A perda de cobertura hidrográfica foi observada de 1,48 Km² de 1984 a 2015, foi descrito que muitas áreas que antes apresentavam vegetação secundária em 2015 estavam ocupadas por áreas urbanizadas e vegetação primária, neste último caso consequência da regeneração (Gutierrez et al., 2017).

As transformações socioambientais na bacia hidrográfica do Utinga, com ênfase para os lagos Bolonha e Água Preta, foram observadas e relacionadas as ocupações desordenadas, um dos causadores da contaminação da referida bacia (Rodrigues e Matos, 2018).

A qualidade da água foi avaliada durante um ano, em cinco pontos distribuídos ao longo do sistema de captação do Bolonha: Ponto 1 – rio Guamá; Ponto 2 – caixa de transição onde ocorre

à mudança de água de conduto forçado para livre; Ponto 3 – lago Água Preta; Ponto 4 – lago Bolonha; Ponto 5 – entrada da Estação de Tratamento de Água -ETA do Bolonha. Calcularam o IQA e o IET, e o valor da média do IQA classificou a qualidade das águas como regulares e, os valores da média do IET entre eutrófico e supereutrófico. Apesar dos fortes impactos ambientais que ocorrem na área dos mananciais que são utilizadas no abastecimento público da RMB, observaram que a capacidade de autodepuração e renovação ainda são mantidos. No entanto, ressaltaram a necessidade dos órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, devem continuar trabalhando para torná-la uma fonte viável de água (Silva et al., 2019).

A quantidade da carga poluidora gerada diariamente no lago Bolonha, decorrente do recebimento do esgoto bruto sem tratamento ocasionado pelas moradias irregulares dentro do Parque do Utinga e da população do entorno do parque que não dispõe da cobertura do serviço de rede coletora de esgoto, foi estimada. Em 21 pontos de lançamento catalogados, foi observado uma carga poluidora de 1,16 toneladas DBO/dia. Também foi constatado que a menor profundidade do lago era de 0,96 metros e a máxima de 1,54 metros, com média de 1,30. Conforme o coeficiente de atenuação vertical K médio e seus limites, o lago foi enquadrado como eutrófico, pois apresentou K acima de 0,53 (Brito et al., 2020).

Dados de variáveis físico-químicas (pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido e verificação da transparência e profundidade da água) das águas do lago Bolonha, comprovaram os agravantes das inferências antrópicas na qualidade da água, os resultados apontaram o estado de eutrofização devido ao lançamento indiscriminado de esgoto bruto proveniente das moradias irregulares dentro do PEUt e dos bairros do entorno que contribuem para alteração da qualidade da água bruta (Brito et al., 2020).

Os resultados das análises físico-químicas foram comparados com a Resolução CONAMA 357/2005, os parâmetros de cor estão fora do recomendado e as demais se apresentaram em conformidade legal, entretanto, há a necessidade de realizar um monitoramento constante, visto que houve disparidades entre os valores dos parâmetros analisados em horários diferentes, logo, aumentar o período de amostragem da qualidade da água é essencial para conhecer o comportamento espaço-temporal das variáveis físico-químicas. A elevada coloração nas águas superficiais indicou a presença de elementos como

ferro, manganês, além de húmus (matéria orgânica mineralizada proveniente da degradação de matéria de origem vegetal). As implicações dos elevados valores de cor sobre o processo de tratamento da água foram destacadas, que acaba sendo mais minucioso, e, conseqüentemente, oneroso (Brito et al., 2020).

Um dos problemas relacionados à qualidade da água é a eutrofização. Muitos ecossistemas aquáticos têm padecido desse problema que consiste em grandes aportes de fósforo e nitrogênio introduzidos no leito de rios, por exemplo, por meio de efluentes domésticos e/ou industriais. Esse contexto de alteração da qualidade da água pela ação humana desencadeia o crescimento significativo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos, provocando assim, um desequilíbrio na dinâmica do ecossistema aquático, bem como prejuízos também para a sociedade (Santos e Medeiros, 2023).

A comunidade fitoplanctônica, como as macrófitas, podem ser utilizadas como um indicador da má qualidade ambiental do local, principalmente em reservatórios, onde a análise da sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes de alterações ambientais. No lago Bolonha, a proliferação intensa de macrófitas pode ser evidenciada no processo de eutrofização artificial, o que compromete o abastecimento hídrico, uma vez que a qualidade da água pode ser afetada pelo aporte de nutrientes como fósforo e nitrogênio (Souza et al., 2020). A proliferação das macrófitas também afeta os serviços culturais dos lagos, como a recreação, por degradarem a estética paisagística (Silva et al., 2022).

Os índices ecológicos foram aplicados no reservatório Bolonha (Belém, Pará) em dois períodos sazonais da região amazônica, novembro/2018 (seco) e maio/2019 (chuvoso), em um ponto de entrada da estação de tratamento de água- ETA. O mês chuvoso apresentou a maior riqueza de espécies (80 espécies), maior densidade ($231,0 \text{ ind.L}^{-1}$), maior diversidade ($H=2,6 \text{ bits.ind}^{-1}$), maior equitabilidade ($E=0,8$) e menor dominância ($D=0,1$). As classes de maior representatividade de espécies para o mês seco foram Bacillariophyceae (33%), Cyanophyceae (21%), Chlorophyceae (17%), enquanto no mês chuvoso foram Chlorophyceae (27%), Cyanophyceae (19%) e Bacillariophyceae (15%). Porém, as cianobactérias (Cyanophyceae) foram mais densas em ambos os períodos com média de $167,0 \text{ ind.L}^{-1}$ e $97,0 \text{ ind.L}^{-1}$, nos meses de novembro/2018 e maio/2019, respectivamente. As cianobactérias encontradas em maior densidade e abundância foram descritas como tipicamente

bentônicas e emergem para o plâncton devido à interação sedimento-água, evidenciando que o reservatório é raso e sofre movimentos de revolvimento devido a um canal de escoamento localizado no leito do reservatório Bolonha. Os autores destacaram que o monitoramento do fitoplâncton deve ser intensificado nos meses menos chuvosos com ênfase nas cianobactérias (Souza et al., 2020).

A evolução das ações antrópicas nas proximidades do lago Bolonha, entre os anos de 2010 e 2020 foi descrita, e os resultados demonstraram que a expansão urbana reduziu a mata ciliar e ocasionou lançamento de esgoto sanitário nos lagos, o que pode comprometer a sua capacidade de autodepuração a médio e longo prazo, portanto, aumentando o risco de poluição/contaminação no lago Bolonha. Foi concluído que o poder público precisa desenvolver e intensificar ações para evitar novas ocupações irregulares, implantar sistema de esgotamento sanitário e recompor a mata ciliar na área do entorno, já que a proteção do lago Bolonha é essencial para o sistema de abastecimento de água potável de cerca de 1.000.000 habitantes dos municípios de Belém e Ananindeua que compõem a RMB (Mourão e Pereira, 2020).

A utilização do IET, classificou o lago Bolonha como um ambiente eutrófico tanto no período chuvoso, quanto no menos chuvoso. Para mitigar a eutrofização do lago foi recomendado implementar e expandir a rede coletora de esgoto e a coleta adequada de resíduos sólidos ao entorno do manancial (Oliveira et al., 2021).

A consequência na saúde pública do despejo de esgoto bruto no parque foi verificada, foi encontrada a presença de parasitos patogênicos nas amostras de água do manancial Utinga e foi ressaltado a necessidade da realização do monitoramento da qualidade da água, quanto aos parâmetros parasitológicos e adoção de medidas preventivas que reduzam os riscos de transmissão de parasitos e de agravos para a saúde pública (Fernandes et al., 2021).

A ocorrência de drogas e desreguladores endócrinos na água de abastecimento e na água para consumo humano, foi verificada com baixo risco de exposição humana a tais contaminantes através da ingestão de água tratada. Também foram descritos dados de parâmetros abióticos das águas do Bolonha, e um aumento na concentração mediana dos parâmetros cor aparente, turbidez e condutividade elétrica no período chuvoso de 112%, 85%, e 82% em relação ao período seco, foi explicado pelo aumento do escoamento superficial, com conseqüente carreamento de

sólidos, causado pela intensa chuvas típicas da região (Teixeira et al., 2021).

O estado trófico dos lagos Bolonha e Água Preta também por avaliado meio das concentrações de carbono inorgânico dissolvido e oxigênio e os processos heterotróficos identificados durante o estudo eram principalmente produto das contribuições de matéria orgânica da região urbana adjacente (Silva et al., 2022).

De modo geral, na avaliação dos trabalhos que estudaram a qualidade da água dos mananciais de abastecimento de água (lago Bolonha e lago Água Preta), pode-se notar que estes vêm sendo “pressionados” pela RMB, por ter que suprir com água potável de boa qualidade uma área de 2.536,888 km² da qual fazem parte os municípios de Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará somando uma população de 2.581.661 habitantes (IBGE, 2014).

As tabelas 2 e 3 mostram dados descritos nos artigos citados, é possível notar que ainda faltam informações da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, principalmente relacionados a um programa de monitoramento das águas. Também foi observado que fortes impactos ambientais ocorrem na área dos mananciais utilizadas no abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, onde enfatiza-se a necessidade de que os órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, continuem trabalhando para torná-los uma fonte viável de água.

Análises de metais pesados nos lagos foram realizadas somente nos sedimentos. Oliveira et al. (2018) realizaram análises de metais nos sedimentos superficiais do lago Água Preta e descreveram que os metais com maior concentração foram o cromo (245 mg.Kg⁻¹) e o níquel (97 mg.Kg⁻¹), os quais estiveram acima do índice que determina o nível de efeito provável (*Probable Effect Level* — PEL). O trabalho evidenciou o reflexo das pressões antrópicas que o lago Água Preta vem sofrendo ao longo dos anos, mostrando que os sedimentos de fundo se encontram impactados por metais pesados, altas cargas de matéria orgânica e nutrientes.

Tabela 2: Média de dados descritos na literatura para as águas do lago Bolonha.

| Parâmetros/Autores | Vasconcelos e Souza (2011) ¹ | Silva <i>et al.</i> (2014) ² | Oliveira <i>et al.</i> (2021) ³ | Teixeira <i>et al.</i> (2021) ⁴ |
|--|--|---|--|--|
| OD* (mg.L ⁻¹) | 2,98 (2007) 4,51 (2008) 1,49 (2009) | 3,15 | | 4,2 (CH*) 6,0 (MC**) |
| Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃) | 20,91 (2007) 14,20 (2008) 12,00 (2009) | | | |
| Nitrato (mg.L ⁻¹) | 0,19 (2007) 0,22 (2008) 0,13 (2009) | | | |
| pH | | 6,68 | | 5,9 (CH*) 6,3 (MC**) |
| CE** (µS.cm ⁻¹) | | 119,82 | | 85,3 (CH*) 49,6 (MC**) |
| Fósforo total (mg.L ⁻¹) | | 0,95 | 0,33 (CH) 0,24 (MC) | |
| DBO*** (mg.L ⁻¹) | | 0,35 | | |
| Nitrogênio total (mg.L ⁻¹) | | 4,35 | | |
| AT**** (mg.L ⁻¹ CaCO ₃) | | | | 11,5 (CH*) 12,4 (MC**) |
| Temperatura (°C) | | 29,70 | | |
| Turbidez (UNT) | | 11,05 | | 17,00 (CH*) 13,20 (MC**) |
| Transparência (m) | | 0,97 | | |
| Sólidos totais (mg.L ⁻¹) | | 82,19 | | |
| STD***** (mg.L ⁻¹) | | 49,51 | | |
| Cor aparente (uH) | | | | 84,60 (CH*) 40,10 (MC**) |
| Coliforme total (NMP/100 mL) | 8,02 (2007) 16,83 (2008) 9,61 (2009) | 7,06 | | 288 (CH*) 386 (MC**) |

OD* = oxigênio dissolvido; CE**= condutividade elétrica; DBO***= demanda bioquímica de oxigênio; STD*****= sólidos totais dissolvidos; AT****= alcalinidade total; STD*****= sólidos totais dissolvidos.

1 = dados coletados em 2007, 2008 e 2009 ;2 = dados coletados em 2013; 3 = dados coletados em 2017; 4 = dados coletados em 2018.

CH* = Chuvoso; MC**= Menos chuvoso.

Tabela 3: Média de dados descritos na literatura para as águas do lago Água Preta.

| Parâmetros/Autores | Vasconcelos e Souza (2011) ¹ | Santos et al. (2013) | Silva <i>et al.</i> (2014) ² | Teixeira et al. (2021) ⁴ |
|--|--|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| OD* (mg.L ⁻¹) | 3,65 (2007) 4,45 (2008) 2,34 (2009) | 5,1 (CH*) 5,0 (MC**) | 4,71 | (CH*) (MC**) |
| Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃) | 18,00 (2007) 13,40 (2008) 10,57 (2009) | | | |
| Nitrato (mg.L ⁻¹) | 0,15 (2007) 0,16 (2008) 0,18 (2009) | | | |
| pH | | 6,7 (CH*) 6,6 (MC**) | 6,65 | (CH*) (MC**) |
| CE** (µS.cm ⁻¹) | | 63,2 (CH*) 77,8 (MC**) | 42,85 | (CH*) (MC**) |
| Fósforo total (mg.L ⁻¹) | | 0,15 (CH*) 0,18 (MC**) | 1,21 | |
| DBO*** (mg.L ⁻¹) | | | 0,50 | |
| N-amoniaco (mg.L ⁻¹) | | 0,30 (CH*) 0,30 (MC**) | | |
| Nitrogênio total (mg.L ⁻¹) | | | 4,35 | |
| AT***** (mg.L ⁻¹ CaCO ₃) | | | | (CH*) (MC**) |
| Temperatura (°C) | | 31,10 (CH*) 31,30 (MC**) | 30,61 | |
| Turbidez (UNT) | | 11,80 (CH*) 17,50 (MC**) | 13,65 | (CH*) (MC**) |
| Transparência (m) | | | 0,64 | |
| Sólidos totais (mg.L ⁻¹) | | | 80,71 | |
| STD***** (mg.L ⁻¹) | | | 17,01 | |
| Cor aparente (uH) | | | | (CH*) (MC**) |
| Coliforme total (NMP/100 mL) | 12,17 (2007) 28,5 (2008) 8,68 (2009) | | 11 | (CH*) (MC**) |
| Cloreto | | | | |
| Silicato | | | | |
| Clorofila a (mg.m ⁻³) | | 5,3 (CH*) 8,2 (MC**) | | |

OD* = oxigênio dissolvido; CE**= condutividade elétrica; DBO***= demanda bioquímica de oxigênio; STD*****= sólidos totais dissolvidos; AT*****= alcalinidade total; STD*****= sólidos totais dissolvidos.

1 = dados coletados em 2007, 2008 e 2009 ;2 = dados coletados em 2013; 3 = dados coletados em 2017; 4 = dados coletados em 2018.

CH* = Chuvoso; MC**= Menos chuvoso.

Conclusão

Os estudos demonstram a relevância dos lagos Bolonha e Água Preta para o sistema de abastecimento de água para a Região Metropolitana de Belém.

Foi possível notar que ainda faltam informações da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, principalmente relacionados a um programa de monitoramento das águas. Também foi observado que fortes impactos ambientais ocorrem na área dos mananciais utilizadas no abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, onde enfatiza-se a necessidade de que os órgãos responsáveis, juntamente com a sociedade, continuem trabalhando para torná-los uma fonte viável de água.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos - PPGAQRAT, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

Referências

- Alencar, V.E.S.A., Rocha, E.J.P., Souza Júnior, J.A., Carneiro, B.S., 2019. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (02), 661-680.
- Araújo Júnior, A.C.R., 2015a. Antropogeomorfologia da Bacia Hidrográfica do Murutucu: abastecimento hídrico, uso e ocupação em Belém-PA. *Revista RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise*, 34, p.98-122.
- Araújo Júnior, A.C.R., 2015b. Indicadores de qualidade ambiental no lago Bolonha, Parque Estadual do Utinga, Belém-Pará. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 42(1), 276-299.
- Barreto, L., Barros, F., Bonomo, P., Rocha, F., Amorim, J., 2013. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia biosfera [online]*, 9(16).
- Brasil, N.M.Q.X., Neto, A.B.B., Paumgarten, A.E.A., Silveira, J.M.Q.X., Silva, A.A., 2021. Análise multitemporal da cobertura do solo do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará. *Brazilian Journal of Development*, 7 (4), 36109-36118.
- Brito, F.S.L.; Pimentel, B.A.; Vilhena, J.C.; Rosário, K.K.L.; Morais, M.S.; Cruz, R.H.R.; Corrêa, V.L.S., 2020. Comportamento das variáveis físico-químicas da água do lago Bolonha-Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1738-1757.
- Carvalho, A.T.F., 2020. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(42), 140-161.
- Castro, D.C.C., Rodrigues, R.S.S., Ferreira Filho, D.F., 2020. Escoamento superficial na área convergente aos lagos Bolonha e Água Preta em Belém e Ananindeua, Pará. *Research Society and Development*, 9(3), 1-30.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2021. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2022/1/Apendice-C-Significado-ambiental-e-sanitario-das-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos-e-metodologias-analiticas-e-de-amostragem.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.
- Chaves, J.R., Teixeira, L.C.G.M., Mendonça, N.M., Aquino, S.F., 2021. Investigação de cafeína, Genfibrozila, Bezafibrato, Metformina, Prometazina e Loratadina em águas de sistema de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26 (6), 1143-1154.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 27 de janeiro de 2023.
- Dias, F.G., Lima, A.M.M., 2019. Caracterização espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Acará/PA. In: Pinheiro LS, Gorayeb A, organizador. *Geografia Física e as Mudanças Globais*. Fortaleza: Editora UFC, 1-12.
- Fenzl, N.; Mendes, R.L.R.; Fernandes, L.L., 2018. A sustentabilidade do sistema de abastecimento de água. Belém: NUMAQUFPA.

- Fernandes, I.R.L., Fortes, A.P., Souza Teles, I.C., Souza, R.D., Pinto, L.C., 2021. Contaminação parasitária das águas dos mananciais do Utinga e em residências em Belém, Pará, Brasil. *Revista Destaque Acadêmico*, 13(3).
- Ferreira, S.C.G., Lima, A.M.M., Corrêa, J.A.M., 2020. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA)–Eastern Amazonia. *Journal of Environmental Management*, 263, 110354.
- Gadelha, J.E.F.S., Ferreira, K.F., Marcionilio, S.M.L.O., Castro, R.M., 2022. Consequências da eutrofização em corpos hídricos. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 3.
- Gonçalves, E.D., Santos, M.L.S., Soares, J.A.C., Souza, P.H.N., Mourão, F.V., Castro, K.F., Sousa, A.C.S.R., 2015. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 15 (1), 43 – 50.
- Gutierrez, C.B.B., Ribeiro, H.M.C., Morales, G.P., Gutierrez, D.M.G., Santos, L.D., Paula, M.D., 2017. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(1), 521-534.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2014. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc3598.pdf. Acesso em 06 de setembro de 2022.
- Lima, R.C., Mesquita, A.L.A., Blanco, C.J.C., Santos, M.L.S., Secretan, Y., 2015. An Analysis of Total Phosphorus dispersion in lake used as a municipal water supply. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(3), 1505-1518.
- Melo, J.J.S., Dia, M.J.M., Oliveira, A.U., 2022. A água e sua proteção legal no Brasil e Acre: considerações sobre as legislações dos recursos hídricos. *UÁQUIRI – PPGGEO*, 4 (1), 80-95.
- Mourão, F.V., Pereira, J.A.R., 2020. Impacto da expansão urbana no manancial superficial do sistema de abastecimento de água de Belém e Ananindeua, Brasil. *Research Society and Development*, 9(7).
- Oliveira, G.M.T.S.D., Oliveira, E.S.D., Santos, M.L.S., MELO, N.F.A.C.D., Krag, M.N., 2018. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23, 599-605.
- Oliveira, I.F., Teixeira, L.C.G.M., Mendonça, N.M., 2021. Investigação da condição trófica do reservatório de abastecimento de água Bolonha. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 14 (1), 32-45.
- Peixoto, F.S., Soares, J.A., Ribeiro, V.S., 2022. Conflitos pela água no Brasil. *Sociedade e Natureza*, 34 (59410), 1- 13.
- Rocha, N.C.V., Lima, A.M.M.D., 2022. A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. *Sociedade e Natureza*, 32, 130-148.
- Rodrigues, F.C.C., Matos, L.O., 2018. As transformações socioambientais na bacia hidrográfica do Utinga: agravantes para os lagos Bolonha e Água Preta. *Revista Espaço Acadêmico*, 17(201), 31-42.
- Santos, E.O., Medeiros, P.R.P., 2023. A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio. *Sociedade e Natureza*, 35 (66441), 1 – 13.
- Santos, J.J., D’Esquivel, K.S., 2022. Avaliação de características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Peruípe (BA). *Iniciação Científica CESUMAR*, 24 (1).
- Santos, M.L.S., Bordalo, A.O., Pereira, J.A.R.; Chira, P.A., Alves, I.C.C., Sodré, S.S.V., 2013. Influência da Expansão Urbana na Qualidade da Água em Reservatório da Região Amazônica (Belém, Pará). *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 13(1), 15-22.
- Silva, C.D.M.B., Costa, D.R., Costa, H.P., Carmo, S.J.M., Ferreira, J.E.D.S.M., Dantas, D.R.S., Garcia, C.V.L.C., 2022. Avaliação da qualidade da água consumida em comunidades rurais do Brasil: revisão bibliográfica. *Estudos Interdisciplinares em Ciências da Saúde*, 6.
- Silva, F.L., Fushita, Â.T., Cunha-Santino, M.B., Júnior, I.B., Júnior, J.C.T.V., 2021. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (3), 1626-1653.
- Silva, J.F.A., Pereira, R.G., 2019. Panorama global da distribuição e uso de água doce. *Revista Ibero-Americana Ciências Ambientais*, 10 (3), 263-280.

- Silva, J.P., Mesquita, K.F.C., Pereira, J.A.R., Sousa, R.R., Varela, A.W.P., Sousa, P.H.C., Santos, M.L.S., 2019. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Scientia Plena*, 15(12).
- Silva, K., Varona, H.L., Araujo, M., Medeiros, C., Santos, L., 2022. Characterization of dissolved inorganic carbon and dissolved oxygen in two impacted Amazonian lakes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 17 (2), 97-109.
- Silva, L., Morales, G., Lima, A.M., 2014. Avaliação da qualidade das águas superficiais dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, Belém, Pará. *Enciclopédia Biosfera*, 10 (18).
- Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*. 24, 201-207.
- Souto, C.K.B., Teles, A.I.L., Andrade, A.A., Xavier, B.V.M.P., Torres, E.E.S.A., Dias, E.C., Fernandes, L.L., 2019. Fatores antrópicos de poluição hídrica na bacia do Tucunduba em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, 5(9), 13824-13834.
- Souza, C.B.G., Campos, A.S., Sousa, F.B.B., Santos, A.M.A., Carvalho, G.P., 2020. O uso de indicadores ambientais na avaliação de unidades de conservação: o caso do Parque Estadual do Utinga em Belém/PA (PEUT). *Nature and Conservation*, 13(1), 86-94.
- Teixeira, L.C.G.M., Chaves, J.R., Mendonça, N., Sanson, A.L., Alves, M.C., Afonso, R.J.C.F., Aquino, S.F., 2021. Occurrence and removal of drugs and endocrine disruptors in the Bolonha Water Treatment Plant in Belém/PA (Brazil). [Environmental Monitoring and Assessment](#), 193(246).
- Varela, A.W.P., Souza, A.J.N., Aviz, M.D., Pinfieldi, G.V., Santos, R.M., Sousa, P.H.C., Santos, M.L.S., 2020. Qualidade da água e índice de estado trófico no rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 9(4), 695-715.
- Vasconcelos, V.D.M.M., Souza, C.F., 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 605-624.
- Viana, L.S., Gomes, M.D.A., Alves, E.S., Carmo, A.P.M., Souza, V.Q., Freitas, L.S., 2022. Variabilidade temporal da evapotranspiração de referência para a mesorregião metropolitana de Belém-PA. *Irriga*, 27 (1), 111-123.
- Whelan, M.J., Linstead, C., Worrall, F., Ormerod, S.J., Durance, I., Johnson, A.C., Johnson, D., Owen, M., Wiik, E., Howden, N.J.K., Burt, T.P., Boxall, A., Brown, C.D., Oliver, D.M., Tickner, D., 2022. Is water quality in British rivers “better than at any time since the end of the Industrial Revolution”? *Science of the Total Environment*, 843, 157014.

5 CAPÍTULO II

Artigo nas normas da Revista Mercator
Qualis CAPES (2017-2020): A1
ISSN: 1984-2201
DOI: 19.4215/RM0000.0000.0000

Avaliação espaço temporal das concentrações dos elementos-traços nas águas superficiais da microbacia do Murucutu, Pará, Brasil

MACEDO, M.A. R ^{a*}

(a) Engenheiro Ambiental e Sanitarista, mestrando em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0179-3669>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/1580355770234444>.

Resumo

O referido trabalho trata-se de uma avaliação nas águas da Microbacia do Murucutu, com o objetivo de quantificar os elementos traços nesta. Os pontos de coletas de água foram distribuídos ao longo da bacia em 10 pontos, onde foram feitas quatro campanhas de coletas de água, nos períodos considerados da região como mais chuvoso e menos chuvoso, totalizando 40 amostras. Estas foram analisadas em laboratório e após realizada estatística descritiva, mensurando a média aritmética da concentração de cada parâmetro em cada ponto de amostragem, a fim de visualizar a dinâmica espaço-temporal por meio de tabelas e gráficos. Como resultados obtivemos que, os valores dos parâmetros estão dentro dos limites descritos pelo CONAMA, com exceção das médias mensuradas para os elementos alumínio (Al) e ferro (Fe), o que gera um alerta, pois, a qualidade desta água impacta direta ou indiretamente toda a região metropolitana de Belém. Notou-se também que, as concentrações de pH, em alguns pontos estão abaixo de 6, motivo que pode ser proveniente da região do estudo, onde há presença de ácidos orgânicos que são provenientes da vegetação regional. Em alguns pontos foi apresentado também alta turbidez, característica também comum em águas brancas amazônicas. Em suma, a avaliação espaço temporal das concentrações dos elementos-traços nas águas superficiais da bacia do Murucutu, ocorre em maior concentração com Al e Fe, nos anos de 2015 e 2016, podendo hoje está ainda mais afetado diante da ocupação populacional ainda maior que estamos vivenciando naquele espaço.

Palavras-Chave: Elementos-traço; Murucutu; CONAMA; espaço-temporal.

Abstract / Resumen

SPATIAL AND TEMPORAL ASSESSMENT OF CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN SURFACE WATERS OF MICROBACTERIA FROM MURUCUTU PARÁ BRAZIL

This work is an assessment of the waters of the Murucutu Microbasin, with the objective of quantifying trace elements in it. The water collection points were distributed across the basin in 10 points, where four water collection campaigns were carried out, in the periods considered the rainiest and least rainy in the region, totaling 40 samples. These were analyzed in the laboratory and after descriptive statistics were performed, measuring the arithmetic mean of the concentration of each parameter at each sampling point, in order to visualize the spatio-temporal dynamics through tables and graphs. As a result, we obtained that the parameter values are within the limits described by CONAMA, with the exception of the averages measured for the elements aluminum (Al) and iron (Fe), which generates an alert, as the quality of this water directly or indirectly impacts indirectly throughout the metropolitan region of Belém. It was also noted that pH concentrations in some points are below 6, a reason that may come from the study region, where there is the presence of organic acids that come from regional vegetation. In some points there was also high turbidity, a characteristic also common in Amazonian white waters. In short, the temporal assessment of the concentrations of trace elements in the surface waters of the Murucutu basin occurs in greater concentration with Al and Fe, in the years 2015 and 2016, and today may be even more affected due to the even greater population occupation than we are experiencing in that space.

Keywords: Trace elements; Murucutu; CONAMA; space-time.

EVALUACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE CONCENTRACIONES DE OLIGOELEMENTOS EN AGUAS SUPERFICIALES DE MICROBACTERIAS DE MURUCUTU PARÁ BRASIL

Este trabajo es una evaluación de las aguas de la Microcuenca de Murucutu, con el objetivo de cuantificar oligoelementos en la misma. Los puntos de captación de agua se distribuyeron a lo largo de la cuenca en 10 puntos, donde se realizaron cuatro campañas de captación de agua, en los períodos considerados más y menos lluviosos de la región, totalizando 40 muestras. Estos fueron analizados en laboratorio y luego se realizó estadística descriptiva, midiendo la media aritmética de la concentración de cada parámetro en cada punto de muestreo, para visualizar la dinámica espacio-temporal a través de tablas y gráficos. Como resultado obtuvimos que los valores de los parámetros se encuentran dentro de los límites descritos por CONAMA, con excepción de los promedios medidos para los elementos aluminio (Al) y hierro (Fe), lo que genera una alerta, ya que la calidad de este El agua impacta directa o indirectamente en toda la región metropolitana de Belém, también se observó que las concentraciones de pH en algunos puntos están por debajo de 6, razón que puede provenir de la región de estudio, donde hay presencia de ácidos orgánicos que provienen de la vegetación regional. . En algunos puntos también hubo alta turbidez, característica también común en las aguas blancas amazónicas. En definitiva, la valoración temporal de las concentraciones de oligoelementos en las aguas superficiales de la cuenca de Murucutu se da en mayor concentración con Al y Fe, en los años 2015 y 2016, y hoy puede verse aún más afectada debido a la ocupación poblacional aún mayor. de lo que estamos experimentando en ese espacio.

Palabras-clave: Oligoelementos; Murucutu; CONAMA; espaciotemporal.

INTRODUÇÃO

A água doce é essencial para a vida terrestre, com seus múltiplos usos, faz parte do dia a dia do ser humano, é necessária para cozinhar, beber, irrigar plantações, produzir energia e é utilizada em atividade industriais. A água continental é armazenada em vários reservatórios, distribuídos de forma desigual em ambientes geofísicos e climas, que vão caracterizar a sua qualidade e sua disponibilidade. A água doce é encontrada na forma de gelo e neve sazonais, geleira e calotas polares, aquíferos, água e umidade do solo e águas superficiais (Papa *et al.*, 2023). Este último, encontrado em rios, lagos, reservatórios artificiais, pântanos, planícies aluviais e áreas inundadas (Alsdorf *et al.* 2007).

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade hídrica total, no entanto a ocorrência da água é desigual no território e durante o ano, bem como a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. O abastecimento humano é considerado como o segundo maior uso da água no País, o abastecimento urbano ocorre de forma concentrada no território, o que leva a uma crescente pressão sobre os sistemas produtores de água. As crises hídricas em mananciais de abastecimento ampliaram a discussão sobre a segurança hídrica de áreas de concentração populacional abastecidas por sistemas complexos (ANA, 2019).

A região amazônica concentra grande parte da água doce, no entanto, existem problemas na gestão deste, o que gera contaminação de águas subterrâneas e superficiais, propiciando impactos como a má qualidade da água, perda de habitat de espécies aquáticas e doenças de veiculação hídrica (Carvalho *et al.*, 2015). Além disso, há a contaminação da água por Elementos-Traço (ETs) lançados de forma irregular nos corpos hídricos, causada pela crescente demanda de materiais para o consumo humano em atividades econômicas como a agricultura, indústrias, mineração, dentre outras, que, ao fazer descartes sem controle ou tratamento, enriquecem o ambiente artificialmente por diversos destes elementos, que são considerados tóxicos quando suas concentrações excedem o limite de tolerância dos organismos (Rodrigues *et al.*, 2021).

Os ETs são definidos quimicamente como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica tendo pesos atômicos entre 63,546 e 200,590 e densidade superior a 4,0 g/cm³, encontrados em baixas concentrações, teores em torno de partes por milhão (mg kg⁻¹ ou mmol kg⁻¹), ou ainda menores (µg kg⁻¹ ou µmol kg⁻¹), em substratos como solo, planta e água subterrânea (Zuliani *et al.*, 2017). No processo de dispersão de materiais particulados no ambiente, os elementos são facilmente carregados para os corpos d'água, onde ficam disponíveis ou retidos nos sedimentos.

Nas águas do território brasileiro a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (Brasil, 2005), classifica as águas e indica os valores máximos permitidos para parâmetros físicos, químicos e biológicos, incluindo os elementos-traço.

Na região Amazônica, a bacia do Murucutu, que possui maior concentração de áreas naturais no município de Belém no Estado do Pará, abriga os lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis por 63% abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém – RMB, que ocorre da água retirada do Complexo do Utinga. Esta bacia sofre com a intensa pressão urbana, pois está localizada próxima a diversos bairros desse município (Araújo Júnior, 2015). Assim, o aumento populacional e a consequente produção de resíduos sólidos nessas áreas, concomitante ao gerenciamento inadequado dos mesmos e da má gestão de serviços de saneamento básico, faz com que haja diversos prejuízos à bacia, como o descarte irregular de resíduos sólidos e efluentes de esgoto (Rodrigues *et al.*, 2021).

A RMB é formada pelos municípios de Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará e Castanhal. Belém, capital do estado, está entre os municípios mais populosos da região Norte, ocupando uma área de 1.059,466 km², com população estimada em 1.506.420 pessoas e densidade demográfica estimada de 1.421,86 hab/km² (IBGE, 2021). A área continental do município possui 14 bacias hidrográficas, dentre estas a microbacia do Murutucu, onde se situam os lagos Bolonha e Água Preta, nos limites do Parque Estadual do Utinga (PEUt), o qual faz parte da Área de Proteção Ambiental Belém (Costa *et al.*, 2021a). Os Decretos Estaduais n.º 1.551/1993 e n.º 1.329/2008 denominam a área fisiográfica do Utinga como Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém - APA Belém, visando proteger os

lagos contra alterações antrópicas. Contudo, de acordo com Brasil *et al.* (2021) a grande extensão e a existência de áreas urbanas ao redor do parque tornam difícil um controle concreto e eficaz dele.

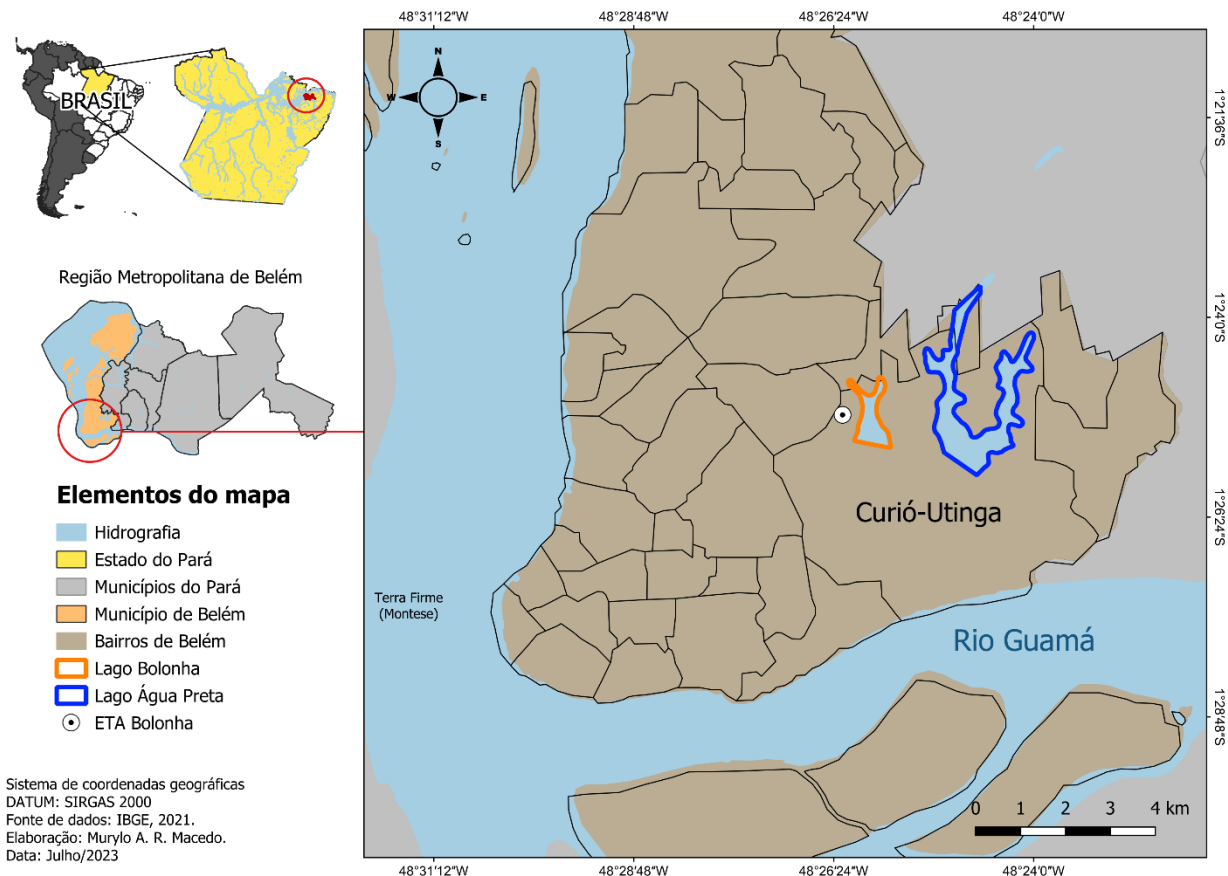
Dentro deste contexto, o presente estudo tem por objetivo quantificar as concentrações dos 7 elementos-traço (alumínio, cromo, manganês, ferro, cobalto, níquel, cobre, zinco, arsênio, selênio, cádmio, bário e chumbo) nas águas superficiais da bacia do Murucutu, o que é fundamental para sanar esta lacuna no conhecimento científico dessa região tão importante para a população local, e que serviram como base para a manutenção dos recursos hídricos amazônicos, a fim manter a disponibilidade da água com qualidade para as gerações futuras.

MATERIAIS E MÉTODO

Área de estudo

A microbacia do Murucutu é a que possui maior concentração de áreas naturais em Belém e sua importância está vinculada a relevância dos 20 ecossistemas lânticos presentes na bacia, com destaque para lagos Bolonha (aproximadamente 1,8 km² de área) e água Preta (aproximadamente 7,2 km² de área), que são abastecidos com água bruta do Rio Guamá (Figura 1). A distribuição da água para a RMB, ocorre com a retirada da água dos lagos para a Estação de Tratamento de Belém localizada no Bolonha (ETA-Bolonha), que faz parte do sistema Utinga-Bolonha, responsável pelo abastecimento de água dos Municípios de Belém, Ananindeua e Marituba. O Sistema dispõe de outras duas estações de tratamento de água, ETA - São Braz e ETA- 5o setor, todas do tipo convencional e tem como principais mananciais os Lagos Bolonha, Água Preta e o Rio Guamá (Fernandes *et al.*, 2021).

Figura 1. Mapa de localização dos Lagos Bolonha e Água Preta.



Fonte: Autores (2022)

De acordo com o sistema de classificação global de Koppen para os tipos climáticos, Belém tem clima classificado como “equatorial úmido” do tipo Af, e tropical chuvoso com temperaturas média do mês mais frio superiores a 18°C, e chuvas abundantes durante o ano, condicionado ao tipo de vegetação, que é de floresta tropical e pela umidade relativa do ar que tem média anual de 85% (Rocha *et al.*, 2021). O clima amazônico possui duas estações caracterizadas como a mais chuvosa e a menos chuvosa, sendo os trimestres de junho, julho e agosto e setembro, outubro e novembro, os

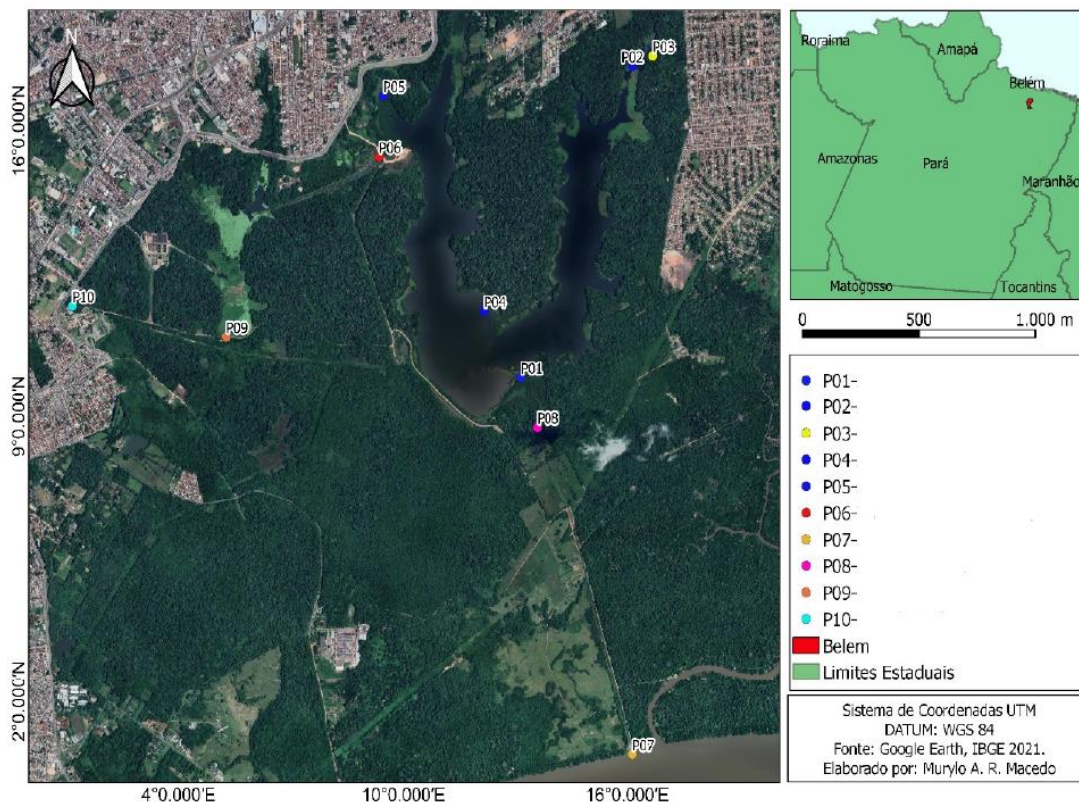
períodos sazonais com regime climático mais seco (menos chuvoso) e os trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro e março, abril e maio possuem regime climático úmido e chuvoso (Moreira *et al.*, 2019).

Amostragem e coleta

Os pontos de coletas de água foram distribuídos dentro da microbacia do Murucutu da seguinte forma: um ponto no lago Bolonha, quatro pontos no lago Água Preta, um ponto no rio Guamá, e quatro foram distribuídos ao longo da bacia (Figura 2), totalizando 10 pontos, todos georeferenciados com o auxílio do Global Positioning System (GPS). Os pontos foram escolhidos de forma a obter o conhecimento da qualidade da água dos lagos e de outras águas superficiais existentes na bacia do Murucutu, o ponto do rio Guamá foi necessário pois este supre água para os lagos.

Foram feitas quatro campanhas de coletas de água, nos períodos considerados da região como mais chuvoso, em fevereiro e maio de 2016, e no menos chuvoso, novembro de 2015 e agosto de 2016. As amostras foram armazenadas em garrafas de polietileno de baixa densidade de 500 mL. No momento da coleta foram obtidos dados de pH, com a utilização de pHmetro da marca Akso. As amostras foram preservadas e transportadas, conforme descrito em APHA (1992), para o Laboratório de Química Ambiental, da Universidade Federal Rural da Amazônia e para a Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas.

Figura 2. Localização dos pontos de coleta.



Fonte: Autores (2022)

Análises em laboratório

No Laboratório de Química Ambiental foram feitas as leituras para obtenção dos dados de turbidez, com turbidímetro da HACH.

Na Seção de Meio Ambiente, do Instituto Evandro Chagas, foram obtidos dados de alumínio (Al) dissolvido, cromo (Cr) total, manganês (Mn) total, ferro (Fe) dissolvido, níquel (Ni) total, cobre (Cu) dissolvido, zinco (Zn) total, arsênio (As) total, bário (Ba) total e chumbo (Pb) total. A análise foi feita com a utilização de um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), para tanto as amostras foram digeridas com ácido nítrico ultrapuro (HNO₃). Para controle de qualidade analítica foram realizadas leituras de materiais de referência certificada (1640a Trace Elements in Natural Water, 1643f Trace Elements in Water I e 1641d Mercury in Water, marca NIST – National Institute of Standards and Technology).

Estatística

Para o tratamento das análises é necessário compreender os dados de forma clara e objetiva, dessa maneira, aplicou-se a análise da estatística descritiva, definida por Guedes *et al.* (2005) como o método cujo objetivo básico é o de sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores, organiza e descreve os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas. Portanto, mensurou-se a média aritmética da concentração de cada parâmetro em cada ponto de amostragem, a fim de visualizar a dinâmica espaço-temporal de cada um deles e compará-los entre si por meio de tabelas e gráficos, todos os dados foram tabulados e tratados com o software Excel.

Em seguida foi determinado o Coeficiente de Correlação de Spearman, pois facilita a interpretação entre as relações dos dados obtidos. Desta forma o coeficiente de correlação é uma medida de associação que permite avaliar a associação de interdependência, de intercorrelação ou de relação entre as variáveis (Bunchaft; Kellner, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A microbacia do Murucutu recebe as águas oriundas do rio Guamá. As águas deste rio de acordo com Varela *et al.* (2020) são classificadas como águas doces, com base na Resolução CONAMA 357/2005. Os autores mediram valores de salinidade entre 0,1 a 0,2, e também enquadraram as águas na classe 2, visto que, as águas que entram na microbacia são utilizadas para o abastecimento humano após tratamento convencional.

Os dados estatísticos básicos das concentrações dos parâmetros abióticos em relação a sazonalidade local são mostrados na Tabela 1, e os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005, classe 2.

Tabela 1. Estatística descritiva dos elementos-traço ($\mu\text{g L}^{-1}$), pH e turbidez (UNT), de acordo com a sazonalidade local (período mais chuvoso e menos chuvoso), nas águas superficiais da bacia do Murucutu.

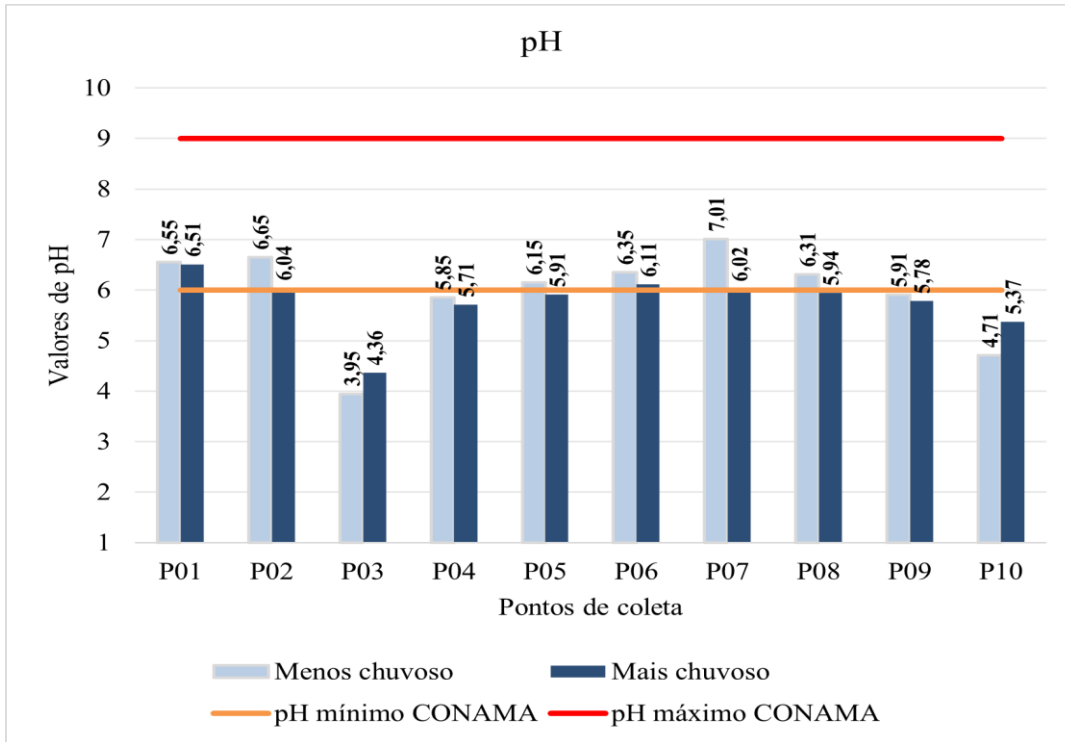
| Parâmetros | Mais Chuvoso | | | Menos Chuvoso | | | 357/2005** Valor máximo |
|------------|--------------|---------|---------------------|---------------|---------|-----------------------|----------------------------|
| | Mínimo | Máximo | Média \pm DP* | Mínimo | Máximo | Média \pm DP* | |
| Al | 17,94 | 263,14 | 102,90 \pm 74,50 | 9,33 | 523,97 | 176,18 \pm 164,44 | 100 |
| Cr | 0,06 | 0,75 | 0,30 \pm 0,17 | 0,02 | 1,22 | 0,34 \pm 0,32 | 50 |
| Mn | 1,61 | 75,13 | 36,23 \pm 19,12 | 1,45 | 166,06 | 50,60 \pm 47,41 | 100 |
| Fe | 51,55 | 2058,15 | 957,11 \pm 572,29 | 11,34 | 4551,14 | 1418,28 \pm 1226,03 | 30 |
| Ni | 0,15 | 2,05 | 0,69 \pm 0,50 | 0,09 | 1,65 | 0,66 \pm 0,43 | 25 |
| Cu | 0,68 | 7,52 | 1,87 \pm 1,61 | 0,47 | 5,50 | 2,01 \pm 1,23 | 9,0 |
| Zn | 2,23 | 37,74 | 11,76 \pm 8,74 | 3,18 | 29,03 | 12,49 \pm 6,98 | 180 |
| As | 0,35 | 0,98 | 0,73 \pm 0,19 | 0,32 | 1,16 | 0,69 \pm 0,24 | 10 |
| Ba | 1,10 | 17,70 | 9,47 \pm 5,07 | 1,10 | 20,73 | 10,18 \pm 5,68 | 700 |
| Pb | 0,02 | 0,85 | 0,29 \pm 0,25 | 0,07 | 1,98 | 0,66 \pm 0,59 | 10 |
| pH | 4,22 | 6,80 | 5,77 \pm 0,76 | 3,70 | 8,00 | 5,94 \pm 1,08 | 6,0 a 9,0 |
| Turbidez | 0,00 | 55,00 | 20,40 \pm 19,79 | 0,00 | 135,00 | 39,60 \pm 42,35 | 100 |

DP* = desvio padrão. 357/2005** = Resolução do CONAMA 357/2005, águas doces, classe 2, os valores foram transformados para $\mu\text{g L}^{-1}$.

Fonte: Autores (2023)

Os valores médios de pH (Figura 3) detectados (Tabela 1) estiveram dentro dos limites descritos na literatura para as águas da região Amazônica (Varela *et al.*, 2020; Mendes *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020a). Contudo, os valores médios do pH ficaram fora dos valores referenciados pela Resolução do CONAMA 357/2005, em ambos os períodos sazonais. Os valores do pH das águas da microbacia do Murucutu estão relacionadas a geologia local, ao ambiente que as cerca, e aos processos que influenciam diretamente no sistema do dióxido de carbono, como a decomposição da matéria orgânica.

Figura 3. Gráfico das médias do parâmetro pH nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

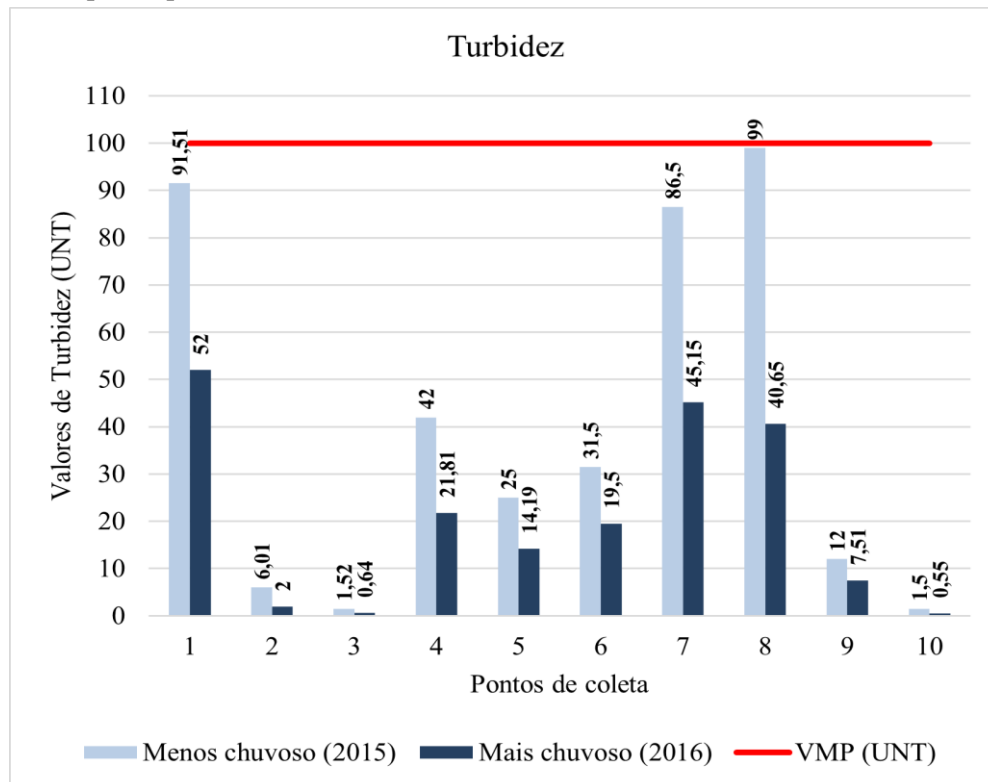
Para turbidez os valores médios (Figura 4) estiveram dentro do limite determinado pela Resolução do CONAMA 357/2005 (até 100 UNT), em ambos os períodos. Porém, durante o período menos chuvoso, o maior valor encontrado foi de 135 UNT (Tabela 1), no ponto oito, local de entrada das águas do rio Guamá para o lago Água Preta, via diferença de gravidade e com isso uma turbulência da água ocorre, o que pode explicar este aumento no valor da turbidez. Durante esta coleta o valor da turbidez no rio Guamá, ponto 7, foi de 122 UNT.

Varela *et al.* (2020) e Alencar *et al.* (2019) observaram diferenças nos valores de turbidez nas águas do rio Guamá, em relação a sazonalidade da região, com o máximo detectado no período menos chuvoso. O rio Guamá foi descrito por Costa *et al.* (2021b) como rios de águas brancas, com elevada quantidade de material em suspensão.

Para os demais pontos, os valores de turbidez foram menores, de acordo com Silva *et al.* (2020a) ao longo do percurso entre o rio Guamá até a Estação de Tratamento de Água, a turbidez diminui, o que favorece o sistema de tratamento de água.

Os pontos 2, 3 e 10 tiveram os menores valores médios, o que indica não receberem influência das águas oriundas do rio Guamá. Dentro da microbacia do Murucutu ainda existem fontes de água, as quais são preservadas dentro do Parque Ambiental do Utinga.

Figura 4. Gráfico das médias do parâmetro turbidez nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

A presença de elemento-traços quando disponibilizados em altas concentrações no meio ambiente, causam efeitos de baixa-alta frequência na saúde ambiental da bacia hidrográfica, sendo transportados e depositados por meio da calha fluvial. Uma vez nesta, os poluentes adsorvidos aos sedimentos poderão ser transportados por longas distâncias (Rodrigues, Vieira, Mendes, 2021).

Malsiu *et al.* (2020) realizaram um estudo no lago de Badovci na república do Kosovo no continente europeu com o objetivo de analisar as concentrações de metais tóxicos nas águas, de acordo com seus resultados, a concentração média de Al e Fe foram de 0,65 e 0,99 mg/L, respectivamente, os autores destacaram ainda que, os valores são preocupantes por serem superiores aos limites reportados pela diretiva da Comissão Europeia, EC 98/83, relativa à água destinada ao consumo humano da Europa. Nesse sentido, Githaiga *et al.* (2021) avaliaram a qualidade da água e os riscos para a saúde, por meio das concentrações de metais pesados em oito grandes lagos do Quênia, no continente Africano, e concluíram que as concentrações de alumínio nos lagos eram elevadas e excediam o máximo permitido para potabilidade da água.

O cenário global não difere da realidade brasileira, estudos que abordam a qualidade da água em reservatórios e lagos de várias regiões do Brasil, também observaram altas concentrações de alumínio e ferro em suas análises (Silveira; Okumura; Yamaguchi, 2021; Coneglian, 2020; Bento 2020). A dinâmica apresentada, pode estar associada a distribuição natural desses elementos na crosta terrestre, que caracteriza os metais, alumínio e ferro, respectivamente, como o terceiro e quarto elemento químico mais abundante da litosfera (Duarte, 2019). No entanto, sua presença pode tornar-se nociva frente a poluição antrópica dos recursos superficiais, motivada por combinações químicas (Jaishankar *et al.*, 2014).

Na área de estudo, Bahia *et al.* (2010) com o objetivo a caracterização hidrogeoquímica da bacia hidrográfica do Utinga, concluiu que a região é um ambiente fortemente lixiviado, devido as intensas chuvas, onde os elementos Na, Ca, K e Mg, maiores responsáveis pelas características básicas, migraram para o sistema hídrico deixando-os com características ácidas, com a presença de alumínio e ferro. Em virtude disso, a concentração dos parâmetros Al e Fe pode ser influenciada pela presença de processos erosivos atuais causados pelo histórico de desmatamento da região e a sazonalidade de chuvas, na qual a concentração dos elementos tende a ser maior em períodos de seca dado a ausência do efeito diluidor da chuva, e ainda, o alumínio também pode ser influenciado pelos efluentes que deságuam na região (Xavier, 2018; Marques *et al.*, 2016).

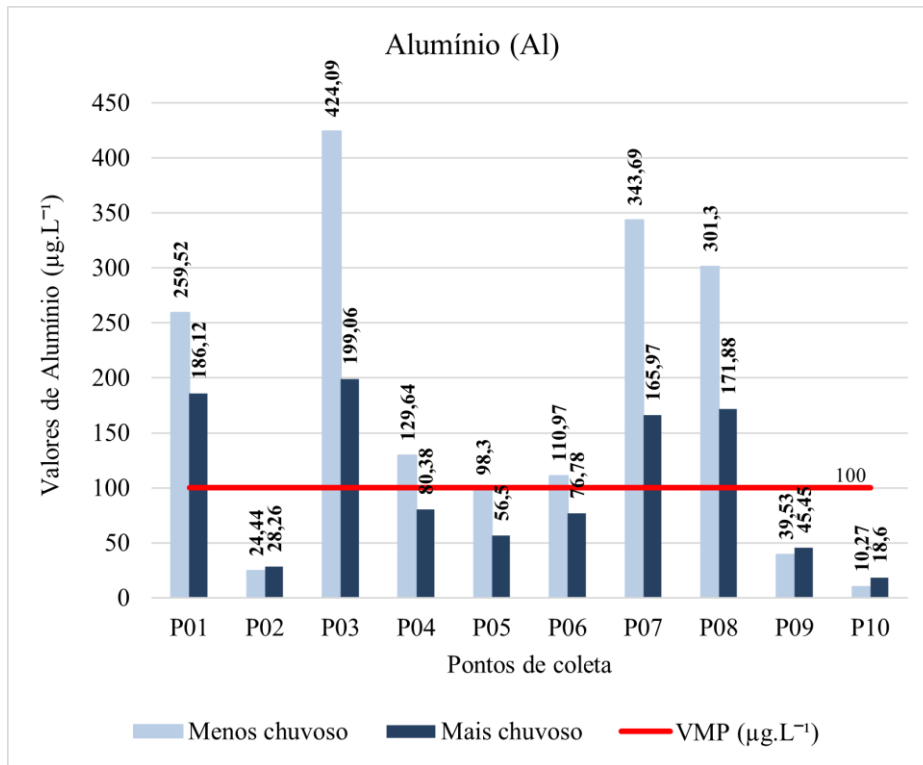
Os valores dos elementos-traços estão dentro dos limites descritos pela Resolução do CONAMA 357/2005, com exceção das médias mensuradas para o alumínio (Al) e o ferro (Fe) que ficaram acima do que prevê a referida Resolução (Tabela x).

As águas de rio contêm quantidades de alumínio (Al) que variam de 2 até mais de 1000 mg L⁻¹, dependendo das rochas e solos (Selinus, 2006). Sem função biológica definida, a presença de altas concentrações de Al no corpo humano tem sido associada ao desenvolvimento da doença de Alzheimer (Selinus, 2006).

Na água, o Al pode ocorrer em diferentes formas e é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. Em águas com extrema acidez, afetadas por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg L⁻¹. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez (CETESB, 2009).

No presente estudo, os valores máximos e a média de Al (Tabela 1) estiveram acima do valor de referência da Resolução CONAMA 357/2005, em ambos os períodos estudados, com o máximo detectado durante o período menos chuvoso. Na avaliação das concentrações nos pontos de coleta, as médias expostas por meio da Figura 5, é possível observar que as maiores concentrações de alumínio estão nos pontos P01, P03, P07 e P08.

Figura 5. Gráfico das médias do elemento alumínio (Al) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



No ponto P03, existe a probabilidade de lançamentos irregulares de efluentes domésticos devido a sua proximidade com a área urbana. Segundo Farias (2020) nos lagos Bolonha e Água Preta foi identificado esses valores para o metal que ultrapassaram o VMP, e associou esse resultado ao arraste de lixo provenientes de ações antrópicas próximo ao lago Água Preta. Nesse sentido, Almeida Neto, Macena e Oliveira (2016) corroboram afirmando que, o despejo de esgoto doméstico faz com que a taxa de contaminação por metais pesados na água aumente de forma significativa, quando em quantidades acima de 0,1 mg.L⁻¹, apresenta teor de toxicidade.

Contudo, este ponto (P03) trata-se de uma área de nascente conservada e com pouca presença antrópica, tanto que sua turbidez deu baixa, nos mostrando que a alta concentração de Al, se deve ao fato da própria região amazônica possuir essa alta concentração de Alumínio.

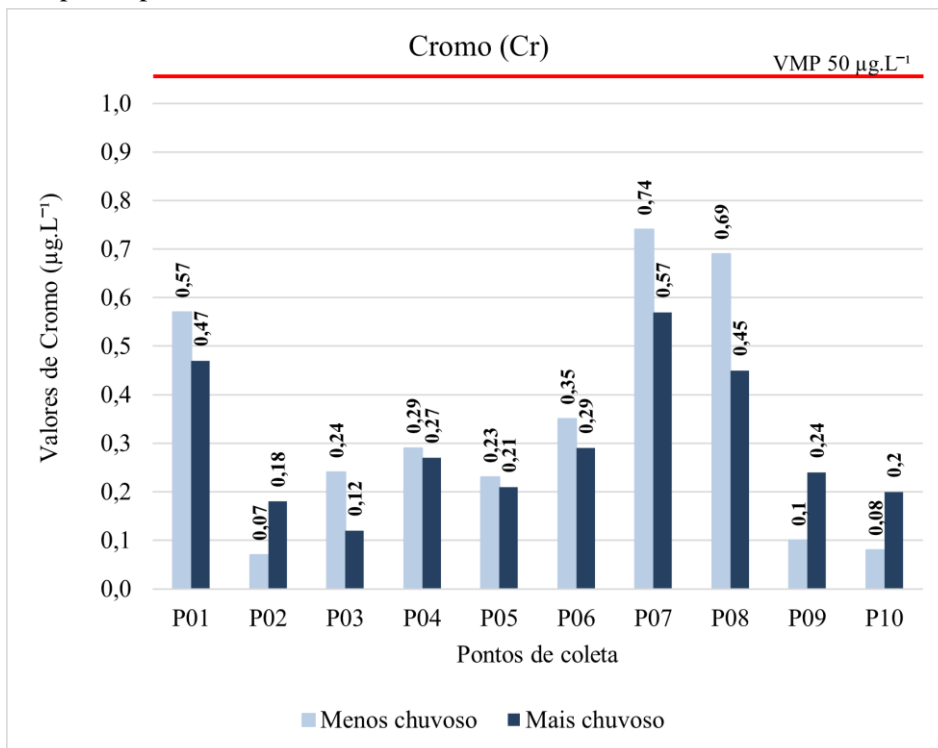
Os pontos P01, P07 e P08, assim como para turbidez, possuem características das águas do rio Guamá, descritas por Matta *et al.* (2010) como águas pouco transparentes, com grande quantidade de

material argiloso em suspensão, proveniente de atividades erosivas em suas margens, tornando suas águas turvas.

Relacionando com o estudo de Sales *et al.* (2021) no rio Tapajós, no qual encontrou altas concentrações de alumínio, pode-se concluir que a presença de alumínio nas rochas da região amazônica, rica nesse elemento, quando é intemperizado resulta em elementos químicos, nas formas de íons monoatômicos e íons poliatômicos e agregados em estruturas cristalinas tais como argilominerais. Logo, os rios com grande quantidade de material argiloso em suspensão também possuem grande quantidade de minerais, como o alumínio, formando os argilominerais.

O cromo (Cr) é bastante utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, galvanização do alumínio, galvanização e decapagem de metais entre outros usos (CETESB, 2009).

Figura 6. Gráfico das médias do elemento Cromo (Cr) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

A maioria das águas superficiais contêm entre 1 à 10 µg L⁻¹ de cromo. A concentração do metal na água subterrânea geralmente é baixa (< 1 µg L⁻¹) (CETESB, 2009) e em solos pode ser encontrado na concentração de 10 à 150 µg g⁻¹ (Arine, 2000).

A presença nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente são abaixo de 10 µg L⁻¹; em águas subterrâneas ocorre entre 10 à 40 µg L⁻¹ (CETESB, 2009). Tóxicologicamente, é insignificante para o ser humano, pode estar presente em águas potáveis em concentrações de 5.000 µg L⁻¹ sem maiores problemas (Arine, 2000).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1 e na Figura 6, as concentrações de cromo estão significativamente abaixo do que prevê a Resolução 357/2005. Dessa maneira, o resultado do parâmetro pode ser explicado pela ausência de atividades industriais que utilizem esse metal, em seus processos, nas áreas adjacentes a microbacia do Murucutu, tendo em vista que o cromo é um indicativo de interferências de atividades antrópicas, como curtumes e mineradoras (Silva *et al.*, 2020b).

Como mostram pesquisas que abordaram a análise do cromo em águas superficiais amazônicas próximo a atividades de matadouros e curtumes, nas quais, constatarem elevados valores de cromo, acima do VMP, presente nas águas estudadas (Martins, 2009; Baptista, 2012; Ribeiro *et al.*, 2014; Cardoso *et al.*, 2015). Em contrapartida, Pereira *et al.* (2007) ao avaliar as águas superficiais do rio Murucupi no município de Barcarena-PA, concluiu que os valores de cromo

estiveram abaixo do limite de detecção e por isso foi retirado da avaliação. De forma semelhante, Silva *et al.* (2018) analisou a qualidade das águas de Salinópolis-PA e as concentrações de cromo apresentaram-se abaixo do que determina o CONAMA 357/2005.

Vale ressaltar que, entre os pontos estudados, as maiores médias mensuradas foram para os pontos P01, P07 e P08, para ambos os períodos sazonais. Os pontos em destaque, assim como para os demais parâmetros, estão relacionados com as águas do rio Guamá. Tal cenário pode ser justificado pela quantidade de matéria orgânica presente no rio Guamá e pela ligação do cromo à matéria orgânica dos ambientes aquáticos (Shanker; Venkateswarlu, 2011; Varela *et al.*, 2020).

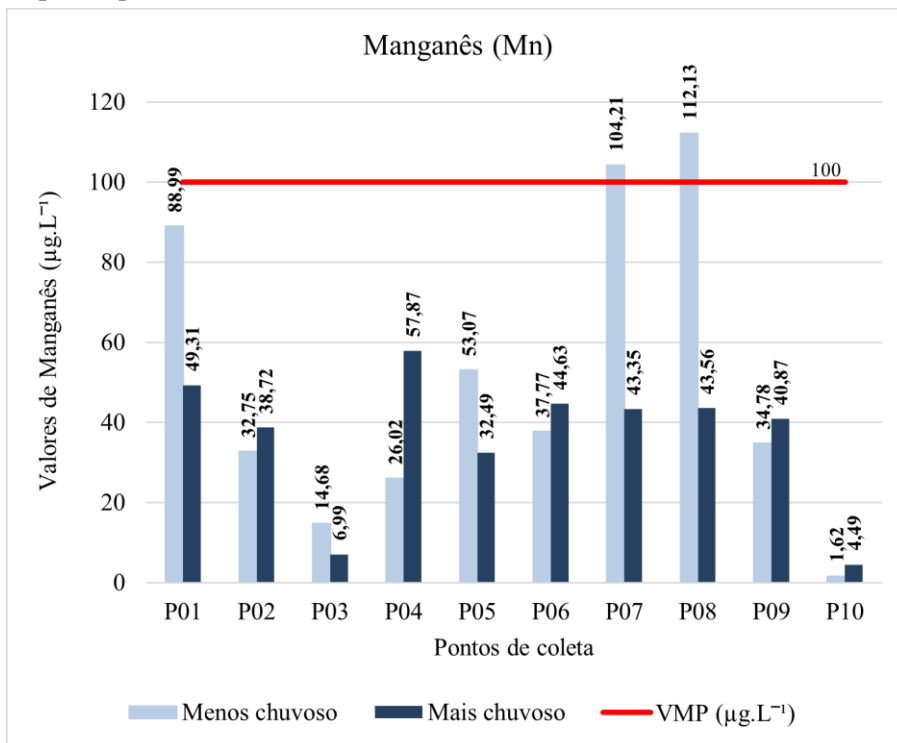
O manganês ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação da água. Raramente atinge concentrações de 1,0 mg L⁻¹, em águas superficiais naturais está presente em quantidades de 0,2 mg L⁻¹ ou menos (CETESB, 2009).

Concentrações de Mn acima de 0,2 mg L⁻¹, tornam a água desagradável para beber. As águas de irrigação para uso em solos ácidos, não devem exceder a 0,2 mg L⁻¹ de manganês, enquanto águas contendo 10 mg L⁻¹ devem ser usadas em solos neutros ou alcalinos. As concentrações de 40 mg L⁻¹ são letais para certos peixes e as concentrações acima de 0,05 mg L⁻¹ podem causar efeitos tóxicos em algumas algas. Em virtude disto, para a proteção da vida aquática, foi recomendado o valor de até 0,05 mg L⁻¹ de Mn na água (EPA, 1972).

O manganês (Mn) e seus compostos são usados na indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outros usos (CETESB, 2009).

A Figura 7 mostra que as médias determinadas para os pontos P07 (104,21 µg/L⁻¹) e P08 (112,13 µg/L⁻¹) durante o período menos chuvoso ultrapassaram o limite proposto pela resolução do CONAMA 357/2005 (100 µg/L⁻¹). Bento (2020) ao realizar estudos a respeito da caracterização da qualidade da água superficial do lago da barragem de Três Marias-MG, notou elevadas concentrações de Mn nos lagos, acima do VMP, quando comparado às observações do período mais chuvoso.

Figura 7. Gráfico das médias do elemento Manganês (Mn) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

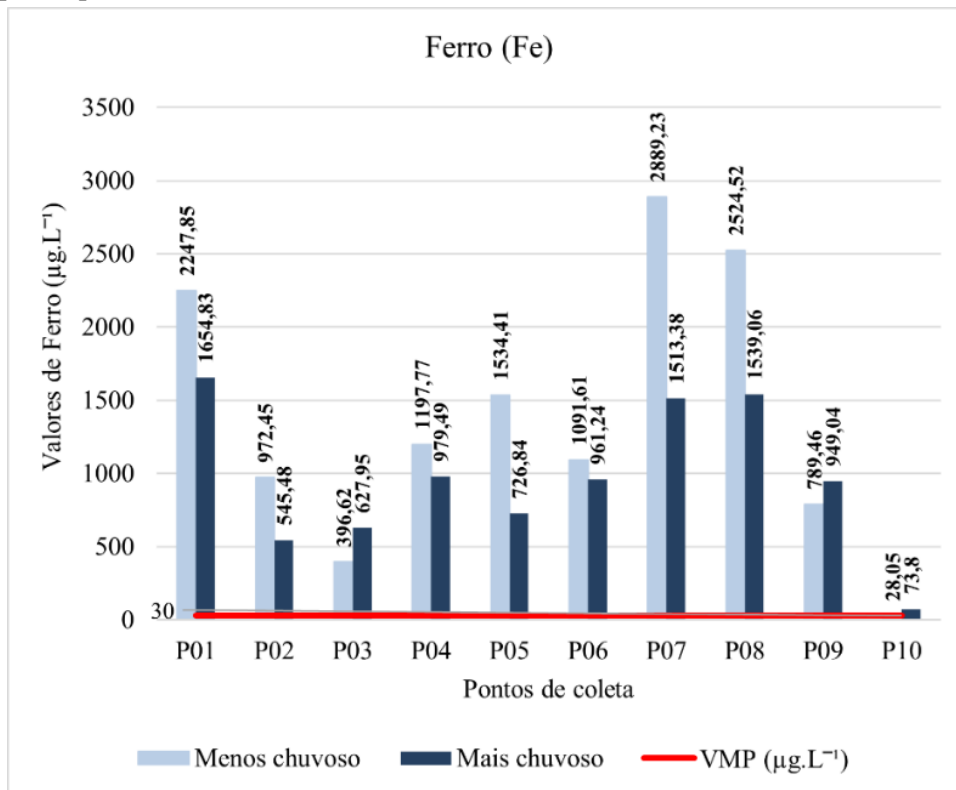
Os altos valores encontrados na presente pesquisa (Tabela 1) não diferem da conjuntura nacional, em que a presença de manganês em águas destinadas ao tratamento visando o abastecimento público é muito comum no Brasil (Moruzzi; Reali, 2012). Apesar disso, assim como o

ferro a contaminação da água por manganês é considerada indesejável, visto que esse metal é uma substância química que pode gerar coloração e sabor desagradável (Veiga, 2005).

O Fe tem participação em processos de óxido-redução, podendo estar presente em águas tanto na forma oxidada Fe^{3+} , como na forma reduzida Fe^{2+} , sendo as concentrações destas duas formas controladas por fatores como pH e potencial redox do meio e temperatura. Na forma Fe^{2+} , o ferro é solúvel na presença de bicarbonato como $Fe(HCO_3)_2$ (Bicarbonato Ferroso), podendo também aparecer complexado com substâncias orgânicas, ou precipitado como $Fe(OH)_2$ (Hidróxido de Ferro II), $FeCO_3$ (Carbonato de Ferro II) e FeS (Sulfeto de Ferro II) (Arine, 2000).

O ferro (Fe) é um metal importante e um dos principais constituintes da litosfera, ele desempenha um papel especial no comportamento de vários elementos-traço, é quimicamente reativo e tem comportamento similar a outros metais especialmente cobalto e níquel (Kabata-Pendias, 2011). No que tange o elemento ferro, as análises da água estão apresentadas na Figura 8, todos os valores (Tabela 1) ficaram acima ao valor da Resolução do CONAMA 357/2005.

Figura 8. Gráfico das médias do elemento Ferro (Fe) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

Apesar de ser essencial ao sistema bioquímico da água, em quantidades adequadas, o metal torna-se nocivo ao ambiente, em alta concentração nas estações de tratamento de água, conferindo cor e sabor desagradável, tornando-o inadequado ao uso doméstico e industrial. Além disso, ele gera problemas por causar depósitos em canalizações de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica em redes de distribuição (Loiola, 2022).

Estudos de outras regiões do Brasil também apresentaram resultados parecidos, como é o caso da pesquisa de Araújo *et al.* (2016) que avaliaram o teor de ferro dos principais sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Recife-PE, foram mensuradas concentrações de ferro em águas brutas igual à 1080 $\mu g/L^{-1}$, 2920 $\mu g/L^{-1}$, 1010 $\mu g/L^{-1}$ e 2900 $\mu g/L^{-1}$.

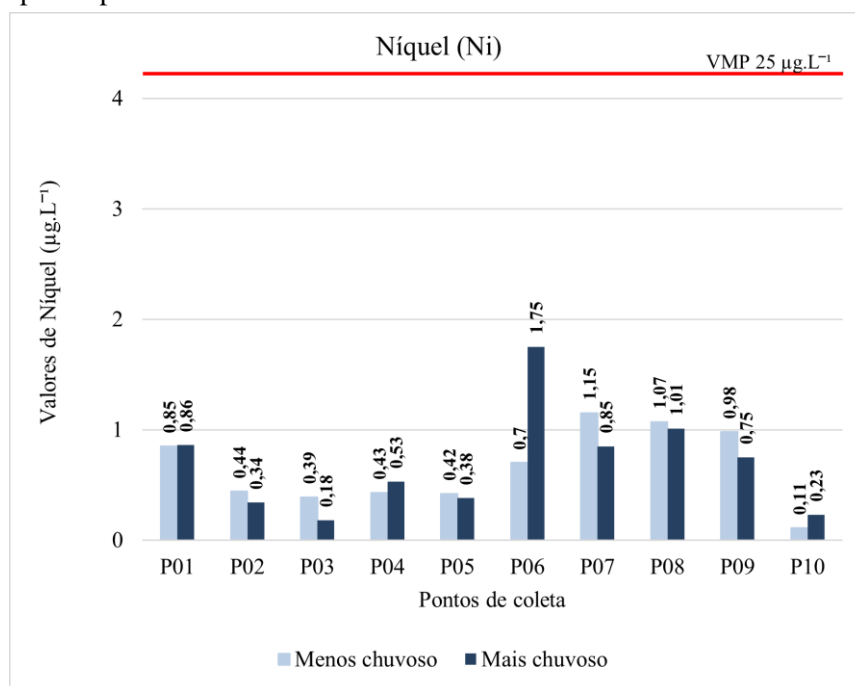
A origem desse parâmetro é salientada pelo estudo de Cardoso (2014), o qual apresenta que elevadas concentrações do ferro se devem ao fato de que este é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre e está disponível naturalmente em ambientes geológicos na forma de óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos. Dessa maneira, a pedologia da bacia do Murucutu contribui, portanto, para as elevadas concentrações de ferro dissolvido, devido ao arraste de material por meio do escoamento superficial.

A toxicidade do Níquel (Ni) na vida aquática é variável influenciada por diversos fatores, tais

como: pH, oxigênio dissolvido etc. Na água, o metal é tóxico para reprodução de crustáceos da água doce, quando atinge cerca de $95 \mu\text{g L}^{-1}$. Em concentrações de $310 \mu\text{g L}^{-1}$ pode matar larvas de moluscos marinhos e de $730 \mu\text{g L}^{-1}$ é prejudicial à reprodução de pequenos peixes de água doce. O níquel é um elemento de interesse ambiental por ser cancerígeno e apresentar possibilidade de causar, no ser humano, problemas no sistema respiratório e no coração (Komy; Roekens; Grieken, 1988; Marques; Chierice, 1993).

Mediante a determinação das médias de níquel (Figura 9, Tabela 1), afirma-se que todos os pontos estudados estão de acordo com a Resolução 357/2005 CONAMA, abaixo de $25 \mu\text{g/L}^{-1}$. Resultados análogos foram identificados por Baggio Filho (2008), o autor avaliou o níquel em vinte amostras de águas superficiais da bacia do rio Formoso, município de Buritizeiro – MG, e concluiu que nenhuma das amostras violou o valor limite estabelecido pelo CONAMA 357/2005, variando entre $17,1 \mu\text{g/L}^{-1}$ e $17,4 \mu\text{g/L}^{-1}$. Além desse, outros estudos apresentaram baixas concentrações de níquel em águas superficiais (Oliveira *et al.*, 2018a; Grilo Junior *et al.*, 2016).

Figura 9. Gráfico das médias do elemento Níquel (Ni) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

Todavia, a análise entre os pontos desta pesquisa, destaca-se o P06 no período mais chuvoso, com $1,75 \mu\text{g/L}^{-1}$. O ponto em questão está localizado na drenagem das águas do Água Preta para o Bolonha, esse resultado pode estar relacionado com a suspensão de sedimentos de fundo. Apesar de baixos valores serem encontrados para o elemento Ni, é necessário o monitoramento constante, atentando para não ultrapassar o que preconiza a legislação, como aconteceu na foz do rio Dourados em Mato Grosso do Sul que apresentou valores impróprios para abastecimento pois as concentrações de níquel estavam acima do requerido para a classe 2 (Oliveira; Dias; Ribeiro, 2003)

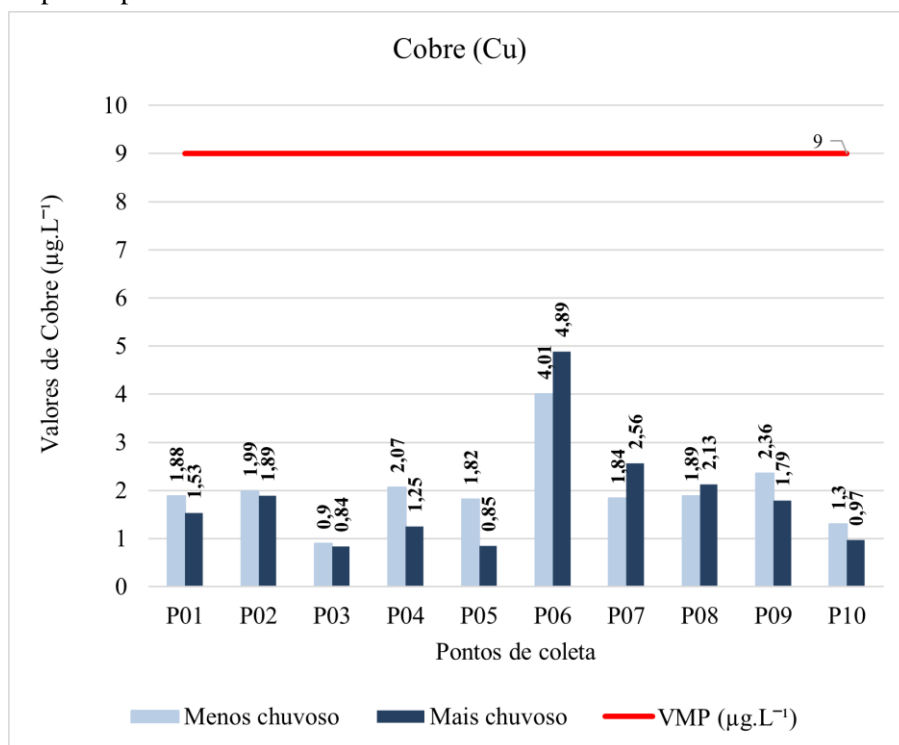
Outro elemento em que a concentração de 20mg L^{-1} de cobre ou um teor total de 100mg L^{-1} por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem, com lesões no fígado. Concentrações acima de $2,5 \text{mg L}^{-1}$ transmitem sabor amargo à água; acima de 1mg L^{-1} produzem coloração em louças e sanitários (CETESB, 2009). Boaventura (1994) diz que a toxicidade do cobre para a vida aquática varia com a espécie, as características físico-químicas da água e a presença de outros elementos-traço. Concentrações de $0,5 \text{mg L}^{-1}$ são letais para trutas, carpas, bagres, peixes vermelhos de aquários ornamentais e outros. Doses acima de $1,0 \text{mg L}^{-1}$ são letais para microorganismos (CETESB, 2009).

O cobre (Cu) tem vários usos, como na fabricação de tubos, válvulas, acessórios para banheiro e está presente em ligas e revestimentos. Na forma de sulfato ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) é usado como algicida (CETESB, 2009).

Os resultados para cobre estão semelhantes aos resultados para níquel, ou seja, todos estão

dentro dos limites da Resolução 357/2005, abaixo de $9 \mu\text{g/L}^{-1}$, além disso, entre os valores a maior média apresentada foi no P06, durante o período mais chuvoso (Figura 10, Tabela 1).

Figura 10. Gráfico das médias do elemento Cobre (Cu) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

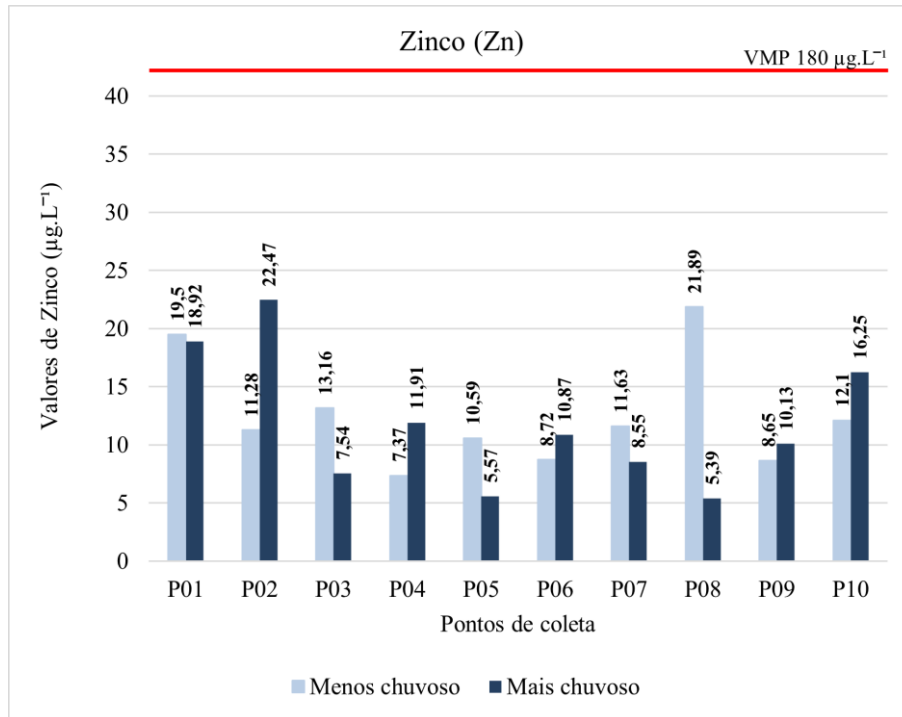
O estudo de Oliveira *et al.* (2018b) que objetivou avaliar as concentrações de nutrientes e metais pesados nos sedimentos do fundo do lago Água Preta, constatou que para o metal Cu, os valores de referência para qualidade dos sedimentos estão abaixo do índice TEL (ferramenta utilizada para avaliar a qualidade do sedimento) o que não configura contaminação dos sedimentos por esse metal.

O Zinco (Zn) está presente nas rochas graníticas e conseqüentemente a sua presença nos meios aquáticos naturais (Alves, 2002). A presença nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente são abaixo de $10 \mu\text{g L}^{-1}$; em águas subterrâneas ocorre entre de 10 à $40 \mu\text{g L}^{-1}$ (CETESB, 2009). Tóxicologicamente é insignificante para o homem, pois podem estar presentes em águas potáveis em concentrações de $5.000 \mu\text{g L}^{-1}$ sem maiores problemas (Arine, 2000).

O zinco (Zn) é um dos elementos mais abundantes, sendo essencial para o ser humano, plantas e animais (Alves, 2002). Seus compostos são usados na fabricação de ligas e latão, galvanização do aço, na borracha como pigmento branco, suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes, shampoo etc (CETESB, 2009).

As médias mensuradas para o zinco (Figura 11, Tabela 1), em ambos os períodos sazonais, estão de acordo com que propõe as normas reguladoras, até $180 \mu\text{g L}^{-1}$. Rodrigues, Vieira e Mendes (2021) buscaram identificar e analisar geoindicadores (geoquímicos) de mudanças ambientais antropogênicas nos compartimentos ambientais (água e sedimentos) na bacia hidrográfica do rio Botas, e observaram que o zinco não teve uma representatividade em sedimento de leito com baixa frequência de efeitos adversos. Através do exposto, afirma-se que esse elemento-traço é mais comumente observado em regiões vizinhas a indústrias de mineração (Melo *et al.*, 2012; Rocha; Azevedo 2015; Oliveira; Lopes, 2022).

Figura 11. Gráfico das médias do elemento Zinco (Zn) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

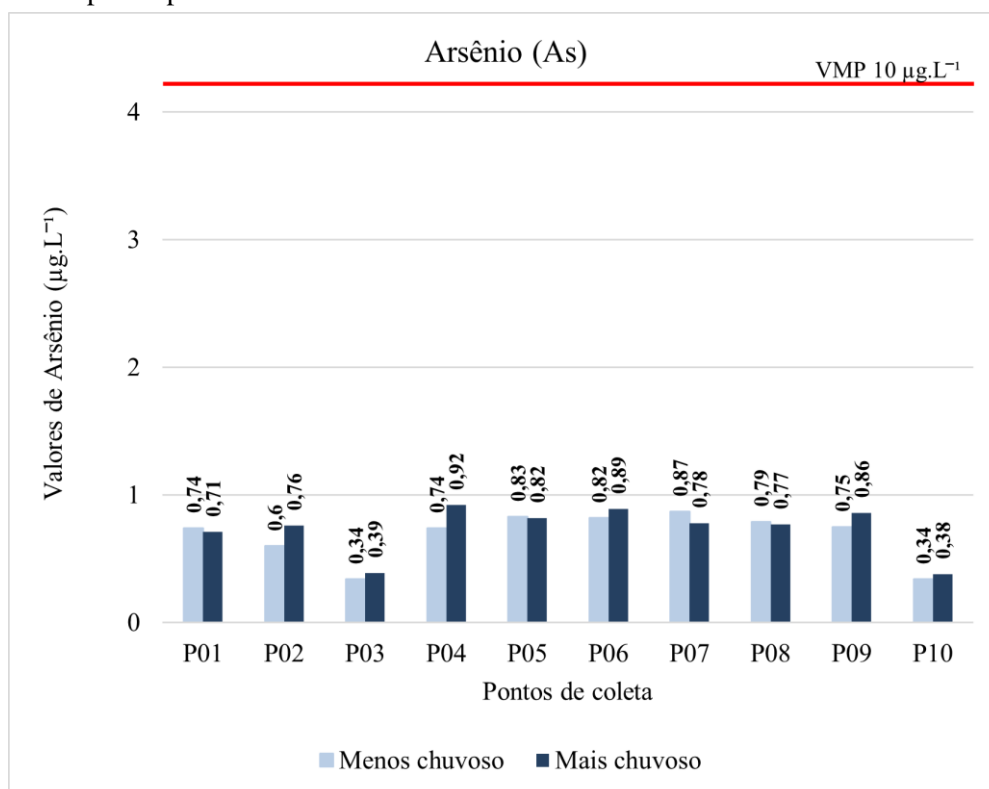
Segundo a CETESB (2020) o arsênio é liberado ao ambiente por fontes naturais (poeiras e vulcões) e antropogênicas, como mineração de metais não ferrosos e fundição, aplicação de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira e incineração de lixo. O transporte e distribuição do arsênio na água dependem da sua forma química e de interações com outros materiais presentes no meio. O arsênio é insolúvel em água, mas muitos compostos de arsênio são solúveis e podem contaminar a água subterrânea. O arsênio é introduzido na água por dissolução de rochas e minérios, efluentes industriais, incluindo resíduos de mineração, e via deposição atmosférica.

O arsênio presente no solo forma complexos insolúveis com óxidos de ferro, alumínio e magnésio e, nesta forma, o metal apresenta pouca mobilidade. No entanto, o arsênio pode ser liberado da fase sólida sob condições redutoras, resultando em formas de arsênio com mobilidade, as quais podem lixiviar para a água subterrânea ou escoar para águas superficiais (CETESB, 2020).

No presente estudo todos os pontos (Figura 12, Tabela 1) estão abaixo do que determina a resolução CONAMA 357/2005, de até 10 µg L⁻¹. De maneira geral, o elemento é mais frequentemente encontrado em águas subterrâneas do que em águas superficiais, e está relacionado com o processo de lixiviação de rochas e sedimentos (Cunha; Duarte, 2008; Machado, 2010). Algumas regiões de Portugal enfrentaram problemas sanitários devido à poluição por arsênio das águas naturais, designada por hidroarsenismo. Em Mirandela, valores de arsênio alcançam 800 µg/L, em águas subterrâneas, e 60 µg/L em águas superficiais (Pereira; Cordeiro, 2005; Ávila *et al.*, 2006).

No âmbito nacional, Costa *et al.* (2015) determinaram valores de arsênio em águas superficiais que variaram entre 57,70 e 414 µg/L. Porém, a influência antrópica na existência destas elevadas concentrações não pode ser descartada, já que a região, da pesquisa citada, o quadrilátero férreo do estado de Minas Gerais, apresenta um histórico de mais de 300 anos de exploração de ouro, Fonseca (2018) afirma o ouro é um elemento encontrado comumente associado ao arsênio e a sua mineração é capaz de liberá-lo para o meio ambiente. Em águas amazônicas, no tocante a arsênio, ocorrem como compostos solúveis orgânicos e inorgânicos, e em sólidos, onde ocorre principalmente adsorvido ou absorvido a óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês (Scarpelli, 2010).

Figura 12. Gráfico das médias do elemento Arsênio (As) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

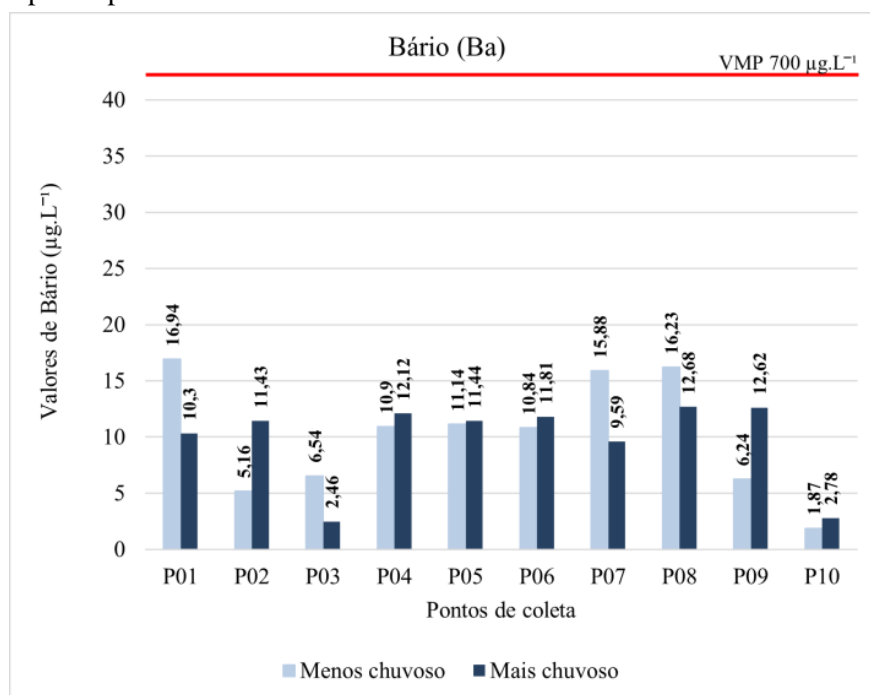
A principal fonte de bário no ar atmosférico é a emissão industrial, particularmente combustão de carvão e óleo diesel e incineração de resíduos. A concentração do metal no ar geralmente é menor que $0,05 \mu\text{g m}^{-3}$, com relato de valores entre $0,00015$ e $0,95 \mu\text{g m}^{-3}$ (CETESB, 2020).

A queima de combustíveis fósseis também pode liberar o metal. O tempo de permanência das partículas no ar depende do tamanho, mas invariavelmente estas acabam se depositando no solo. Emissões na água podem ocorrer durante a purificação do minério barita e o subsequente descarte dos efluentes. O bário é encontrado em muitos alimentos e a maioria contém menos de $0,002 \text{ mg g}^{-1}$, exceto em castanhas do Brasil que podem conter altas concentrações do metal, até 4 mg g^{-1} (CETESB, 2020).

Consoante a Figura 13, nota-se que todos os resultados (Tabela 1), referente ao elemento bário, estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05. Em oposição, o estudo de Santos *et al.* (2013) na cidade de Manaus-AM, encontrou elevadas concentrações de bário em suas análises, e justificaram a presença do metal ao substrato geológico que está presente no entorno do lago Balbina.

No entanto, a pesquisa desenvolvida por Paraense (2019) ao avaliar as características físico-químicas das águas superficiais da bacia do Paracuri em Belém – PA, identificou o bário nos padrões estabelecidos pela resolução para corpos hídricos classe 2. Além desse, o estudo de Teixeira (2016) encontrou valores de Ba em conformidade com as normas, variando entre $1 \mu\text{g L}^{-1}$ e $59 \mu\text{g L}^{-1}$, nas águas das minas de ferro da serra norte, Carajás-PA.

Figura 13. Gráfico das médias do elemento bário (Ba) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023)

A presença do Chumbo (Pb) na água ocorre por deposição atmosférica ou lixiviação do solo (CETESB, 2009). O Pb é um dos metais que é acumulado ao longo da cadeia alimentar. Sua toxicidade é afetada pelo pH, dureza, teor de matéria orgânica e pela presença de outros metais. As concentrações de Pb nas águas de rios podem variar de 0,007 a 3,8 mg L⁻¹ (Boaventura, 1994). Em rochas sedimentares, os maiores valores aparecem em folhelhos, com média de 20 mg kg⁻¹, enquanto que em rochas carbonáticas os valores médios detectados estão em torno de 9 mg kg⁻¹ (Siegel, 1979). A química do Pb em sistemas aquáticos é altamente complexa, porque este elemento pode existir em múltiplas formas, sendo suas concentrações em águas superficiais dependente principalmente do pH e de teor de sais dissolvidos na água. Na maior parte dos ambientes aquáticos, é uma das espécies menos móveis, podendo precipitar nos sedimentos (Boaventura, 1994). As águas naturais contêm chumbo resultante de lixiviação de constituintes do solo, em concentração de 0,2 a 0,6 mg L⁻¹ (Boaventura, 1994). As doses letais para peixes variam de 0,1 a 0,4 mg L⁻¹, embora alguns resistam até 10 mg L⁻¹ em condições experimentais (CETESB, 2009).

Segundo a CETESB (2009) o Pb está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos. Nestes, o chumbo tem ampla aplicação industrial, como na fabricação de baterias, tintas, esmaltes, inseticidas, vidros, ligas metálicas etc.

A Figura X mostra a dinâmica de chumbo encontrada na região da microbacia do Murucutu, se destacam nesse contexto os pontos P01, P07 e P08, com as maiores médias, tanto para período menos chuvoso quanto para o mais chuvoso, ou seja, a área que engloba as águas do rio Guamá. Apesar disso, todos os valores exibidos na Figura X e na Tabela X, estão em conformidade com o VMP da Resolução 357/2005.

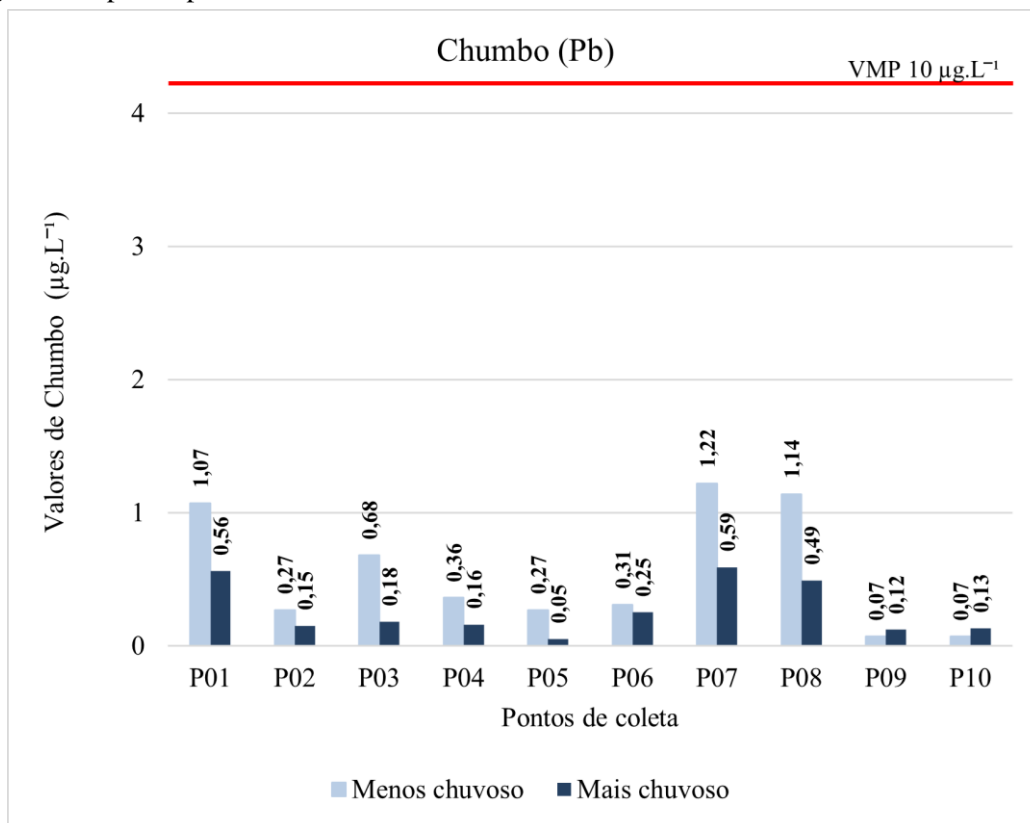
De maneira semelhante, Carvalho (2001) averiguou o histórico da composição isotópica do chumbo e da concentração de metais pesados em testemunhos de sedimentos do lago Água Preta e concluiu que os maiores valores da razão 206Pb/207Pb foram encontrados próximos a barragem do lago, que recebe influência constante da água bombeada do rio Guamá, ou seja, as médias dos teores de metais pesados provavelmente refletem a contribuição dos sedimentos em suspensão do rio Guamá no lago Água Preta.

Gomes *et al.* (2021) avaliaram a ocorrência de chumbo total, entre outros elementos, em mananciais de abastecimento de água, ressaltou, segundo dados do SISAGUA, entre 2014 e 2018, 30,3% dos municípios brasileiros monitoraram e reportaram a ocorrência de chumbo em mananciais de abastecimento de águas, o que corresponde a 4,0% dos municípios da região Norte, 0,9% dos municípios da região Nordeste, 45,1% dos municípios da região Sudeste, 58,9% dos municípios da

região Sul e 42,4% dos municípios da região Centro-Oeste. De acordo com o mesmo autor não houve dados referentes a chumbo no estado do Pará.

Além disso, o fato de as maiores percentagens estarem nas regiões sul e sudeste podem estar relacionadas com os maiores teores totais de chumbo nos solos serem encontrados nas regiões supracitadas, sendo esses reflexos da contribuição de rochas máficas para a formação dos solos (Pierangeli *et al.*, 2001).

Figura 14. Gráfico das médias do elemento chumbo (Pb) nos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta para o período menos e mais chuvoso.



Fonte: Autores (2023).

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A análise de correlação permitiu observar as seguintes correlações ($0,40 \geq R^2 \leq 1,00$): Al/Cr, Al/Mn, Al/Fe, Al/Ba, Al/Pb, Al/turbidez, Cr/Mn, Cr/Fe, Cr/Ni, Cr/As, Cr/Ba, Cr/Pb, Cr/turbidez, Mn/Fe, Mn/Ni, Mn/As, Mn/Ba, Mn/Pb, Mn/turbidez, Fe/Ni, Fe/As, Fe/Ba, Fe/Pb, Fe/turbidez, Ni/Cu, Ni/As, Ni/Pb, Ni/turbidez, As/Ba, As/pH, As/turbidez, Pb/turbidez, pH/turbidez, foi possível observar a correlação entre os elementos estudados, mas observa-se a turbidez com forte correlação com os estes elementos, com exceção somente para o Cu e Zn, ambos elementos não tiveram nem um tipo de correlação (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação de Spearman para todos os dados obtidos na bacia do Murucutu e no ponto do rio Guamá.

| Variável | Al | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Zn | As | Ba | Pb | pH | Turbidez |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Al | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Cr | 0,70 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Mn | 0,57 | 0,81 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Fe | 0,64 | 0,88 | 0,92 | 1,00 | | | | | | | | |
| Ni | 0,37 | 0,63 | 0,62 | 0,64 | 1,00 | | | | | | | |
| Cu | -0,02 | 0,24 | 0,21 | 0,30 | 0,53 | 1,00 | | | | | | |
| Zn | 0,15 | 0,14 | 0,25 | 0,17 | 0,11 | 0,07 | 1,00 | | | | | |
| As | 0,09 | 0,64 | 0,70 | 0,63 | 0,58 | 0,38 | -0,07 | 1,00 | | | | |
| Ba | 0,43 | 0,60 | 0,72 | 0,62 | 0,51 | 0,06 | 0,32 | 0,64 | 1,00 | | | |
| Pb | 0,87 | 0,89 | 0,83 | 0,87 | 0,55 | 0,19 | 0,26 | 0,33 | 0,56 | 1,00 | | |
| pH | -0,16 | 0,21 | 0,36 | 0,35 | 0,32 | 0,35 | -0,01 | 0,45 | 0,21 | 0,10 | 1,00 | |
| Turbidez | 0,66 | 0,86 | 0,85 | 0,87 | 0,56 | 0,14 | 0,21 | 0,50 | 0,71 | 0,87 | 0,31 | 1,00 |

Fonte: Autores (2023)

Por meio da análise da Tabela 2, evidencia-se a alta correlação entre ferro e manganês ($r=0,92$), com a maior correlação determinada. Esse panorama pode ser explicado pela abundante presença dessas substâncias em águas de abastecimento público do Brasil, dependendo das características geoquímicas de cada região hidrográfica (Davis; Masten, 2016; Almeida *et al.*, 2019).

Ademais, na Amazônia diversas comunidades convivem com a presença desses metais em suas águas (Azevedo, 2019). Ribeiro (2023) esclarece ainda que ferro e manganês são encontrados quase sempre juntos na natureza. De forma complementar, o manganês possui propriedades físico-químicas que contribuem na obtenção do gusa, ferro-ligas aços e aços especiais, exercendo função de agente dessulfurante, oxidante (minério) e desoxidante (metálica) (Garcia, 1999).

Nesse sentido, Valentini *et al.* (2021) ao analisar a estatística de correlação e de variância do monitoramento da água bruta da Estação de Tratamento de Água em Terras Baixas – Pelotas/RS, também concluiu que as variáveis químicas, ferro e manganês, apresentam forte correlação entre si, mostrando a existência de um fator de origem em comum entre elas.

CONCLUSÃO

É importante ressaltar que a avaliação espaço temporal das concentrações dos elementos-traços é um processo contínuo, que deve ser realizado regularmente, a fim de monitorar possíveis mudanças ao longo do tempo. Para isso, é necessário estabelecer uma colaboração entre órgãos governamentais, instituições de pesquisa e a população local, que pode fornecer informações adicionais sobre atividades que possam influenciar na qualidade da água.

Em suma, a avaliação espaço temporal das concentrações dos elementos-traços nas águas superficiais da bacia do Murucutu, Pará, Brasil, é fundamental para garantir a preservação desse recurso natural e a segurança da população que depende dessas águas para suas necessidades diárias. A identificação das concentrações e a compreensão das variações espaciais e temporais dos elementos-traços possibilitarão a implementação de medidas de controle e prevenção, visando a saúde ambiental e humana. Além de elementos que possuem altos valores nas análises, devido a geologia da nossa região, que é carregada de metais. Dito isto, é necessário que se faça análise com maior número de pontos e uma maior quantidade de meses, para que se tenha uma maior amostragem para futuros trabalhos na região.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, *et al.* Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará – Belém – PA (Analysis of water quality parameters as a result of the effects of the rainfall on the Guajará bay - Belém - PA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 661-680, 27 maio 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p661-680>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333883314_Analise_de_Parametros_de_Qualidade_da_Agua_em_Decorrenca_de_Efeitos_da_Precipitacao_na_Baia_de_Guajara_-_Belem_-_PA. Acesso em: 05 ago. 2023.
- ALMEIDA, *et al.* Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 1-11, 2 abr. 2019. *Lepidus Tecnologia*. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i2.29520>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29520>. Acesso em: 05 ago. 2023.
- ALMEIDA NETO; MACENA; OLIVEIRA. **Análise da Concentração de Alumínio Residual no Rio Gramame Proveniente dos Efluentes da ETA-Gramame, João Pessoa-PB**. 2016. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/analise-da-concentracao-de-aluminio-residual-no-rio-gramame-proveniente-dos-efluentes-da-eta-gramame-joao-pessoa-pb/>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ALSDORF, D.E., Rodríguez, E., Lettenmaier, D.P., 2007. Measuring surface water from space. **Revista Geophys.** 45, RG2002. <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>. Acesso: 23 set. 2022.
- ALVES, C. M. R.F. **Especiação de Metais Pesados em Sedimentos Aplicados à Bacia Hidrográfica do Rio Ave**. 2002. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Química, Porto, 2002. Acesso: 23 jun. 2022.
- ANA (Brasil), 2019. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil acional de Águas. Brasília. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view. Acesso: 23 set. 2022.
- ARINE, D. R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica**. 2000.138f. Dissertação (Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações) – Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Acesso: 23 jun. 2022.
- ARAÚJO JÚNIOR, A.C.R., 2015. Antropogeomorfologia da bacia hidrográfica do murutucu: abastecimento hídrico, uso e ocupação em Belém-PA. **Revista Raega**. 34, 98-122. <https://doi.org/10.5380/raega.v34i0.37539>. Acesso: 02 out. 2022.
- ARAÚJO, *et al.* Avaliação do Teor de Ferro dos Principais Sistemas de Abastecimento de Água da RMR/PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **Anais [...] [S.L]:** Ibeas, 2016. p. 1-7. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-039.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- ÁVILA, *et al.* Arsénio nos solos, sedimentos e águas na envolvente da mina do Tuela (Vinhais, NE Portugal). In: Congresso Nacional de Geologia, 7., 2006, Estremoz. **Volumes**. [S.L]: Sociedade Geológica de Portugal, 2006. p. 443-446. Disponível em: <https://eu-central-1.linodeobjects.com/socgeol-files/production/documents/924/original.pdf?1651938712>. Acesso em: 02 set. 2023.
- AZEVEDO. **Utilização de filtro artesanal a base de zeólita para remoção de ferro e manganês de água subterrânea em comunidade na Amazônia**. 2019. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/acervo-tecnico/filtro-artesanal-zeolita-ferro/>. Acesso em: 02 set. 2023.
- BAGGIO FILHO. **Contribuições Naturais e Antropogênicas para a Concentração e Distribuição de Metais Pesados em Água Superficial e Sedimento de Corrente na Bacia do Rio do Formoso, Município de Buritizeiro – MG**. 2008. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7KKGJF>. Acesso em: 16 ago. 2023.

BAHIA, *et al.* Avaliação Hidrogeoquímica dos Recursos Hídricos na Área de Abrangência do Parque Estadual do Utinga – Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22928>. Acesso em: 20 out. 2023.

BAPTISTA. **Avaliação da Exposição Ambiental ao Cromo na População Residente no Entorno de Curtumes em Rondônia**. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Saúde Pública, Fiocruz - Fundação Osvaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/24688/fernanda_baptista_ensp_mest_2012.pdf;jsessionid=BDF770CD449E0EC8DF3021233516FD2B?sequence=1. Acesso em: 12 ago. 2023.

BENTO. **Análise Geoquímica Ambiental Multielementar na Caracterização da Qualidade da Água Superficial do Lago da Barragem de Três Marias-MG: Contribuições Naturais e Antropogênicas para as Concentrações e Distribuições dos Parâmetros de Qualidade de Água**. 2020. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/2631>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL, N.M.Q.X., Neto, A.B.B., Paumgarten, A.E.A., Silveira, J.M.Q.X., Silva, A.A., 2021. Análise multitemporal da cobertura do solo do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará. **Brazilian Journal of Development**. 7(4), 36109-36118. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-193>. Acesso: 14 agos. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005; 2005, 27p. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso: 01 agos. 2022.

BOAVENTURA, R. **Indicadores de qualidade de água**. 1994, FEUP. Acesso: 23 set. 2022.

BUNCHAFT, G., Kellner, S.R.O. (1999). *Estatística sem mistérios*. (2nd ed.). Vozes. Acesso: 23 set. 2022.

CARDOSO, *et al.* Estudo de Cromo nas Águas e Sedimentos de Rios Localizados na Região Amazônica do Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 397–412, 2015. Disponível em: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/53512>. Acesso em: 12 ago. 2023.

CARDOSO. **Verificação da Qualidade da Água e dos Sedimentos no Rio Tietê entre as Barragens de Promissão e Ibitinga**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/1bdd593c-ba8c-4a1e-bb41-398201ebf926>. Acesso em: 12 ago. 2023.

CARVALHO, F.I.M., Lemos V.P., Dantas Filho H.A., 2015. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Revista Virtual de Química**. 7, 2221-2241. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150132>. Acesso: 23 set. 2022.

CARVALHO. **Investigação do registro histórico da composição isotópica do chumbo e da concentração de metais pesados em testemunhos de sedimentos no Lago Água Preta, região metropolitana de Belém-Pará**. 2001. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/14922>. Acesso em: 02 set. 2023.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Série relatórios. 2009. Acesso: 15 out. 2022.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo). **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Série relatórios. 2020. Acesso: 15 out. 2022.

CONAMA. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005**. 17 mar. 2005. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

CONEGLIAN, *et al.* **Avaliação dos índices de qualidade da água bruta de um manancial em área urbana**. 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/cc040977-fba1-42ff-a162-8eebc252b57e/content>. Acesso em: 05 ago. 2023.

COSTA, *et al.* Geochemical mapping of arsenic in surface waters and stream sediments of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Rem: Revista Escola de Minas**, [S.L.], v. 68, n. 1, p. 43-51, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680077>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/wxm8cDzRqkLZHbNY64t7cbP/?lang=en>. Acesso em: 02 set. 2023.

COSTA, F.E.V., Sombra, D., Brasil, A.P.M.S., Silva, S.L.B., 2021a. A complexidade da questão dos rios urbanos nas cidades amazônicas: o caso de Belém/PA, in: Ribeiro, W.O., Brasil, A.P.M.S., Costa, F.E.V., (Eds.). **Cidades amazônicas: formas, processos e dinâmicas recentes na região de influência de Belém. EDUEPA, Belém**. pp. 240-274. Acesso: 25 ago. 2022. A

COSTA, G. M. M.; Ribeiro, H. M. C.; Pantoja, D. N. S. M.; Pontes, A. N.; Coutinho, E. C.; Bordalo, A. O.; Meireles, R. R.. Avaliação do efeito da sazonalidade na qualidade da água superficial no rio Guamá, Belém, PA. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.545-560. 2021b. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0043>. Acesso: 05 fev. 2022. B

CUNHA; DUARTE. Remoção de Arsênio em Águas para Consumo Humano. **Repositorium - Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental (Apesb)**, [S.L.], v. 13, n. -, p. 1-11, out. 2008. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18504>. Acesso em: 02 set. 2023.

DAVIS; MASTEN. **Princípios de Engenharia Ambiental**. [S.L]: AMGH Editora Ltda, 2016. 837 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=SPa0DAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 set. 2023.

DUARTE. Ferro – Um Elemento Químico Estratégico que Permeia História, Economia e Sociedade. **Química Nova**, [S.L.], p. 1146-1153, 2019. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170443>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/7LP35DWH5m6XKVMckrDtKQc/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 ago. 2023.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Water Quality Criteria, Washington, D.C.** 595 p., 1972. Acesso em: 15 jan. 2023.

FARIAS. **Comunidade Perifítica Associada às Raízes da Macrófita Aquática *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms no Lago Água Preta (Belém-Pará)**. 2020. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020. Disponível em: <https://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1682/3/Comunidade%20perif%20c3%a0adtica%20associada%20c3%a0s%20ra%20c3%a0adzes%20da%20macr%20c3%a0b3fita%20aqu%20c3%a0ltica%20Eichhornia%20Crassipes%20%28Mart.%29%20Solms%20no%20Lago%20c3%a0gua%20Preta%20%28Bel%20c3%a0m-%20Par%20c3%a0%29.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FERNANDES, I.R.L., Fortes, A.P., Teles, I.C.S., Souza, R.D., Pinto, L. C., 2021. Contaminação parasitária das águas dos mananciais do Utinga e em residências em Belém, Pará, Brasil. **Revista Destaques Acadêmicos**. 13(3), 29-43. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v13i3a2021.2859>. Acesso: 28 set. 2022.

FONSECA. **Um Estudo Sobre o Arsênio: Toxicidade, Liberação para o Meio Ambiente, Métodos de Tratamento e Sua Relação com a Mineração de Ouro**. 2018. 32 f. Monografia (Especialização) - Curso de Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://demin.ufmg.br/tcc/00043.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

GARCIA. **O manganês e seus usos industriais**. 1999. 97p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geociências, Área de Administração e Política de Recursos Minerais, Instituto de Geociências, UNICAMP.

GITHAIGA, *et al.* Water quality assessment, multivariate analysis and human health risks of heavy metals in eight major lakes in Kenya. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 297, p. 113410, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113410>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721014729>. Acesso em: 10 ago. 2023.

GOMES, *et al.* Ocorrência de chumbo, cromo e mercúrio em mananciais de abastecimento e em água de consumo humano no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 5, n. 18, p. 1-18, 5 maio 2021. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v18e5>. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/506/63>. Acesso em: 02 set. 2023.

GRILO JUNIOR, *et al.* Avaliação da Qualidade Biológica, Microbiológica e por Metais Pesados das Águas dos Principais Reservatórios do Rio Grande do Norte. **Holos**, [S.L.], v. 4, p. 1-12, 24 dez. 2019. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2019.4020>. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4020/pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023.

GUEDES, *et al.* **Aprender Fazendo Estatística Estatística Descritiva**. [s.l: s.n.]. 2005. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes_et_al_Estatistica_Descritiva.pdf>. Acesso em: 15 Ago. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS**, 2021. Acesso em: 27 jan. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades - Belém**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em: 27 jan. 2023.

JAISHANKAR, *et al.* 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>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427717/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. **Boca Raton: CRC Press**, 2001. 413 p. Acesso em: 15 jan. 2023.

KOMY, Z.; Roekens, E.; Van Grieken, R.. Analysis of rain water by differential-pulse stripping voltammetry in nitric acid medium. **Analytica Chimica Acta**, [S.L.], v. 204, p. 179-187, 1988. DOI 10.1016/s0003-2670(00)86357-6. Acesso: 23 jun. 2022.

LOIOLA. **Avaliação dos Índices de Qualidade da Água e Concentrações de Metais no Igarapé do Mindu em Período de Cheia e Seca**. 2022. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, 2022. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/38698/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Sara%20Loiola.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2023.

MACHADO. **Contribuição para o desenvolvimento de metodologia analítica aplicada à determinação de arsênio em águas superficiais**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão da Água, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2010. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/5019/1/Machado_2010.pdf. Acesso em: 02 set. 2023.

MALSIU, *et al.* Assessment of Heavy Metal Concentrations with Fractionation Method in Sediments and Waters of the Badovci Lake (Kosovo). **Journal of Environmental and Public Health**, [S.L.], v. 2020, p. 1-14, 18 fev. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/3098594>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jep/h/2020/3098594/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

MARQUES, *et al.* Seasonal variations of water quality in a highly populated drainage basin, SE Brazil: water chemistry assessment and geochemical modeling approaches. **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 75, n. 24, p. 1-20, dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-6297-7>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/311578575_Seasonal_variations_of_water_quality_in_a_highly_populated_drainage_basin_SE_Brazil_water_chemistry_assessment_and_geochemical_modeling_approaches. Acesso em: 10 ago. 2023.

MARQUES, A. L. B.; Chierice, G. O. Trace Nickel Determination with phenyldithiocarbamate in Sea Water, by Adsorptive Stripping Voltammetry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 04, n. 1, p. 17-19, 1993. Acesso: 23 jun. 2022.

MARTINS. **Avaliação das Águas Superficiais Sob Uso e Ocupação na Sub - Bacia do Rio Candeias/RO amazônia Ocidental**. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2009. Disponível em: https://www.rioterterra.org.br/pt/wp-content/uploads/2011/07/avaliacao_das_aguas_superficiais.pdf. Acesso em: 16 ago. 2023.

MATTA, *et al.* Comportamento do Nível Estático e do Fluxo Hídrico Subterrâneo do Sistema Hidrogeológico Superior da Bacia Hidrográfica do Murucutu Belém-PA. In: Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional De Perfuradores De Poços /, 16., 2010, São Luiz. **Anais [...]**. [S.L]: Abas, 2010. p. 1-16. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23122>. Acesso em: 11 ago. 2023.

MELO, *et al.* Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. **Química Nova**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 22-29, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000100005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NbJ83SY4DvKn8bzXFcJBcHt/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

MENDES, *et al.* Variações de Parâmetros Abióticos nas Águas do Rio Guamá, Belém (PA). **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 173, 2020. Disponível em: <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/330>. Acesso em: 25 set. 2023.

MORUZZI; REALI. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 29-43, abr. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/cbf6f103-7d28-40b7-b4a2-4cadcba5a130>. Acesso em: 12 ago. 2023.

MOREIRA, F.S., Dias, G.F.M., Vitorino, M.I., Silva, J.C.C., 2019. Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 12(7), 2716-2728. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/242148/34639>. Acesso: 03 dez. 2022.

OLIVEIRA; DIAS; RIBEIRO. Avaliação de Metais na Microbacia do Rio Dourados em Águas Superficiais utilizando o Índice de Stoner. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 15., 2003, Curitiba. **Anais [...]**. [S.L]: ABRHidro, 2003. p. 1-9. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/154/149.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023.

OLIVEIRA, *et al.* Transporte de Metais em Águas Superficiais do Rio Solimões na Região da Tríplice Fronteira, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 15., 2018, Aracajú. **Anais [...]**. [S.L]: Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, 2018a. p. 197-199. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aline-Bernegossi/publication/331357554_Sublethal_effects_of_caffeine_in_Daphnia_magna_life_cycle_using_a_new-term_endpoint/links/5f567dc3a6fdcc9879d62356/Sublethal-effects-of-caffeine-in-Daphnia-magna-life-cycle-using-a-new-term-endpoint.pdf#page=198. Acesso em: 16 ago. 2023.

OLIVEIRA, *et al.* Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 599-605, jun. 2018b. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018152875>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/L65zSn73fgMFTc6cCFTDYVm/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

OLIVEIRA; LOPES. Avaliação Geoquímica em Águas Superficiais e Sedimentos Fluviais na Bacia do Córrego Paciência. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 32, n. 70, p. 813-836, jun. 2022. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/28249/20024>. Acesso em: 02 set. 2023.

PAPA, F., Crétaux, J.F., Grippa, M. et al., 2023. Water Resources in Africa under Global Change: Monitoring Surface Waters from Space. **Surv Geophys.** 44, 43-93. <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09700-9>. Acesso: 23 jul. 2023.

PARAENSE. **Avaliação físico-química das águas superficiais da bacia do Paracuri, Belém - PA.** 2019. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/3103>. Acesso em: 02 set. 2023.

PEREIRA; CORDEIRO. Effects of Tin-Tungsten vein mineralization on groundwater geochemistry of Sá-Santa Valha-Sonim region of northeast Portugal. In: Second Workshop of the Iberian Working Group of the IAH Commission on Hardrock Hydrogeology, 2006, Évora. **Proceedings of the Second Workshop of the Iberian Working Group of the IAH Commission on Hardrock Hydrogeology.** Évora: António Chambel, 2005. p. 123-134.

PEREIRA, *et al.* Environmental chemical study of the Murucupi river – Barcarena, PA, Brazil impacted area for the aluminum production. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 62, 20 dez. 2007. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.34>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92820308.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2023.

PIERANGELI, *et al.* Efeito do pH na adsorção-dessorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 269-277, jun. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832001000200003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/8NvP5MrwbBfKN5cfPWkvNJw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 set. 2023.

RIBEIRO. **Ferro e manganês na água: “A dose faz o veneno”.** 2023. Disponível em: <https://hidrogeron.com/ferro-e-manganes-na-agua-a-dose-faz-o-veneno/>. Acesso em: 02 set. 2023.

RIBEIRO, *et al.* Avaliação Preliminar da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Maratauíra do Município de Abaetetuba – PA. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 10, n. 19, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2262>. Acesso em: 20 out. 2023.

ROCHA, A.V.S., Rodrigues, R.C., Araujo, B.M.N., Moura, A.S., Carmo, L.M., Monteiro, G.G.T.N., Souza, J.V.S., 2021. Ocorrência e identificação de fitonematoides em cultivos agroecológicos de coentro no município de Castanhal, Pará, Amazônia. **Revistas Craibeiras de Agroecologia.** 6(1), e 10395. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/10395>. Acesso: 25 out. 2022.

ROCHA; AZEVEDO. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Espinhaço**, [S. l.], v. 4, n. 2, 2015. DOI: 10.5281/zenodo.3962508. Disponível em: <https://revistas.ufvjm.edu.br/revista-espinhaco/article/view/71>. Acesso em: 16 Ago. 2023.

RODRIGUES; VIEIRA; MENDES. Elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos como geoindicadores de mudanças ambientais antropogênicas em sistema fluvial da Baixada Fluminense. **Geography Department University of Sao Paulo**, [S.L.], v. 41, n. -, p. 1-16, 28 abr. 2021. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2021.171126>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/171126/169749>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SALES, *et al.* Esse Rio é Minha Rua: Análise da Qualidade da Água do Rio Tapajós na Orla Portuária de Santarém-Pa. In: SALES, Reinaldo Eduardo da Silva; SALES, Reginaldo da Silva. **Educação Ambiental e Cidadania: Pesquisa e Práticas Contemporâneas - Volume 1.** [S.L]: Editora Científica Digital, 2021. p. 1-470. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/livro-educacao-ambiental-e-cidadania-pesquisa-e-praticas-contemporaneas-volume-1>. Acesso em: 11 ago. 2023.

SANTOS, *et al.* Hidroquímica das Águas Superficiais da Área Urbana e Entorno da Cidade de Presidente Figueiredo – AM. In: Congresso De Iniciação Científica PIBIC/CNPQ, 2., 2013, Manaus. **Anais [...]**. [S.L]: PAIC/FAPEAM, 2013. p. 1-4. Disponível em: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4205/1/pibic_inpa.pdf. Acesso em: 02 set. 2023.

SCARPELLI, Arsênio na Bacia Amazônica. 2010. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/arsenico_bacia_amazonica.pdf. Acesso em: 02 set. 2023.

SHANKER; VENKATESWARLU. Chromium: environmental pollution, health effects and mode of action. **Encyclopedia Of Environmental Health**, [S.L.], p. 650-659, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-52272-6.00390-1>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262968071_Chromium_Environmental_Pollution_Health_Effects_and_Mode_of_Action. Acesso em: 12 ago. 2023.

SILVA, *et al.* Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-17, 16 abr. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2072>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/Y8MC7VfhjXF6CMRPKZ9bP6w/>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SILVA, *et al.* Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). **Scientia Plena**, [S.L.], v. 15, n. 12, p. 1-10, 28 jan. 2020a. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2019.124301>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338879325_Indices_de_qualidade_da_agua_no_sistema_de_captacao_de_agua_da_regiao_amazonica_Brasil/fulltext/5e310841458515072d6ab6d3/Indices-de-qualidade-da-agua-no-sistema-de-captacao-de-agua-da-regiao-amazonica-Brasil.pdf. Acesso em: 05 ago. 2023.

SILVA, *et al.* Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 1-24, 19 fev. 2020b. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2596>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2596>. Acesso em: 11 ago. 2023.

SILVEIRA; OKUMURA; YAMAGUCHI. Avaliação Preliminar da Qualidade das Águas do Ribeirão Morangueiro por Descarte Irregular de Lodo de Estação de Tratamento de Água. **Anuário do Instituto de Geociências**, [S.L.], v. 44, p. 1-9, 22 abr. 2021. Universidade Federal do Rio de Janeiro. http://dx.doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_35145. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/35145>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SELINUS, O. *et al.* Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children. **Applied Geochemistry**, v. 21, n. 9, p. 1613-1624, 2006. Acesso: 24 jul. 2022.

SIEGEL, F.R. Review of research on modern problems in geochemistry. Earth Sciences, United Nations Educational. **Scientific and Cultural Organization**, N.Y., vol. 16, 1979. Acesso em: 15 jan. 2023.

TEIXEIRA. **Estudo da Qualidade das Águas Superficiais e Estimativa de Background na Área das Minas de Ferro da Serra Norte, Carajás**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS) -Vale, Belém, 2016. Disponível em: <https://www.itv.org/wp-content/uploads/2018/03/Dissertacao-Sanderson-Teixeira.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

VALENTINI, *et al.* Análise estatística de correlação e de variância do monitoramento da água bruta da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas – Pelotas/RS. **Revista Thema**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 600-614, 26 out. 2021. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense. <http://dx.doi.org/10.15536/thema.v19.2021.600-614.1702>. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1702>. Acesso em: 02 set. 2023.

VARELA, *et al.* Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico no Rio Guamá, Município de Belém (Pará, Brasil). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 695–715, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e42020695-715. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8395. Acesso em: 20 out. 2023.

VEIGA. **Análises Físico-Químicas e Microbiológicas de Água de Poços de Diferentes Cidades da Região Sul de Santa Catarina e Efluentes Líquidos Industriais de Algumas Empresas da**

Grande Florianópolis. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em:

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/105056/Graziella_da_Veiga.pdf?sequence.

Acesso em: 12 ago. 2023.

XAVIER. **Análise Multitemporal da Cobertura do Solo do Parque Estadual do Utinga, Belém-Pa.** 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Matemática, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2018. Disponível em:

https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/612/1/TCC_AnaliseMultitemporalCobertura.pdf.

Acesso em: 10 ago. 2023.

ZULIANI, D.Q., Abreu, L.B., Curi, N., Carvalho, G.S., Costa, A.M., Marques, J.J., 2017. Elementos-traço em águas, sedimentos e solos da bacia do rio das mortes, minas gerais. **Revista**

Holos. 4, 308-326. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.5451>. Acesso: 30 set. 2023.

