



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

**Adriano Joaquim Neves de Souza**

**ÍNDICE DE RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL NOS  
SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO DO FURO DO MURIÁ,  
CURUÇÁ, PARÁ.**

Belém-PA

2023

**Adriano Joaquim Neves de Souza**

**ÍNDICE DE RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL NOS  
SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO DO FURO DO MURIÁ,  
CURUÇÁ, PARÁ.**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Área de concentração: Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Orientador: Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos

Co-orientador: Mauricio Willians Lima

Belém-PA

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)

---

D278Ã De Souza, Adriano Joaquim Neves de Souza  
ÍNDICE DE RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO  
DO FURO DO MURIÁ, CURUÇÁ, PARÁ. / Adriano Joaquim Neves de Souza De Souza. - 2023.  
67 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: Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos Santos  
Coorientador: Prof. Dr. Mauricio Willians Lima.

1. Elementos-traço. 2. Contaminantes. 3. Ecossistema. I. Santos, Maria de Lourdes Souza Santos,  
*orient. II. Título*


---

CDD 639.31


**Adriano Joaquim Neves de Souza**

**ÍNDICE DE RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL NOS  
SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO DO FURO DO MURIÁ,  
CURUÇÁ, PARÁ.**

BANCA EXAMINADORA


Documento assinado digitalmente  
 **MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS**  
Data: 27/10/2023 11:43:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

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

Documento assinado digitalmente  
 **SILVANA DO SOCORRO VELOSO SODRE**  
Data: 17/10/2023 15:11:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Documento assinado digitalmente  
 **FABIO CARNEIRO STERZELECKI**  
Data: 17/10/2023 08:18:57-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Fabio Carneiro Sterzelecki  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Fábio Campos Pamplona Ribeiro

Prof. Dr. Fábio Campos Pamplona Ribeiro  
Secretária de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade- SEMAS

Dedico este trabalho A minha Mãe Rita do Socorro da Silva Neves e a minha avó Jacira Neves que sempre acreditaram no meu potencial.

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me fortaleceu para que eu pudesse chegar até aqui, me ergueu e se fez presente nos momentos em que cheguei a imaginar que esse sonho não se tornaria uma realidade. Sem a minha fé nada teria se concretizado.

Agradecer as Supremas cortes: **Rita Neves** (Mother) e **Jacira Neves** (vó) por todo o aprendizado da vida, amo vocês.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria de Lourdes Souza Santos, meus agradecimentos pela compreensão, paciência na orientação e disponibilidade de todo o suporte necessário para a conclusão desta dissertação.

À toda equipe do Laboratório de Química Ambiental que me ajudaram na construção deste trabalho: Pedro Henrique (chefe), Rosinette Machado (Nette), Andrew Palheta (01), Matheus Aviz (brother of trance), Débora Monteiro (“Motora sem carteira”), Andria (Brow), Marcus (Literário), Mary Jane (Flor d Bastos), Talissa (Namias), Thais (21 horas), Wilton (rainha das compras fake).

Agradeço a **Mary Jane** (Tatiane Bandeira) pelo companheirismo, o cotidiano no laboratório e sempre está ao meu lado mesmo as vezes quase sempre estressando comigo kkkk que é bem normal, estaremos sempre juntos, digníssima Dama.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e aos docentes do Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGAQRAT), a CAPES por conceder auxílio financeiro, e a todos que contribuíram diretamente e indiretamente em minha formação, me proporcionando ensinamentos que me auxiliarão por toda a vida.

Agradeço aos meus amigos Wesley Xavier (pato), Camilo Matheus (Biologo), Walter Neto (neto bicolor), e José Victor (Nhonho), irmãos desde a 5ª série, Hipólito (viada) e Luciane (Malandragem). Além das amigas: Andria (Brow ufra), Débora Monteiro (“CNH chegou”), Débora PM and Adria que sempre aconselharam bastante na vida acadêmica e na vida, e quando precisa puxam a orelha.

A amiga Thami Corrêa pelos bons conselhos e a Brenda sagitariana (amorzinho) de mi corazion  
Aos meus amigos da vida – Diretoria 2015 que sempre estiveram nas aventuras nas festas, viagens, nas batalhas no dia a dia da universidade, parceiragem: Momo (Edinaldo Palheta), Adriano Augusto (Betta/Oleoso), Ruda Paiva (Passiva de Curralinho), Tácio Nobuyoshi (Japon-Irmão), Raulino Tadaeski (Maji boo/popoto), Michel Bandeira (Micha), Vardo Abreu (Valdo), Rodrigo Almeida (Mara-Codo) e Iurick (Demo).

“Eu miro nas estrelas, se errar eu já acertei a lua”  
- Evandro Guedes.

“Veni, vidi, vici” – Júlio Cesar (General Romano).

"Quero agradecer a mim por todo esse trabalho. Quero agradecer a mim por não ter me tomado dias livres. Quero agradecer a mim por nunca desistir. Quero agradecer a mim por sempre dar e tentar dar mais do que o que recebo. Quero agradecer a mim por simplesmente ser eu a todo momento". Snoop Dogg.

## RESUMO

O sedimento é considerado como sumidouro essencial para vários contaminantes, incluindo elementos traços que são adsorvidos e acumulados nos sedimentos de fundo devido à sua baixa solubilidade em água e alta afinidade de partículas. Contudo, os elementos traços e outros poluentes ligados aos sedimentos podem ser liberados, o que transforma os sedimentos como fonte desses elementos para a água. O litoral do estado do Pará possui o seu sistema hidrográfico e suas áreas de produção pesqueira distribuída nos 98.292 km<sup>2</sup> de águas interiores. Dentre os vários recursos hídricos destaca-se o Furo do Muriá de grande importância para o município de Curuçá, devido a sua dimensão espacial, que recebe um fluxo de embarcações artesanais e industriais intensos, com destaque ao desembarque pesqueiro. O presente estudo teve o objetivo de calcular o Índice de Risco Ecológico Potencial nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, com a finalidade de mostrar os possíveis níveis de contaminação por elementos traços (cobre, zinco e chumbo), e para realizar o teste apropriado utilizou-se os cinco elementos-traços (Cobre, zinco, ferro, manganês e chumbo). As coletas foram realizadas nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2015, com total de 56 amostras de sedimentos superficiais de fundo. As amostragens de sedimento foram feitas somente nas margens do Furo do Muriá, as amostras foram devidamente vedadas, etiquetadas e armazenadas em isopor com gelo, e foram transportadas para o Laboratório de Química Ambiental da UFRA. Posteriormente, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Química Ambiental da UNIOESTE - PR, a quantificação dos elementos traços foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica com chama (EAA/chama). Os dados obtidos foram submetidos aos testes estatísticos (Shapiro-wilk e mann-whitney), e foi calculado o Índice de Risco Ecológico Potencial, a qual permitiu avaliar o risco ambiental dos elementos-traços no local. O teste Shapiro Wilk foi realizado no trabalho e indicou que os dados dos elementos-traço, não apresentaram distribuição normal. Por outro lado, o teste não paramétrico de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ), que teve  $p = 7,64^{-50}$ , indicou diferença significativa entre as médias dos dados. Os valores médios do fator de contaminação (CF) ficaram que o  $Zn > Fe > Zn > Pb > Mn > Cu$ , para a sazonalidade local. Os elementos-traço Zn e Fe foram classificados de forma respectivamente considerável (<1 a 4) e moderado (2,7 a 2,9), enquanto para Cu (0,1 a 0,4), Mn (0,1 a 0,7) e Pb (0 a 0,7) os valores foram definidos como baixo (< 1). No índice de risco ecológico os dados para zinco, cobre e chumbo ficaram baixo (<40) indicando baixa contaminação desses elementos no Furo do Muriá. Sendo assim, é de suma importância a continuidade dos estudos neste ambiente para verificar e identificar possíveis mudanças nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá que é de relevância para as comunidades locais.

**Palavras-chave:** Elementos-traço, Contaminantes, Ecossistema.



## ABSTRACT

Sediment is considered an essential sink for several contaminants, including trace elements that are adsorbed and accumulated in bottom sediments due to their low water solubility and high particle affinity. However, trace elements and other pollutants bound to sediments can be released, which turns sediments into a source of these elements for water. The coast of the state of Pará has its hydrographic system and its fishing production areas distributed over 98,292 km<sup>2</sup> of inland waters. Among the various water resources, Furo do Muriá stands out, of great importance for the municipality of Curuçá, due to its spatial dimension, which receives an intense flow of artisanal and industrial vessels, with emphasis on fishing landings. The present study aimed to calculate the Potential Ecological Risk Index in the surface sediments of Furo do Muriá, with the purpose of showing the possible levels of contamination by trace elements (copper, zinc and lead), and to carry out the appropriate test used are the five trace elements (Copper, zinc, iron, manganese and lead). Collections were carried out in March, June, September and December 2015, with a total of 56 samples of surface bottom sediments. Sediment sampling was carried out only on the banks of Furo do Muriá, the samples were properly sealed, labeled and stored in Styrofoam with ice, and were transported to the UFRA Environmental Chemistry Laboratory. Subsequently, the samples were sent to the Environmental Chemistry Laboratory of UNIOESTE - PR, the quantification of trace elements was carried out by atomic absorption spectrophotometry with flame (EAA/flame). The data obtained was subjected to statistical tests (Shapiro-Wilk and Mann-Whitney), and the Potential Ecological Risk Index was calculated, which allowed the environmental risk of trace elements at the site to be assessed. The Shapiro Wilk test was performed in the work and indicated that the trace element data did not present a normal distribution. On the other hand, the Mann-Whitney non-parametric test ( $p < 0.05$ ), which had  $p = 7.64 \cdot 10^{-5}$ , indicated a significant difference between the data means. The average values of the contamination factor (CF) were  $Zn > Fe > Zn > Pb > Mn > Cu$ , for local seasonality. **Key words:** Trace Elements, contaminants, seasonality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo 3

Figura 1: Localização do Furo do Muriá, Curuçá-PA.....	46
Figura 2: Box-plot dos valores da matéria orgânica - MO (%), nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá. ....	53
Figura 3: Índice de geoacumulação (Igeo) dos elementos-traço no Furo do Muriá, Curuçá-PA, conforme sazonalidade da região. ....	54
Figura 4:Fator de Enriquecimento (FE) dos elementos-traço no Furo do Muriá, Curuçá-PA na sazonalidade da região.....	55
Figura 5: Fator de contaminação (Fc) dos elementos-traço na sazonalidade da região. ....	56
Figura 6:Índice de risco Individual na Sazonalidade da região Amazônica.....	57
Figura 7: Dendrograma dos Elementos-traço.....	59

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	10
1- INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2- OBJETIVOS .....	12
2.1- Objetivo Geral.....	12
2.2- Objetivos específicos .....	12
<b>3- JUSITIFICATIVA</b> .....	13
REFERÊNCIAS .....	14
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	16
<b>Estudo de Revisão dos elementos-traço nos sedimentos dos corpos Hídricos da região Amazônica, Brasil.</b> .....	16
<b>Introdução</b> .....	18
<b>Material e métodos</b> .....	19
<b>Desenvolvimento</b> .....	19
<b>Resultados e Discussão</b> .....	26
<b>Referências</b> .....	32
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	41
<b>RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL DOS ELEMENTOS-TRAÇO NO FURO DO MURIÁ-REGIÃO AMAZÔNICA-BRASIL</b> .....	41
1-INTRODUÇÃO .....	43
2- MATERIAL E MÉTODOS .....	45
2.1- Área de estudo .....	45
2.2- Análise do sedimento.....	47
2.3- Avaliação dos elementos traço em sedimentos.....	47
2.3.1- Índice de geoacumulação (Igeo) .....	47
2.3.2- Fator de enriquecimento (FE) .....	48
2.3.3- Fator de contaminação (FC).....	49
2.3.4- Índice de risco ecológico potencial (PERI).....	49
2.4- Estatística .....	50
3- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
3.1- Índice de geoacumulação (Igeo) .....	53
3.2- Fator de enriquecimento (FE) .....	54
3.3- Fator de contaminação (FC).....	55
3.4- Índice de risco ecológico potencial (IREP).....	56
3.5- Correlação de Spearman rs .....	58
3.6- Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA).....	59

4- CONCLUSÃO .....	60
REFERÊNCIAS .....	60

## CAPÍTULO 1

### 1- INTRODUÇÃO GERAL

A rápida urbanização, industrialização e transformação da terra resultou no acúmulo de poluição em ambientes costeiros e lacustres. Nesses ambientes os sedimentos são comumente conhecidos por serem os principais sumidouros de elementos-traços, quando as condições ambientais mudam, esses sedimentos também podem ser potenciais fontes de elementos-traços para vários organismos aquáticos, permitindo que estes elementos entrem na cadeia alimentar e, eventualmente, possam representar uma ameaça à saúde humana (CHAPMAN *et al.*, 1998; JORDÃO *et al.*, 2002; PAN & WANG, 2012; VIEIRA, *et al.*, 2017). Portanto, investigar o grau da poluição, em termos de elementos-traços em sedimentos e na água, pode servir para avaliar os riscos ecológicos, as fontes e os destinos potenciais nos ecossistemas aquáticos (SONG *et al.*, 2012; TIAN, *et al.*, 2020).

Os elementos-traço são preferencialmente adsorvidos ou complexados pelo material particulado em suspensão e as condições físico e químicas do ambiente podem fazer com que sejam precipitados ao sedimento de fundo (FÖRSTNER, 1989; TSAKOVSKI *et al.*, 2012; RABELLO, *et al.*, 2018), em concentrações bem reduzidas, geralmente em partes por milhão – ppm ou partes por bilhão – ppb (JORDÃO *et al.*, 2002; VIEIRA, *et al.*, 2017).

A presença dos elementos-traços no ambiente não se dá apenas como um impacto ambiental negativo, pois vários processos fisiológicos e bioquímicos no organismo de plantas e animais dependem da presença desses elementos-traços ditos essenciais, como é o caso de alguns elementos que participam das reações enzimáticas como ativadores (TRINDADE, 2010; ARAÚJO, *et al.*, 2017). Entretanto, quando esses elementos químicos essenciais à manutenção e ao equilíbrio da saúde, estiverem acima dos níveis seguros, há grande probabilidade de se tornarem nocivos ao ambiente, comprometendo o bem-estar dos organismos (DUARTE, 2014).

A poluição dos ecossistemas aquáticos, em sua maioria, tem origem em fontes pontuais e difusas, o que pode promover a degradação dos oceanos, mares, estuários e rios, tornando-se um problema ambiental de dimensões intercontinentais (MAANAN, 2008; GUSSO-CHOUERI *et al.*, 2018; BONSIGNORE *et al.*, 2018). De acordo Ben Mna *et al.*, (2021), as concentrações dos elementos-traço nos sedimentos superficiais podem

ser utilizados para calcular o grau de contaminação, a qual é definida pelo nível de concentração do elemento-traço em comparação com a sua concentração natural.

O Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP) é uma das várias ferramentas que foi desenvolvida ao longo dos anos para avaliação de contaminação de ambientes aquáticos e vem sendo para avaliar e determinar os níveis de contaminação dos elementos-traços de acordo com sua toxicidade frente à reação do ambiente à poluição (HAKANSON, 1980; PROTANO, *et al.*, 2014; GONZÁLEZ, *et al.*, 2018).

O IREP é a soma dos fatores de risco (contaminação, sensibilidade e resposta tóxica) ao ambiente dos elementos-traços nos sedimentos, e representa a sensibilidade da comunidade biológica relacionada com as substâncias tóxicas, a qual vai ilustrar o risco ecológico potencial causado pelos elementos (HAKANSON, 1980).

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar o índice de risco ecológico potencial (IREP) com dados de elementos-traços obtidos nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, localizado no município de Curuçá, cuja importância local ocorre não apenas pela atividade econômica, a pesca artesanal, mais também pelos usos múltiplos para as comunidades ribeirinhas, como por exemplo, a locomoção, as atividades do dia a dia e a pesca.

## 2- OBJETIVOS

### 2.1- Objetivo Geral

Avaliação de risco ecológico potencial por elementos-traço nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, Curuçá, PA.

### 2.2- Objetivos específicos

- Analisar as concentrações de cobre, ferro, manganês, zinco e chumbo nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá;
- Determinar o fator de contaminação (Fc) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá;
- Calcular os dados do fator de resposta tóxica (FRT) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá;
- Determinar o fator de sensibilidade (Fs) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá;
- Calcular o Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, em períodos sazonais diferentes da região, com base nos dados de cobre, zinco e chumbo.

### 3- JUSTIFICATIVA

Atualmente, o Brasil é um dos principais produtores aquícolas do mundo, dentre seus produtos mais comercializados estão relacionados tilápia, camarão e ostra. O Brasil é o quarto produtor na escala mundial de tilápia (*Oreochromis niloticus*) com 486,155 toneladas com crescimento 12,5% em 2020, a qual a principal espécie de peixe citada anteriormente com 60,6% de total da produção do Brasil. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISICULTURA, 2021).

Já dentre os crustáceos, tem destaque o camarão *Litopenaeus vannamei*, espécie mais produzida no Brasil, produzidos em larga escala para o consumo humano, além disso apresenta uma grande capacidade de bioacumulação de compostos orgânicos persistentes e elementos traço (WU, et al., 2017), igualmente a ostra *Crassostrea gazar* e *C. gigas*, são constantemente utilizadas para monitoramento ambiental, de poluentes dissolvidos na água (LU, et al., 2017). Sendo assim denota-se a importância de estudar o Furo do Muriá para compreender a relação da alimentação com os elementos-traço.

A urbanização cresceu rapidamente ao longo das costas e nas bacias hidrográficas no último século, e aumentou o escoamento e transporte de sedimentos, nutrientes, poluentes, produtos farmacêuticos e toxinas para os sistemas estuarinos (FREEMAN et al., 2019).

Grande parte dos corpos hídricos que atravessam as cidades brasileiras estão sofrendo deterioração, devido ao fato de muitos não possuírem coleta e tratamento de esgoto doméstico, sendo este descartado *in natura* nesses corpos d'água. No mais, um balanço do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) revela que 55,2% dos municípios brasileiros tinham serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, e que apenas 48% dos municípios brasileiros fizeram tratamento de seu esgoto, o que impacta negativamente na qualidade dos recursos hídricos (BRASIL, 2019).

Diante do exposto, surgiram os seguintes questionamentos: Qual a concentração dos elementos-traço no Furo do Muriá? A utilização de índices ecológicos em sedimentos superficiais dos estuários Amazônicos, como no Furo do Muriá, é aplicável? Ressalta-se que o Furo do Muriá, tem diversas utilizações para a região, como a navegação, a pesca e o lazer.



## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. D., DA OLIVEIRA FREITAS, M., DO CARMO MOURA, L., BAGGIO FILHO, H., & CAMBRAIA, R. P. Avaliação geoquímica ambiental do garimpo areinha: estudo da concentração e distribuição de metais pesados nos sedimentos e os danos à saúde humana. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 13(26), 98, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. Anuário 2020 da Piscicultura Nacional. 5. ed. Pinheiros, São Paulo: Peixe BR, 2021.

BEN MNA, H., HELALI, M.A., OUESLATI, W., AMRI, S., ALEYA, L. Spatial distribution, contamination assessment and potential ecological risk of some trace metals in the surface sediments of the Gulf of Tunis, North Tunisia, *Marine Pollution Bulletin* 170 112608, 2021.

BONSIGNORE, M.; MANTA, D.S.; SHARIF, E.A.A-T.; DÁGOSTINO, F.; TRAINA, A.; QUINCI, E.M.; GIARAMITA, L.; MONASTERO, C.; BENOTHMAN, M.; SPROVIERI, M. *Marine Pollution Bulletin*, v. 128, p. 340-352, 2018.

BRASIL – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Decreto Presidencial nº 8.141/2013. Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Diário Oficial da União. Brasília - DF, 2019. Disponível em: [https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/Plansab/Ver\\_saoatualizada07mar2019\\_consultapublica.pdf](https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Plansab/Ver_saoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf). Acesso em: 24 junho 2020.

CHAPMAN, P.M., WANG, F.Y., JANSSEN, C., PERSOONE, G., ALLEN, H.E. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 2221–2243, 1998.

DUARTE, D. A. B. G. Geografia da saúde nos municípios Lindeiros das margens paranaense e sul-mato-grossense do alto Rio Paraná e a hidrogeoquímica das ilhas Japonesa e Floresta (PR – MS). Dissertação de Mestrado em Geografia. Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2014. 161 p.

FÖRSTNER, U. Contaminated Sediments. In: BHATTACHARJI, S.; FRIEDMAN, G. M.; NEUGEBAUER, H. J.; SEILACHER, A. (Eds.). *Lectures on environmental aspects of particle-associated chemicals in aquatic systems (Lecture Notes in Earth Sciences 21)*. Berlin, Springer-Verlag. p. 6-74, 1989.

FREEMAN, L.A.; CORBETT, D.R.; FITZGERALD, A.M.; LEMLEY, D.A. QUIGG, A.; STEPPE, C.N. Impacts of urbanization and development on estuarine ecosystems and water quality. *Estuaries and Coasts*, Alemanha, v. 42, p. 1821-1838, 2019.

GONZALEZ, V.; VALLE, S.; NIRCHIO, M.; OLIVERO, J.; TEJEDA, L.; VALDELAMAR, J.; PESANTES, F.; GONZALEZ, K. Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM* vol 21 nº 41, 2018: 75 – 82.

GUSSO-CHOUERI, P.K.; ARAÚJO, G.S.; CRUZ, A.C.F.; STREMEL, T.R.O.; CAMPOS, S.X.; ABESSA, D.M.S.; RIBEIRO, C.A.O.; CHOUERI, R.B. *Science of the Total environment*, v. 628-629, p. 621-630, 2018.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach, *Water Res.* 14, 975-1001, 1980.

JORDÃO, C. P.; PEREIRA, M. G.; BELLATO, C. R.; PEREIRA, J. L.; MATOS, A. T. (2002). Assessment of water systems for contaminants from domestic and industrial sewages. *Environmental Monitoring and Assessment*, 79(1), 75-100.

LU, Guang-yuan et al. Oyster-based national mapping of trace metals pollution in the Chinese coastal waters. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 224, p.658-669, maio 2017.

MAANAN, M. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*, v. 153, p. 176-183, 2008.

PAN, K., WANG, W.X. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. *Sci. Total Environ.* 421, 3–16, 2012

PROTANO, C., et al. Heavy metal pollution and potencial ecological risks in rivers; a case study from Southern Italy. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 92, 75-80, 2014.

RABELLO, M. V. T., CESAR, R. G., CASTILHOS, Z., RODRIGUES, A. P., DE CAMPOS, T. M. P., WASSERMAN, J. C., & POLIVANOV, H. (2018). Risco ecológico potencial por metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (RJ). *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(3), 363-374.

TIAN, K., WU, Q., LIU, P., HU, W., HUANG, B., SHI, B., ZHOU, Y., KWON, B., CHOI, K., RYU, J., KHIM, S., WANG, T. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Environment International* Volume 136, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105512>.

TRINDADE, W, M. Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia. UFMG, Belo Horizonte, 2010.

TSAKOVSKI, S.; KUDŁAKB, B.; SIMEONOVA, V.; WOLSKAB, L.; GARCIA, G.; NAMIENIKB, J. Relationship between heavy metal distribution in sediment samples and their ecotoxicity by the use of the Hasse diagram technique. *Analytica Chimica Acta*, 719: 16-23, 2012.

Varol M, Sünbül M.R. Environmental contaminants in fish species from a large dam reservoir and their potential risks to human health. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 169, p. 507-515, 2019.

VIEIRA, L.; FROEHNER, S.; PAULA, G.; HALMEMAN, M.R.C. (2017). Geoacumulação de elementos-traços em sedimentos de ambientes aquáticos brasileiros, uma revisão e comparação entre um lago no norte do Paraná e as demais localidades. *Revista eletrônica Científica de Inovação e Tecnologia, Medianeira, Edição Especial SIAUT, E – 7059, 20 (8)*.

WU, YS, HUANG, SL, CHUNG, HC E NAN, FH (2017). Bioacumulação de chumbo e respostas imunes inespecíficas em camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) à exposição ao Pb. *Imunologia de Peixes e Mariscos*, 62, 116-123.

## **CAPÍTULO 2**

PADRONIZADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA  
GEOGRAFIA FÍSICA ISSN: 1984-2295

### **Estudo de Revisão dos elementos-traço nos sedimentos dos corpos Hídricos da região Amazônica, Brasil.**

Souza et al. 2023

Qualis: A2 Artigo Publicado na Revista Brasileira Geografia Física



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

## Estudo de revisão dos elementos-traço nos sedimentos dos corpos hídricos da região Amazônica, Brasil.

Adriano Joaquim Neves de Souza<sup>1</sup>, Murylo Augusto Ribeiro Macedo<sup>2</sup>, Tatiane Priscila Bastos Bandeira<sup>3</sup>,  
Thais Deise Tocantins Souza de Oliveira<sup>4</sup>, Talissa Gertrudes Namias Tocantins de Souza<sup>5</sup>, Débora  
Monteiro Mendes<sup>6</sup>, Maria de Lourdes Souza Santos<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da UFRA e-mail: ad.age13@gmail.com (correspondente)

<sup>2</sup>Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (UEPA), Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da UFRA. E-mail: macedomurylo@hotmail.com

<sup>3</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e-mail: tatianebastosbandeira@gmail.com

<sup>4</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e-mail: thaisdeise25@gmail.com

<sup>5</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e-mail: tmamias@gmail.com

<sup>6</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e-mail: deby.mendes111@gmail.com

<sup>7</sup>Professora Titular da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e-mail: mdlssantos@yahoo.com.br

Artigo recebido em 18/04/2023 e aceito em 06/07/2023

### RESUMO

A poluição pelos elementos-traço nos sedimentos das bacias hidrográficas tem sido cada vez mais estudada em termos de gestão de risco ecológico. Desta forma, a partir de um levantamento bibliográfico no período de 2012 a 2022, buscou-se analisar e comparar os efeitos advindo dos elementos-traço ocorridos nos sedimentos dos corpos hídricos localizados na região Amazônica. Neste trabalho foram utilizados livros e artigos publicados, como ferramenta de pesquisa, utilizou-se o “Google acadêmico”, “Periódicos CAPES”, “SciELO”, “Science Direct” e “Web of Science Core Collection”. Com esta pesquisa foi possível observar que os elementos-traço essenciais participam em reações químicas do metabolismo celular humano, como por exemplo o ferro, manganês e entre outros são importantes nos processos biológicos para as atividades humanas, além disso os elementos-traço interagem nos sedimentos e nos corpos hídricos, podendo possibilitar caracterizar os elementos no ambiente. Os artigos mostraram valores acentuados para o ferro, o que foi relacionado à formação geológica de determinadas região Amazônica. Enquanto, o chumbo não ultrapassou o valor máximo recomendado pela Resolução CONAMA 454/2012, indicando que as concentrações descritas nos artigos estão em conformidade com a referida Resolução. O monitoramento dos elementos-traço nos sedimentos é relevante para se ter um retrato das condições ambientais dos corpos hídricos da região Amazônica. O Estado pode desenvolver políticas públicas sustentáveis para contornar os efeitos dos elementos-traço no ambiente, com base em conhecimento das concentrações nos sedimentos, biota e água.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas, chumbo, zinco, cobre, ferro.

## Review study of trace elements in sediments of water bodies in the Amazon region, Brazil.

### ABSTRACT

Pollution by trace elements in watershed sediments has been increasingly studied in terms of ecological risk management. In this way, from a bibliographic survey in the period from 2012 to 2022, we sought to analyze and compare the effects arising from the trace elements that occurred in the sediments of water bodies located in the Amazon region. In this work, books and published articles were used, as a research tool, the "Academic Google", "Periódicos CAPES", "SciELO", "Science Direct" and "Web of Science Core Collection" was used. that essential trace elements participate in chemical reactions of human cellular metabolism, such as iron, manganese and among others are important in biological processes for human activities, in addition, trace elements interact in sediments and water bodies, and may make it possible to characterize the elements in the environment. The articles showed accentuated values for iron, which was

related to the geological formation of certain Amazon region. Meanwhile, lead did not exceed the maximum value recommended by CONAMA Resolution 454/2012, indicating that the concentrations described in the articles are in accordance with that Resolution. The monitoring of trace elements in sediments is relevant to have a picture of the environmental conditions of water bodies in the Amazon region. The State can develop sustainable public policies to circumvent the effects of trace elements in the environment, based on knowledge of concentrations in sediments, biota and water.

Keywords Watersheds; lead; zinc; iron; copper.

## Introdução

O território brasileiro, assim como qualquer parte do globo terrestre, está todo subdividido naturalmente em diversas bacias hidrográficas. É destas bacias hidrográficas que a sociedade obtém grande parte da água utilizada para as atividades humanas no Brasil. Isso envolve o abastecimento humano, a irrigação, a dessedentação de animais e todas as atividades industriais e de serviços desenvolvidas em território brasileiro (IBGE, 2021).

A bacia hidrográfica é uma região hidrológica natural onde o escoamento da água é influenciado pelas suas feições topográficas, ou seja, a drenagem hídrica é escoada até recarregar o rio principal. A delimitação da área de uma bacia hidrográfica considera questões políticas e socioeconômicas com a finalidade de uma melhor gestão dos recursos da região (Narendra et al., 2021).

O estado do Pará possui em seu território três das doze regiões hidrográficas do Brasil (SEMAS, 2022): i) Amazônica: a maior parte do estado está inserida nessa região (73% do território paraense), constituída por uma extensa rede de rios com grande volume de água como Amazonas, Tapajós e Xingu; ii) Tocantins-Araguaia: compreendem as bacias dos rios homônimos em território paraense (24%); iii) Atlântico Nordeste Ocidental: compreende a totalidade do conjunto de bacias litorâneas que drena para o Oceano Atlântico (3%).

Contudo, o desenvolvimento de regiões por meio da industrialização e urbanização têm causado impactos diretos e indiretos nos ecossistemas aquáticos (Cunha et al., 2022). E conseqüentemente são responsáveis pelo lançamento de inúmeras substâncias tóxicas nos afluentes que deságuam nos corpos hídricos da região Amazônica (Veiga et al., 2022). Entre os vários poluentes, os elementos-traço ocupam um local de destaque em termos de

preocupações aos ecossistemas da Terra. Como exemplo, a contaminação de elementos-traço no solo e nas águas subterrâneas, devido ao seu alto potencial de toxicidade (Shen et al., 2022).

A contaminação por elementos-traço é causada principalmente por fontes antropogênicas e naturais. Os efluentes industriais, atividades domésticas e agrícolas são fontes antropogênicas, enquanto erosão eólica, erupções vulcânicas e combustão de combustíveis fósseis são fontes naturais (Shikha e Singh, 2021). Contudo, esses elementos também são encontrados de forma natural no ambiente a partir de processos de intemperismo da matriz geológica (Salomons e Förstner, 1984; Salomão et al., 2021).

Os elementos-traço em sua maioria não são biodegradáveis e se depositam nos grânulos intracelulares dos organismos. Quando inalados ou ingeridos, acumulam-se no organismo, resultando assim na sua entrada na cadeia alimentar. Desta forma, a toxicidade aumenta na cadeia alimentar levando a efeitos adversos no ecossistema (Sharma et al., 2022), podendo também ficar depositados nos sedimentos ou se acumular na biota (Rizk et al., 2022).

A mobilidade dos elementos-traço no sedimento é um fator influenciado pela geologia, mineralogia, hidrologia e fatores biológicos do ambiente de estudo, além de estar relacionada com a forma física, toxicidade e biodisponibilidade do elemento-traço (Cavalcante e Santos, 2021).

Dessa forma, a análise do sedimento irá constatar todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático por ter a capacidade de acumular compostos que o torna mais importante na avaliação do nível de contaminação do meio aquático, devido desempenhar um papel de destaque na dinâmica funcional do meio, por participar de processos internos que incluem a sedimentação, ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica, podendo

ainda armazenar informações das formas e uso da bacia de drenagem (Fairbridge, 1989; Cavalcante e Santos, 2021).

A partir da análise das concentrações de elementos-traço (Et's) nos sedimentos dos cursos d'água, é possível verificar o histórico da acumulação dos elementos ao longo do tempo no ambiente de modo local, regional e comparar globalmente. Pois, são nos sedimentos que se depositam todos os compostos químicos, o que permite representar e interpretar a quantidade disponível, o desenvolvimento histórico das alterações no meio aquático, por intermédio da avaliação das concentrações dos Et's nos sedimentos (Esteves, 2011, Braga et al. 2018). Na região Amazônica, a população local, urbana e ribeirinha, utiliza os corpos hídricos para diferentes usos múltiplos, incluindo a alimentação oriunda desse recurso natural. E a presença dos Et's afeta a biota e consequentemente a saúde da população local.

Os elementos-traço (Et's) não absorvidos pela biota, tendem a depositar nos sedimentos superficiais na sua maioria das vezes estão presentes em concentrações ou formas que oferecem risco para o meio ambiente. E com o desenvolvimento econômico e com as novas tecnologias, o aumento de forma gradativa da quantidade do Et's nos ecossistemas tem sido descrito (Cogo et al., 2020; Santos, et al., 2021). Portanto, o presente trabalho tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico das concentrações dos elementos-traço (Cu, Fe, Mn, Zn, Pb) em sedimentos dos corpos hídricos da região Amazônica, para descrever suas características e formas de contaminação, e quais mudanças ocorreram nos ecossistemas aquáticos amazônicos ao longo do tempo.

### **Material e métodos**

Para confecção deste estudo foi utilizado uma revisão bibliográfica, também denominada revisão de literatura, que consiste na análise sistemática de uma vasta gama de publicações a cerca de um tema específico, buscando explicar ou debater um tema baseado em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos (Santos et al., 2023).

Neste caso específico foram realizadas buscas de artigos científicos nas bases de dados: Scielo, Web of Science, Scopus, Science Direct e Google acadêmico, utilizando para isso termos de busca como: elementos-traço em sedimentos na região Amazônica, as concentrações dos elementos-traço nos corpos hídricos da região Amazônica. Além disso, foram utilizados conectivos como “e” e “ou” para combinar os termos de busca descritos acima.

No presente estudo inclui-se apenas artigos científicos (incluindo notas científicas e artigos de revisões) e livros (incluindo capítulos), divulgados entre os anos de 2012 e 2022. Além disso, foi utilizado artigos em qualquer idioma (português, inglês, espanhol etc.). Os artigos foram selecionados quando apresentaram alguma palavras-chave utilizadas no título ou no resumo.

### **Desenvolvimento**

#### **Sedimentos**

Os sedimentos dos recursos hídricos contêm informações completas sobre a contaminação e formam halos secundários geoquímicos ao longo dos sistemas fluviais. Consequentemente, as anomalias geoquímicas identificadas nestes sedimentos são consideradas importantes indicadores geoquímicos e ambientais (Wang, et al., 2022a).

Os sedimentos podem ser transportados por lixiviação e erosão, são considerados como registrador da poluição ocorrida no ambiente, e assim ser uma fonte de observação de risco para a saúde humana e qualidade ambiental (Cavalcante e Santos., 2021), sua importância também é descrita por servir como substrato e fonte de alimento para inúmeras espécies.

A saúde dos ecossistemas aquáticos deve ser monitorada para garantir o equilíbrio ecológico para o habitat aquático (Mohtar et al. 2019), para comunidade local, e para dar suporte aos órgãos responsáveis nas tomadas de decisões.

Uma medida comum de monitoramento dos ecossistemas aquáticos é baseada em parâmetros de qualidade física, química, biológica, e bacteriológica da água (Reginato et al., 2023) e pelas concentrações

dos elementos-traço nos sedimentos, pois esses elementos são adsorvidos nos sedimentos (Albuquerque et al. 2022), desses ambientes.

#### Definição dos Elementos-traço

O termo elementos-traço na geoquímica são aqueles que possuem concentrações  $< 1000 \text{ mg. Kg}^{-1}$  ou 0,1% de uma rocha, muito embora estejam inclusos para sistemas aquáticos, o Al, Fe, Ti e Mn que ocorrem em maiores concentrações na litosfera (Baird, 2002).

O termo “elementos traço” geralmente se refere aos elementos que são encontrados no ambiente em concentrações mínimas, mas sua presença em concentrações mais altas podem ser perigosas (Hossain, et al., 2021).

Os elementos potencialmente tóxicos (PTEs) é uma nomenclatura recentemente originada, o que significa que alguns desses elementos são tóxicos e possuem ameaças aos seres humanos e organismos vivos (Hossain, et al., 2021).

Os elementos-traço entram nos ecossistemas aquáticos por meio de uma variedade de fontes de poluição pontuais e não pontuais como resultado de processos antropogênicos e naturais (El Zokm et al., 2023).

Os elementos-traço são poluentes não degradáveis e podem existir no solo como cátions livres (por exemplo,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), complexos solúveis com ligantes orgânicos e inorgânicos (por exemplo,  $\text{ZnCl}^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ , citratos metálicos) ou associados a material coloidal (Muñoz-García, et al., 2022).

Apesar de não haver consenso sobre a definição deste termo, podemos descrever metais pesados como um grupo de elementos químicos com alta densidade e toxicidade, mesmo em baixas doses. Segundo Costa Filho e colaboradores (2022) descrevem que os elementos-traço têm como valor de referência uma densidade maior ou igual à 3,5 e 7,0  $\text{g/cm}^3$ , uma massa atômica acima de 23 (massa atômica do sódio) e um número atômico maior do que 20 (número atômico do cálcio). Esses compostos podem ser introduzidos de diferentes formas na natureza, porém, destacam-se entre as atividades antrópicas que mais descartam esses compostos, as atividades agrícolas e

industriais (Costa filho et al., 2022). Ademais, seu descarte no ambiente pode impactar a saúde dos seres vivos, afetando diretamente os órgãos relacionados ao sistema nervoso e ao sistema circulatório, ingeridos na maioria das vezes devido ao acúmulo desses compostos entre os níveis tróficos da cadeia alimentar (Costa filho, et al, 2022).

Segundo Esteves (2011) os elementos-traço são os elementos químicos que ocorrem na natureza, de um modo geral em pequenas concentrações, não apresentando quantidades superiores a 0,1%, este termo também inclui elementos de diferentes propriedades químicas. Alguns elementos traços como Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, e B são essenciais aos seres vivos ainda que em pequenas concentrações e tem um importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos pois participam de muitos processos fisiológicos, como o Mg na fotossíntese, o Fe e Cu na cadeia respiratória, o Mo na fixação do nitrogênio, muitos outros servem de cofatores de enzimas e participam na estrutura de determinadas proteínas.

Os elementos-traços (ETs), estão presentes naturalmente nos solos, mesmo que não seja haja perturbação antrópica do ambiente. Entretanto o acúmulo excessivo pode acarretar não somente a contaminação do solo, como também de plantas, podendo alcançar a cadeia alimentar de animais e, especialmente, a humana, trazendo consequências para a qualidade e a segurança alimentar (Ferreira, et al., 2021).

Os elementos-traço são encontrados naturalmente nos sedimentos devido aos processos de intemperismo e lixiviação, porém as atividades antropogênicas (lançamento de efluentes e dejetos de animais, deposição atmosférica, mineração, agrotóxicos e fertilizantes) vêm provocando alterações no perfil da biota (Roos, et al., 2021).

Alguns elementos-traço (Al, As, Bi, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn) também são conhecidos como elementos potencialmente tóxicos (PTEs), que são descritos como poluentes inorgânicos, de natureza não biodegradável, com persistência, toxicidade e acúmulo na cadeia alimentar. Os PTEs são as formas mais tóxicas dos elementos-traço, e mais

nocivos ao meio ambiente e a população (Shakeri et al., 2020).

Os elementos potencialmente tóxicos (PTEs) são poluentes inorgânicos que têm despertado grande preocupação em todo o mundo devido à sua natureza não biodegradável, persistência, toxicidade e acúmulo na cadeia alimentar (Shakeri et al., 2020).

Esses elementos podem entrar em ambientes aquáticos por meio de fontes geogênicas, incluindo rochas de intemperismo e erupções vulcânicas, e fontes antrópicas, como descargas industriais, atividades agrícolas, emissões de veículos, esgoto doméstico e mineração (Dang et al., 2021; El-Sorogy et al., 2020).

Embora alguns elementos-traço como Cu, Fe, Mn, Ni e Zn sejam elementos essenciais para organismos vivos e desempenhem um papel crucial em suas atividades de vida, um excesso desses metais pode ter efeitos adversos nas atividades da vida. Além disso, metais biologicamente não essenciais, como As, Cd e Pb, exibem toxicidade considerável mesmo em baixas concentrações. Os efeitos contrastantes de traços de metais em organismos variam de espécie para espécie (Li, et al., 2023).

#### Características dos Elementos-traço

Os elementos-traço são componentes naturais encontrados na crosta terrestre e incorporadas aos organismos vivos através dos alimentos, da água e do ar. Os principais elementos-traço presentes em fontes naturais são Ag, Cd, Cu, Mn, Mo, Pb e Zn, que são encontrados em fontes litogênicas, como por exemplo, a crosta superior, granito, basalto, pedras calcárias, xistos betuminosos, rochas, arenito. A tabela 1 mostra a faixa das concentrações desses elementos em fontes litogênicas (Iyyappan et al., 2023).

**Tabela 1.** Concentrações de elementos-traço em fontes litogênicas. Fonte: Adaptado de Iyyappan et al., 2023.

Elementos-traço	Faixa de concentração (mg.kg <sup>-1</sup> )
Ag	0,04 – 1,9
Cd	0,1 – 240
Cu	2 – 300
Mn	15 – 1500

Mo	0,3 – 570
Ni	2 – 2000
Pb	0,05 – 100
Zn	20 - 2000

Embora alguns elementos sejam prejudiciais como Chumbo (Pb), Mercúrio (Mg), Cadmio (Cd), outros são essenciais para o desenvolvimento das funções vitais dos organismos, a exemplo do Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), no entanto, quando em excesso são prejudiciais ou mesmo letais, sendo muito tênue a margem entre a essencialidade e a toxicidade (Lešková, et al., 2022).

Enquanto em níveis tóxicos, eles prontamente aumentam a peroxidação lipídica, inibem a síntese de proteínas e interrompem o metabolismo do RNA (Gui et al., 2022).

A maioria dos poluentes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, interrompe direta ou indiretamente o equilíbrio ecológico dos ambientes aquáticos (Ahmadi et al., 2022). Desde as últimas décadas, testemunhamos preocupações crescentes com poluentes, como a exposição a elementos-traço (Et's) e suas implicações para a saúde humana por meio do consumo de frutos do mar com níveis elevados de Et's (Ahmadi et al., 2022).

Entre os vários tipos de poluentes, os elementos-traço são de grande preocupação, dada não apenas a ampla gama de compostos com efeitos multifacetados nos ecossistemas lacustres, mas também suas várias vias de entrada, como o intemperismo do leito rochoso, processos hidrodinâmicos e deposição atmosférica (Rizk, et al., 2022).

A poluição por elementos-traço é ainda preocupante pelo fato destes elementos não serem biodegradáveis no ambiente (poluentes persistentes) e de alguns mostrarem capacidade de bioacumular e aumentarem na cadeia trófica (Ghrefat et al., 2011; Förstner e Wittmann, 1981).

De acordo com Araújo et al. (2021) os metais presentes nos ambientes aquáticos, tanto na coluna d'água quanto nos sedimentos, podem estar em formas químicas biodisponíveis. Os referidos autores descreveram os processos como:

**Biomagnificação:** Processo no qual compostos ou elementos químicos são



transferidos do alimento para um organismo, resultando em concentrações mais altas quando comparadas aquelas da fonte alimentar. Ocorre quando compostos químicos e/ou elementos (agentes químicos) passam a apresentar maiores concentrações nos tecidos conforme o nível trófico aumenta. Irreversível.

**Bioacumulação:** Acúmulo de contaminantes ou poluentes (e/ou seus metabólitos) em tecidos de animais e plantas ao longo de um período de tempo típico, que representa um evento de exposição daquele indivíduo ao agente químico presente no ambiente onde vive. Pode ser reversível.

**Biodisponibilidade:** Propriedade ecológica de agentes químicos no meio ambiente aquático (água, biomassa ou sedimentos) que determina se o mesmo será mais, ou menos, assimilado pela biota com a qual interagir. Pode ser reversível ou modificado.

A poluição por elementos-traço tem sido considerada um dos mais sérios problemas ambientais, principalmente em áreas influenciadas pelas atividades humanas. As principais fontes antrópicas de contaminação ambiental por metais pesados são os fertilizantes, pesticidas, água de irrigação contaminada, combustão de carvão mineral e óleo, gases emitidos por veículos a combustão, incineração de resíduos urbanos e industriais, e indústrias de mineração, fundição e refinamento (Kabata-Pendias, 2011, Ferreira, et al., 2021).

Os elementos-traço geralmente se referem a metais e metalóides com densidades superiores a  $4,5 \text{ g/cm}^3$  (como Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, As, Hg e Cd), e o acúmulo de metais pesados em lagos representa sérios riscos aos organismos aquáticos e à saúde humana. Portanto, muita atenção deve ser dada à poluição por metais pesados em lagos; no entanto, os metais pesados em lagos têm atraído cada vez mais atenção apenas nas últimas décadas e se tornaram uma área de grande interesse no controle da poluição de lagos (Li, et al., 2022).

Elementos-traço essenciais, como zinco e cobre, cumprem importantes funções fisiológicas; no entanto, sua bioacumulação além de certos limites torna-se altamente tóxica para os seres humanos. Metais não essenciais, como chumbo, cádmio e mercúrio, são extremamente perigosos tanto

para os seres humanos quanto para o meio ambiente. Esses elementos não essenciais se bioacumulam em qualquer organismo, levando a danos nos tecidos, seguidos por uma ampla série de distúrbios e efeitos tóxicos significativos ao longo das cadeias alimentares.

Elementos-traço

#### *Chumbo (Pb)*

O chumbo é o elemento-traço mais conhecido desde a antiguidade, sendo sua presença mais antiga datada no ano de 3800 a.C. (Pilon, et al., 2022).

Após a Revolução Industrial, ocorreu um aumento drástico no uso do chumbo, momento em que passou a ser um dos mais importantes metais por apresentar características como boa maleabilidade, baixo ponto de fusão, resistência à corrosão, alta densidade entre outras. Seu uso generalizado levou a uma grande contaminação não só ambiental, como também resultou em exposição humana, o que gerou significativos problemas de saúde pública em muitos países. (OMS, 2021; Pilon, et al., 2022).

O chumbo (Pb) ocorre em concentração média na crosta terrestre de  $15 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sua concentração em rochas ígneas e matrizes argilosas, varia de  $10$  a  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $14$  a  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Kabata-Pendias, 2011). Na natureza este elemento ocorre principalmente na forma  $\text{Pb}^{2+}$ , embora seja conhecido também o  $\text{Pb}^{4+}$ . Tyler e Olsson (2001) citam que o chumbo é o elemento-traço mais estável no solo, e que o tempo necessário para uma redução de 10% da sua concentração total por lixiviação em solos foi calculado em aproximadamente 200 anos. Kitagishi e Yamane (1981) calcularam que o período para que a quantidade total de Pb no solo diminua pela metade varia de 740 a 5.900 anos.

#### *Zinco (Zn)*

O zinco é um nutriente essencial para o corpo humano e funciona na manutenção da estrutura das proteínas, catálise enzimática e transmissão de informações. No sistema reprodutor masculino, desempenha um papel importante no desenvolvimento gonadal, espermatogênese e motilidade, síntese de hormônios etc. (Te, et al., 2023).

Förstner et al., (1989) relataram que elementos-traço como Cu, Pb, Cd e zinco (Zn) representam sérios riscos à saúde dos ecossistemas aquáticos devido à sua toxicidade de curto e longo prazo. Foi discutido que depois que as microalgas foram invadidas por elementos-traço (Et's), o mecanismo de defesa das microalgas reduziu o dano do elemento às células, alterando o transporte dos Et's dentro e fora das células (Kong et al., 2021).

#### *Manganês (Mn)*

O manganês (Mn) está naturalmente presente nas águas superficiais e na biota e está disponível em várias formas, incluindo sais de Mn e quelatos. É um elemento abundante encontrado em ecossistemas terrestres e costeiros e ajuda nos processos metabólicos de plantas e animais e é encontrado em todas as pequenas quantidades do corpo (Dey, et al., 2023).

Atua como um micronutriente essencial para os processos fisiológicos do meio ambiente. Anualmente, estima-se que 300 a 400 milhões de toneladas de elementos-traço, lama tóxica e outros materiais nocivos são descartados nos corpos d'água causando um impacto imensurável ao ecossistema (Dey, et al., 2023).

A presença de Mn na rocha e no solo produzirá uma fonte onde o Mn pode se dissolver no solo ou nas águas superficiais ou pode ser deixado como sedimentos, o que ajuda ainda mais na dissolução (Napper, et al., 2022).

No ambiente, o manganês é originário principalmente de diferentes fontes e atividades, ou seja, geogênicas e antropogênicas, e em diferentes concentrações (Nkele, et al., 2022).

O manganês é um elemento-traço precioso e único que possui diversas aplicações industriais e metalúrgicas (Nkele, et al., 2022). Isto é atribuído à sua notável versatilidade e propriedades indispensáveis que inspiram grosseiramente a necessidade cada vez maior deste elemento para inúmeras aplicações industriais (Nkele, et al., 2022).

Desde então, o manganês ganhou recentemente imensa atenção e interesse, e isso contribuiu significativamente para o

crescimento de qualquer esfera da economia que produz manganês (Nkele, et al., 2022).

No ano de 2020, a produção mundial de minério de manganês teve redução de cerca de 7% quando comparada ao ano de 2019, chegando a 20,3 milhões de toneladas (IMnI, 2020). Os principais países produtores de manganês são África do Sul, Austrália, Gabão, Brasil, China e Índia (Figura 1), somando juntos, cerca de 76% de todo o manganês produzido mundialmente. No entanto, a importação do minério de manganês é liderada pela China, Índia, Rússia, Coreia do Sul e Malásia (IMnI, 2020).

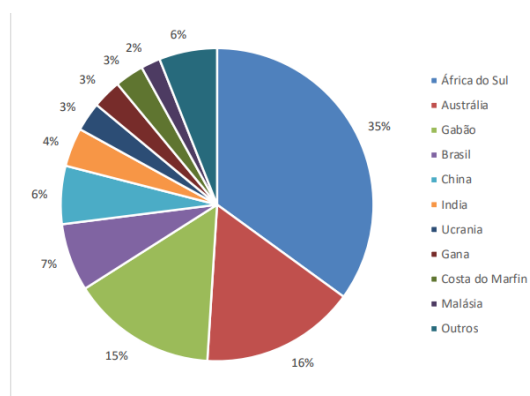


Figura 1: Produção global de minério de manganês no ano de 2020. Fonte: IMnI, 2020.

#### *Cobre (Cu)*

O cobre é um metal de transição de primeira linha e um mineral essencial que desempenha papéis-chave em funções fisiológicas, como servir como cofator para muitas enzimas envolvidas na produção de energia e metabolismo (Trevino, et al., 2022).

No entanto, como acontece com muitos minerais essenciais, quantidades excessivas podem resultar em toxicidade. O cobre é comum no meio ambiente e a contaminação do solo e dos cursos de água pode ocorrer a partir de fontes agrícolas, onde o cobre é encontrado em pesticidas e fertilizantes, e de fontes industriais, como mineração e operações de manufatura (Trevino, et al., 2022).

O cobre é essencial para o desenvolvimento normal e função do corpo humano. Como fator auxiliar crítico, o cobre catalisa a respiração celular, a oxidação do

ferro, a formação de pigmentos, a biossíntese de neurotransmissores, a defesa antioxidante, a amidação de peptídeos e as reações de transferência de elétrons exigidas pelo tecido conjuntivo (Shi, et al., 2023).

#### *Ferro (Fe)*

Dentre os oito elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre, o ferro figura em quarto lugar com cerca de 5% em massa (Figura 2). Os outros elementos são oxigênio (46,6%), silício (26,72%), alumínio (8,13%), cálcio (3,63%), sódio (2,83%), potássio (2,59%) e magnésio (2,09%). Esses elementos correspondem aproximadamente a 97,59% da massa da crosta terrestre. É possível, pois, inferir que a crosta terrestre é formada principalmente por compostos de oxigênio na forma de óxidos, hidróxidos e alumino silicatos (Duarte, 2019).

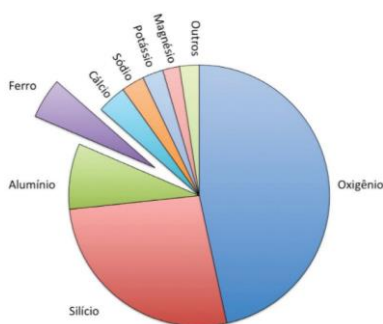


Figura 2: Distribuição dos elementos químicos na crosta terrestre. Fonte: Duarte, 2019.

O ferro é um elemento ubíquo na crosta terrestre. Pode ser encontrado em grandes jazidas, na forma de minerais com teores extremamente variáveis mesmo como elemento traço. O ferro apresenta propriedades químicas e físicas que o faz importante em processos químicos e físicos, no ambiente mineral e nos sistemas biológicos (Duarte, 2019).

O ferro é um elemento-traço essencial para a vida humana, devido ao seu papel no transporte de oxigênio e à sua participação em diversas reações redox (Miranda et al., 2023).

As proteínas contendo ferro desempenham um papel importante em muitos processos biológicos, incluindo respiração celular, detecção de oxigênio,

transporte e metabolismo de oxigênio, metabolismo energético, síntese e reparo de DNA e sinalização. No entanto, a sobrecarga de ferro pode ser prejudicial, causando estresse oxidativo, dano ao DNA e carcinogênese (Wang et al., 2022b).

O rejeito de ferro, como recurso secundário valioso, é uma parte com baixo teor de elementos valiosos produzidos durante o processamento e aproveitamento do minério de ferro. O processamento e utilização eficientes de rejeitos de ferro serão positivos para economizar energia, proteger o meio ambiente, produzir uma produção mais limpa e melhorar os benefícios econômicos (Xu et al., 2022).

#### *Índices ecológicos em sedimentos*

Nos últimos anos, a avaliação de risco a saúde humana tornou-se uma metodologia amplamente aplicada para avaliar os riscos potenciais derivada da exposição a poluentes ambientais como os elementos-traços que podem contaminar a água (Alves, et al., 2014).

A contaminação do ecossistema aquático pelos elementos-traço ameaça a saúde assim como ocasiona a degradação da qualidade da atmosfera, das águas superficiais, águas subterrâneas, sedimentos e níveis tróficos. Os elementos-traço em níveis alto são considerados cancerígenos a qual podem levar a doenças relacionadas a problemas renais, sanguíneos, cardiovasculares e ósseas (Diami, et al. 2016). A ingestão excessiva dos elementos-traço como por exemplo o chumbo (Pb) tem a capacidade de danificar o sistema nervoso, enzimático e imunológico de quem está exposto ao mesmo. O risco ambiental devido a esses elementos causa efeito irreparáveis a biota considerando os impactos toxicológicos que os elementos causam no meio ambiente (Diami, et al. 2016).

Os índices de risco ambiental consistem em abordagens quantitativas e integradoras de dados ambientais, capazes de subsidiar, de forma mais efetiva, a tomada de decisão em medidas de saúde pública e de controle da poluição ambiental, incluindo a hierarquização de áreas críticas para remediação, gestão de custos ambientais e a indicação de receptores ecológicos a serem prioritariamente protegidos (Cesar, et al. 2015).

### *Índice de Geoacumulação (Igeo)*

Segundo Kasilingam et al. (2016), o índice de geoacumulação (Igeo) foi originalmente definido por Müller (1969) para determinar a concentração de metais nos sedimentos, comparando as concentrações atuais com os níveis pré-industriais.

O índice de geoacumulação é calculado com a seguinte equação:

$$Igeo = \log_2 (C_n / 1,5 B_n)$$

onde  $C_n$  é a concentração medida do metal examinado n nos sedimentos e  $B_n$  é a concentração de fundo geoquímico do metal n da média crustal (Taylor e McLennan, 1995).

A qualidade do sedimento é classificada com base nos valores de Igeo: a) 0 - não poluído, b) > 0 a 1 - não poluído a moderadamente poluído, c) > 1 a 2 - moderadamente poluído, d) > 2 a 3 - moderadamente poluído a fortemente poluído, e) > 3 a 4 - fortemente poluído, f) > 4 a 5 - fortemente a extremamente poluído g) > 5 - extremamente poluído (Silva et al., 2017).

Para caracterizar a contaminação e os riscos potenciais à biota local, são aplicados dois índices para avaliar a qualidade dos sedimentos dessas áreas. Primeiramente, um fator de enriquecimento, denominado por Hakanson (1980) como (FC) (fator de contaminação (Nascimento Monte, et al. 2021).

### *Fator de enriquecimento (FE)*

Este índice é calculado com base em um elemento de normalização (Fe ou Al) que modera a variação produzida por sedimentação heterogênea. Nesse índice, o Fe é usado como um elemento normalizador devido à sua enorme disponibilidade (Loring, 1991).

O FE foi calculado com a seguinte equação 1:

$$EF = \frac{(\text{metal}/\text{Fe})_{\text{amostra}}}{(\text{metal}/\text{Fe})_{\text{background}}}$$

Em termos comparativos para os valores de background foram utilizados os dados médios das concentrações dos metais pesados presentes na crosta terrestre, de acordo com Taylor e McLennan (1985), com

concentrações médias para Fe, Mn, Cu, Pb e Zn de 44.900  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , 700  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , 55  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , 12,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e 70  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , respectivamente.

### *Índice de risco ecológico potencial (IREP)*

O Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), proposto por Håkanson (1980) e amplamente utilizado por outros autores (Zhang et al., 2012; Fiori et al., 2013), permite calcular a modelagem e a estimativa numérica do risco ecotoxicológico dos elementos-traços à biota aquática, levando em consideração os valores de background da área a ser investigada, o comportamento biogeoquímico dos elementos-traço e sua toxicologia.

O IREP não avalia somente o grau de contaminação nos sedimentos, além disso associa a toxicidade com os efeitos ecológicos e ambientais e permite a classificação de cada nível de risco potencial. O IREP foi calculado de acordo com Håkanson (1980) e adaptado por Fiori et al. (2013) para regiões tropicais, e consiste na estimativa numérica do Fator de Contaminação (FC); Fator de Resposta Tóxica (FRT); e Fator de Risco Ecológico Potencial (FR) para cada contaminante. As equações que descrevem esses fatores são:

### *Fator de contaminação*

Os valores do FC são classificados em: FC < 1 - baixa contaminação; FC entre 1 e 3 - contaminação moderada; FC entre 3 e 6 - contaminação considerável; FC > 6 - alta contaminação (Hakanson, 1980).

O fator é calculado pela razão entre a concentração do elemento-traço e sua concentração de fundo no local de amostragem.

Equação 2: Cálculo do fator de contaminação

$$FC = \frac{C}{C_0}$$

### *Fator de Resposta Tóxica (FRT)*

O Fator de Resposta Tóxica (FRT) considera os atributos comparativos de cada sistema ou contaminantes e avalia os processos de forma geral, consistindo na segunda vertente da elaboração do IREP (Fiori, et al. 2013). O Fator de Resposta Tóxica (FRT) é o quociente do Fator de

Toxicidade relacionada ao Sedimento (FTS) com o Fator de Sensibilidade do Sistema (FS), conforme observado na equação 3:

Equação 3: O cálculo do Fator de resposta tóxica (FRT)

$$FRT = \frac{FTS}{FS}$$

Fator de Toxicidade do Sedimento (FST)

O Fator de Toxicidade relacionada ao Sedimento (FTS) consiste em atribuição numérica dada para cada um dos metais considerados mais importantes em estudo de contaminação aquática (Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr e Zn) onde se considera com propriedade que cada substância tem seu efeito toxicológico diferenciado (Fiori, et al. 2013).

A partir dos princípios citados acima, classificou-se os seguintes elementos-traços em ordem decrescente de toxidez:

Hg = 40 > Cd = 30 > As = 10 > Cu = Pb = 5 > Cr = 2 > Zn = 1.

*Fator de sensibilidade (FS)*

No ambiente existem diversos fatores que influenciam a toxicidade dos contaminantes no ecossistema aquático, a qual alguns desses são denominados fatores de sensibilidade são: pH, salinidade, tempo de residência da água e estado trófico do meio (Fiori, et al. 2013).

O estado trófico do sistema influencia a biodisponibilidade do metal uma vez que, em sistemas aquáticos eutróficos, os metais estão menos disponíveis devido aos efeitos de complexação e de diluição biológica (Håkanson, et al., 2003).

O somatório dos Fatores de Risco para cada contaminante é o Índice de Risco Ecológico Potencial do sedimento (Equação IV).

Equação 4: O cálculo do Índice de Risco Ecológico Potencial do sedimento.

$$\sum_{i=1}^n FRI$$

## Resultados e Discussão

Os artigos mostraram valores acentuados para o ferro, o que foi relacionado a formação geológica de determinadas região Amazônia. Enquanto, o chumbo não ultrapassou o valor máximo recomendado pela Resolução CONAMA 454/2012, indicando que as concentrações descritas nos artigos estão em conformidade com a referida Resolução.

A avaliação dos níveis dos elementos-traço tem acontecido tanto em águas (Meng et al., 2008), materiais particulados, sedimentos (Freret-Meurer et al., 2010; Bai et al., 2011) e em organismos aquáticos (Chakraborty et al., 2014).

Guarda e colabores (2021) descreveram valores de ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e chumbo (Pb), nos sedimentos superficiais e na água do rio Formosa em Tocantins (Tabela 2), e observaram que as concentrações elevadas dos Et's foram em pontos próximos a locais onde existem atividades agrícolas, o que denota fontes difusas desses elementos para os ecossistemas aquáticos.

Cavalcante e Santos (2021) analisaram os seguintes elementos-traço: Zinco (Zn), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Manganês (Mn) nos sedimentos do Furo da Laura, em áreas de manguezal, localizada no município de Vigia de Nazaré – PA. Os autores concluíram que as concentrações de Cu (Tabela 2) retrataram uma condição natural do elemento no local, e que a baixa concentração de Cu pode ser associada a alta concentração de matéria orgânica no sedimento do Furo da Laura, Zhang et al. (2018) sugeriram que altas concentrações de matéria orgânica aumentam a mobilidade de Cu no sedimento.

Em relação ao Pb (Tabela 2), Cavalcante e Santos (2021) descreveram valores em conformidade com a pela Resolução CONAMA nº 454/2012, no entanto um valor se encontrou acima do valor limiar de probabilidade de efeitos adversos à biota pela legislação CONAMA nº 454/2012, Nível 1 (46,7 mg kg<sup>-1</sup>). Esse valor foi associado a localização do ponto ter próximo uma indústria, o que sinalizou um princípio de contaminação por este elemento na área de estudo.

O Zn é um elemento-traço necessário para atividade do ecossistema e para o seu funcionamento dos processos fisiológicos e metabólicos, porém, como todo elemento-traço em grandes concentrações, podem tornar-se tóxicos (Borah et al., 2018). As concentrações de Zn (Tabela 1) descritas por Cavalcante e Santos (2021) não se encontravam acima da Resolução CONAMA nº 457/2012. Contudo os valores máximos detectados pelos referidos autores foram relacionados as atividades industriais desenvolvidas no município de Vigia- PA. Esse fato foi retratado por Milesi et al. (2008) que verificaram que as atividades industriais e a proximidade com os perímetros urbanos são os principais contribuintes para a contaminação da água e do sedimento por Zn. Além disso, existe a contribuição do elemento-traço por processos sedimentares provenientes da geologia local (Krauskopf, 1972; Cavalcante e Santos, 2021).

Por outro lado, elementos-traço, como o Ferro, pode ocorrer naturalmente em altas concentrações em sedimentos. Ao estudarem os rios Mocajuba e Pará nos municípios de Curuçá (PA) e Barcarena (PA), respectivamente, Vilhena et al. (2021) verificaram que o principal elemento traço presente nos sedimentos desses rios foi o ferro. Os autores relacionam essas altas concentrações ao intenso intemperismo tropical que afeta as rochas e sedimentos da região (Tabela 2).

O mesmo foi verificado por Salomão et al. (2021) em relação às concentrações de ferro e manganês nos sedimentos do rio Parauapebas, em Parauapebas (PA). As concentrações destes elementos foram explicadas pela geologia local e intemperismo de rochas metamáficas. Entretanto, os autores não descartam a contribuição antropogênica, sugerindo estudos adicionais (Tabela 2).

Melo e colaboradores (2020), ao avaliarem os sedimentos dos três principais rios de Manaus (Mindu, Quarenta e Tarumã-Açu), observaram que o zinco foi abundante nos três rios estudados, seguido do cobre. O padrão de distribuição dos Et's foi relacionado à contribuição de fontes de poluição, como efluentes domésticos e atividades industriais. Contudo, os autores afirmaram que nenhum dos rios estudados

teve valores acima do limite de alta probabilidade de efeitos adversos sobre a biota, de acordo com Resolução CONAMA nº 454/12 (Tabela 2).

Na região estuarina do Amapá, o zinco foi um dos elementos predominantes nos sedimentos do rio Cunãni estudados por Xavier et al. (2020). Porém, nem o zinco, o cobre e o chumbo apresentaram risco ecológico (Tabela 2).

Constantino et al. (2019) constataram altas concentrações de zinco, cobre e chumbo nos sedimentos em rios da região de Itacoatiara, no estado do Amazonas. Os autores verificaram as concentrações dos elementos, tanto em água quanto nos sedimentos, foram aceitáveis em relação aos níveis recomendados para proteção da vida aquática (Tabela 2).

Na Região Metropolitana de Belém, capital do Estado Pará, os mananciais de abastecimento de água, Lagos Bolonha e Água Preta, sofrem com a urbanização desordenada em seu entorno. Os sedimentos superficiais do lago Água Preta foram estudados por Oliveira e colaboradores (2018), os quais descreveram níveis de cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb). Para o Cu e o Zn os valores obtidos ficaram abaixo do TEL (*Threshold Effect Level*) e PEL (*Probable Effect Level*), somente o Pb teve em algumas amostras valores acima do TEL (Tabela 2). De acordo com Oliveira et al. (2018) os valores de TEL e PEL servem para estabelecer critérios para avaliação da qualidade dos sedimentos e do significado toxicológico das substâncias associadas a eles.

Além da origem natural, a liberação de Pb ocorre principalmente pelas atividades de mineração, através/ por intermédio da combustão de carvão e gasolina, produção de ferro, aço e cimento, fundição de elementos-traço não ferrosos, poeiras, minério de chumbo doméstico, exaustão de veículos e pó metalúrgico, e junto com o intemperismo, contribui com a contaminação para o meio ambiente (Wang et al., 2017).

Oliveira et al. (2018) observaram forte correlação entre o Cu e o Pb ( $r=0,9997$ ), o que indicou a mesma fonte desses elementos-traço para o lago Água Preta. Esses dois elementos-traços também apresentaram forte correlação com o

nitrogênio inorgânico (NI), o que foi relacionado à natureza do efluente lançado no lago, bem como à associação geoquímica entre essa forma de N e os elementos-traço Cu e Pb.

O Cu detectadas por Santos et al. (2018) ficaram abaixo dos valores descritos pela Resolução do CONAMA nº 457/2012, do TEL e do PEL conforme observado na tabela 1, o que segundo os autores indicou que não havia efeito prejudicial à comunidade biológica.

De acordo com Maldonado et al. (2009) e Santos et al. (2018), a entrada de elementos-traço é facilitada pela dispersão de materiais particulados no ambiente, pois tais elementos entram em contato com o solo ou o ar e são espontaneamente carregados para os corpos hídricos, no qual eles podem ficar disponíveis ou armazenados no sedimento.

Santos et al. (2018) e Oliveira et al. (2015) calcularam o Fator de Contaminação (FC) nos sedimentos superficiais da baía do Guajará, para os elementos (Cr, Cd, Fe e Cu), e avaliaram que a concentração dos elementos-traço no sedimento desse corpo hídrico, não afetava a biota aquática.

No trabalho de Carvalho e colaboradores (2018) no lago Puruzinho em Amazonas, os mesmos discutiram sobre os elementos-traço em destaque para o cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e chumbo (Pb) em duas zonas: A é sem influência direta do rio Madeira e enquanto a B tem diretamente influência deste corpo hídrico no lago (Tabela 2).

Nos ambientes aquáticos de águas negras como o Lago Puruzinho são ricas em matéria orgânica (Almeida et al., 2014). Os elementos-traço presentes nesses ambientes originam-se principalmente da lixiviação do solo de florestas adjacentes, onde elementos mais móveis como Zn e Cu pode adsorver em substratos orgânicos e posteriormente entrar no rio (Lacerda et al., 1990). A matéria orgânica dissolvida desempenha um papel essencial nos ecossistemas aquáticos naturais, especialmente porque elementos-traço como Cu e Pb interagem com ele por adsorção, troca iônica, ou complexação (Bezerra et al., 2009). No ambiente natural, o Zn é normalmente encontrado como sulfeto, e pode associar com elementos-traço como Pb, Cd e Cu (Siqueira et al., 2006).

Coringa et al. (2016) realizaram no rio Bentos Gomes em Mato grosso, análises do Fe, Cu, Zn, Cr, Ni e Mn. E observaram que o Fe e o Mn tiveram maior ocorrência nas amostras de sedimentos (Tabela 2). Também foi determinado o Fator de Mobilidade Individual (Fmi) com a média dos elementos-traço, segundo os autores os elementos-traço mais móveis foram o Mn seguido do Zn (no período seco da região) e do Ni (no período chuvoso da região), com Fmi variando de 55,1 a 96,8 (Mn), 22,8 a 63,2 (Zn) e 18,3 a 37,5 (Ni), enquanto o elemento-traço menos móvel foi o Fe (3,4 a 10,5). A maioria dos elementos-traço apresentaram maior Fmi na época chuvosa no Pantanal, com exceção do cobre.

Foi observada uma forte correlação com o teor de Fe e Cu, Zn e Mn, o que sugeriu a adsorção na forma de precipitado de óxidos/hidróxidos de Ferro. A precipitação de óxidos hidratados de Fe está associada com o transporte e a disponibilidade de elementos-traço, que influenciam as trocas na interface água-sedimento (Coringa et al., 2016).

A granulometria e o teor da matéria orgânica também são fatores que afetam a distribuição dos elementos-traço no ambiente (Farkas et al. 2009; Bartoli et al. 2012).

Santos et al. (2013) e Kalina et al. (2013) demonstraram que a matéria orgânica é muito importante na distribuição e dispersão dos elementos-traço, principalmente para o Cu e Zn, que têm forte ligação com os compostos orgânicos no meio, uma vez que há formação de complexos estáveis e solúveis de íons metálicos com as substâncias húmicas, podendo servir como transportadores dos elementos-traço tóxicos, incrementando o transporte no meio aquático (Meurer, 2006).

Lima et al. (2015) analisou os sedimentos superficiais do Furo da Laura, Vigia – PA. E descreveram que o Mn na natureza se encontra combinado com outros elementos, formando minerais, na sua maioria, óxidos. Seus depósitos nos sedimentos são resultantes de alterações de outros pré-existentes ou da concentração de minerais de manganês, quando outros minerais foram removidos por algum tipo de intemperismo e/ou processo químico (Junior et al., 2005; Lima, et al., 2015). Os níveis de

Mn (Tabela 2) detectados foram relacionados à proximidade com o município de Vigia, indicando haver uma contribuição antrópica.

Os teores mais elevados da maioria dos elementos (Fe) durante o período de menos chuvoso foram encontrados no solo de uma das casas da Vila Princesa no ponto 9, o que pode estar associado ao fato do local já ter sido utilizado para deposição de lixo no passado. Neste período, as concentrações de Cu, Pb e Zn excederam os valores de intervenção em solos utilizados para áreas agrícolas segundo a CETESB (2005).

Siqueira e Aprile (2013) na bacia do rio Aurá, Região Metropolitana de Belém-PA, análises dos elementos-traço em destaque para Mn e Cu. Com relação aos gradientes de distribuição dos íons dos elementos-traço avaliados (Tabela 2), conclui-se que, à exceção do Mn, ocorreu um decréscimo nos teores desses em direção a foz do Rio Aurá, sugerindo a não formação de estoques metálicos nos sedimentos ao longo da bacia. Os sedimentos superficiais coletados na bacia revelaram um padrão granulométrico dominado pela classe textural areno-lamoso, contendo argilominerais como caulinita, illita e esmectita, que favoreceram a adsorção metálica no sedimento de fundo. Além disso, os sedimentos podem estar sendo adsorvidos aos óxidos hidratados e hidróxidos dos elementos-traço mais abundantes na região como o Al e Fe. Em decorrência dessa adsorção, acredita-se estar havendo uma baixa biodisponibilidade de ETs para a cadeia trófica local (Siqueira e Aprile, 2013).

Santos e colaboradores (2012) no Igarapé dos Tanques (IG) e na Lixeira Urbana do Município de Porto Velho, ambos em Rondônia, analisaram os Zn, Mn, Fe, Cu e Pb (Tabela 2) durante os períodos sazonais da região.

A maior contribuição para as concentrações de Fe no igarapé dos Tanques pode ter sido de origem natural, devido ao carregamento de partículas através dos processos de lixiviação. Cerca de 58% dos solos do estado de Rondônia são classificados como latossolos, que possuem como característica a presença de altos teores de óxidos de ferro (SEDAM, 2002). As concentrações de Mn também se

destacaram e, segundo Fadigas et al. (2006), os latossolos são caracterizados por também apresentarem teores consideráveis deste elemento. Os demais elementos avaliados (Zn, Cu e Pb) provavelmente foram provenientes da atividade antrópica, tais como os efluentes domésticos e comerciais, e do deflúvio superficial urbano lixiviado para o sistema aquático (Santos et al., 2012).

Os elevados valores de Fe indicaram que além da presença de materiais que são potenciais fontes de ferro no lixão há também uma grande contribuição do tipo de solo da região para o incremento desses teores nas amostras. Quanto aos altos valores de Zn em alguns foram relacionados com os materiais observados em campo, como a borracha. Segundo Rousseaux (1992), esse tipo de material é responsável por 32 a 37% do Zn no composto de lixo urbano (Santos et al., 2012).



**Tabela 2.** Concentrações dos elementos-traço nos sedimentos superficiais dos corpos hídricos da região Amazônica. Fonte: Autores.

Elemento-traço	Concentrações (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Autor	Ano/Local
	Min. – Máx.		
Fe	10 -300	Guarda et al.	2021/ Rio Formosa, TO
Zn	-		
Cu	0,001 – 29,93		
Mn	36 – 2.765		
Pb	<0,006		
Fe	0,42-35,4	Salomão et al.	2021/rio Parauapebas, PA
Zn	3-304		
Cu	1,4-556		
Mn	69-6.420		
Pb	-		
Fe	30.959- 139.979	Cavalcante e Santos	2021/Furo da Laura, Vigia- PA
Zn	57,2-133		
Cu	12,4 -21,7		
Mn	244,1- 681		
Pb	16,9-49,5		
Fe	-	Melo et al.	2020/rio Mindu, Manaus- AM
Zn	17,42- 113,09		
Cu	2,68 - 41,64		
Mn	1,49- 23,76		
Pb	1,15-10,32		
Fe	-	Melo et al.	2020/rio Quarenta, Manaus- AM
Zn	20,60-174,86		
Cu	4,27-44,86		
Mn	1,11-20,64		
Pb	1,09-17,85		
Fe	-	Melo et al.	2020/rio Tarumã-Açu, Manaus
Zn	1,05-7,16		
Cu	0,22-1,40		
Mn	0,66-3,14		
Pb	0,48-3,00		
Fe	-	Xavier et al.	2020/rio Cunãní, AP
Zn	46,00-93,00		
Cu	6,00-26,50		
Mn	-		
Pb	8,60-27,10		
Fe	-	Oliveira et al.	2018/Lago água Preta, Belém-PA
Zn	16,2-45,69		
Cu	13,48-30,47		
Mn	-		
Pb	50,1-114,8		
Fe	950,6- 7357,9	Santos et al.	2018/ Baia do Guajará, Belém-PA
Cu	1,2- 14,7		
Zn	-		
Mn	-		
Pb	-		

Fe	15.949,9- 42626,4	Carvalho et al.	2018/Lago Puruzinho, Amazonas
Zn	17,9-113,9		
Cu	4,1-22,4		
Mn	33,8-568,3		
Pb	5,4-16,5		
Fe	830-15.170	Coringa et al.	2016/Rio Bento Gomes, MT
Zn	4,51-46,05		
Cu	0,48-22,11		
Mn	135,83-652,5		
Pb	-		
Fe	-	Lima et al.	2015/ Furo da Laura, Vigia- PA
Zn	-		
Cu	-		
Mn	421-747		
Pb	-		
Fe	-	Siqueira e Aprile	2013/ Rio Aurá, Belém-PA
Zn	-		
Cu	10,5-28,8		
Mn	204,9-979,6		
Pb	-		
Fe	24.817-472.653	Santos et al.	2012/ Igarapé dos Tanques e lixão Porto Velho, Rondônia.
Zn	0,35-1.606		
Cu	0,76-892		
Mn	5,83-869		
Pb	0,32-305		

### Conclusão

O monitoramento dos elementos-traço nos sedimentos é relevante para se ter um retrato das condições ambientais dos corpos hídricos da região Amazônica. O Estado, pode desenvolver políticas públicas sustentáveis para contornar os efeitos dos elementos-traço no ambiente, com base em conhecimento das concentrações nos sedimentos, biota e água.

A presença dos elementos-traço em determinadas concentrações pode causar impactos imensuráveis para a biota do ambiente, e conseqüentemente ao ser humano. No entanto é importante destacar que é além das fontes antropogênicas, as fontes naturais também devem ser observadas, como por exemplo, a geologia local.

As concentrações do ferro e do manganês tiveram valores altos descritos entre os de 2012 a 2021, e que foram relacionados a geologia local.

### Agradecimentos

Agradeço, a CAPES pela concessão da bolsa e imensamente, a orientadora Dra. Maria de Lourdes Souza Santos e à equipe

do LQA pela troca de conhecimento no dia a dia do laboratório e apoio dado para o desenvolvimento da pesquisa que envolve os elementos-traço no ecossistema aquático da região Amazônica e em especial a Mary (Tatiane Bandeira) pelo companheirismo.

## Referências

- Ahmadi, A., Moore, F., Behnam Keshavarzi, B., Shahimi, H., Hooda, P. S. Bioaccumulation of selected trace elements in some aquatic organisms from the proximity of Qeshm Island ecosystems: Human health perspective, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 182, 2022, 113966, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113966>.
- Albuquerque, M. G., Sousa, S. S. O. D., Arruda, V. C. M. D., El-deir, S. G. 2022. Uso de bioindicadores como auxílio no monitoramento de rios com presença de dejetos de animais: revisão de literatura. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Investigación, desarrollo y práctica, p. 245–257, 6 abr. 2022. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.1.77686>.
- Almeida, R., Bernardi, J. V. E., Oliveira, R. C.; Carvalho, D. P., Manzatto, A. G.; Lacerda, L. D.; Bastos, W. R., 2014. Flood pulse and spatial dynamics of mercury in sediments in Puruzinho lake, Brazilian Amazon. *Acta Amazonica* [online], 44 (1), 99-105. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672014000100010>. Acesso: 12 jun. 2022.
- Araújo, M.C.B., Costa, M.F., Silvacavalcant, J.S., Santana, N., Jr. (2021). *Poluição Aquática, Ciências do mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil: oceano, clima, ambientes e conservação*/[editores] Danielle de Lima Viana ... [et al.]. -- 1. ed. -- Olinda, PE: Via Design Publicações, 2021.
- Alves, R.I., Sampaio, C.F., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Segura-Muñoz, S.I. (2014). Concentrações de metais em águas superficiais e sedimentos do rio Pardo, Brasil: riscos à saúde humana. *Pesquisa ambiental*, 133, 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.012>.
- Bai, J., Cui, B., Chen, B., Zhang, K., Deng, W., Gao, H., Xiao, R. 2011. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling* [online], 222(2), 301-306. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.002>. Acesso: 17 ago. 2022.
- Baird, C. 2012. *Química ambiental* (2a ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Bartoli, G., Papa, S., Sagnella, E., Fioretto, A. 2012. Heavy metal content in sediments along the Calore River: Relationships with physicochemical characteristics. *Journal of Environmental Management* [Online], 95, 9-14. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.02.013>. Acesso: 7 jul. 2022.
- Becker, B. Dinâmica Urbana na Amazônia. 2005. In: Diniz, C. C., Lemos, M. B. (Org.). *Economia e território* (pp. 401-428). Belo Horizonte: UFMG.
- Bezerra, P. S. S., Takiyama, L. R., Bezerra, C.W.B. 2009. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. *Acta Amazônica* [online], 39 (3), 639-648. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300019>. Acesso: 3 mar. 2022.
- Borah, R., Taki, K., Gogoi, A., Das, P., Kumar, M. 2018. Contemporary distribution and impending mobility of arsenic, copper and zinc in a tropical (Brahmaputra) river sediment, Assam, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [Online], 161, 769–776. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.038>. Acesso: 7 jul. 2022.
- de Carvalho Braga, C., Cabral, J. B. P., Lopes, S. M. F., Oliveira, S. F., & Rocha, I. R. (2018). Qualidade dos sedimentos em relação à presença de metais pesados no reservatório da usina hidrelétrica de Caçu-GO. *Rev. Bras. Geogr. Física*. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11i3.p959-972>.
- BRASIL. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA [Online]. Disponível: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=128537>. 2 ago. 2022.
- Carvalho, D. P., Almeida, R., Manzatto, A. G., Freitas, O. B., Bastos, W.R.

2018. Dinâmica de metais em sedimentos lacustres: estudo de caso no Rio Madeira, região Amazônica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online], 23, e21. Disponível: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170026>. Acesso: 10 jul. 2022.
- Cavalcante, A.M.S., Santos, R.N.E.S. 2021. Determinação de metais pesados (FE, Mn, Cd, Cu, CO, CR, NI, ZN E PB), matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento de áreas de manguezal no município de Vigia de Nazaré, NE –PA. *Holos Environment* [online], 21 (1), 105-123. Disponível: <https://doi.org/10.14295/holos.v21i1.12416>. Acesso: 16 mar. 2022.
- Cesar, R., Rodrigues, A. P., Bidone, E., Castilhos, Z., Polivanov, H., de CAMPOS, T. (2015). Proposta de um índice de risco ecológico para disposição sustentável de sedimentos de dragagem em Latossolos e Chernossolos. *Geosciences= Geociências*, 34(2), 275-285.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo [online]. Disponível: [https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wpcontent/uploads/sites/18/2015/03/tabela\\_valores\\_2005.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wpcontent/uploads/sites/18/2015/03/tabela_valores_2005.pdf). Acesso: 5 out. 2022.
- Chakraborty, S., Bhattacharya, T., Singh, G., Maity, J. P. 2014. Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: A biomonitoring approach for pollution assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [Online], 100, 61–68. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.12.003>. Acesso: 27 set. 2022.
- Chu D. 2018. Effects of heavy metals on soil microbial community. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 113, 012009. doi :10.1088/1755-1315/113/1/012009.
- Coelho, A., S., Toledo, P., M., Lopes, L.O.C. Ordenamento do território e a dinâmica do desmatamento na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.16, n.01(2023) 145-154.
- Cogo, M. R. M., Lopes, A. M., Vielmo, P. G. (2020). Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 1(1), 56-56. <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rema/article/view/77>.
- Constantino, I. C., Teodoro, G. C., Moreira, A. B., Paschoal, F. M., Trindade, W. G., & Bisinoti, M. C. (2019). Distribution of metals in the waters and sediments of rivers in central amazon region, brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30, 1906-1915. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190100>.
- Coringa, J. E. S., Pezza, L., Coringa, E. A. O. 2016. Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé - MT, Brasil. *Acta Amazonica* [online], 46(2), 161–174. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/18094392201502215>. Acesso: 14 out. 2022.
- da Costa Filho, M. C., Neto, A. M. D. A. P., Martelli, M. C. (2022). O uso de compostos zeolíticos como adsorventes para remoção de metais pesados (Pb, Cu, Cr e Mn): uma revisão. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 11 (16), e250111638159-e250111638159. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38159>
- Creswell, J. W., Creswell, J. D. 2021. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto (5a Ed.). Porto Alegre: Penso.
- Cunha, E. J., Cruz, G. M., Faria, A. P.J., De Oliveira, J.N., Juen, L. (2022). Impactos do desenvolvimento urbano e da industrialização na diversidade de insetos semiaquáticos: um estudo de caso em riachos da Amazônia oriental. *Water Biology and Security*, 1 (4), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100061>.
- Dang, P., Gu, X., Lin, C., Xin, M., Zhang, H., Ouyang, W., Liu, X., He, M., Wang, B. 2021. Distribution, sources, and ecological risks of potentially toxic elements in the Laizhou Bay, Bohai Sea: under the long-term impact of the Yellow River input. *J. Hazard Mater.* 413,

125429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125429>.

Dey, S., Tripathy, B., Kumar, M.S., Das, A.P. Ecotoxicological consequences of manganese mining pollutants and their biological remediation, *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, Volume 5, 2023, Pages 55-61, ISSN 2590-1826, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.01.001>.

Diarni, S.M., Kusin, F.M., Madzin, Z. Potential ecological and human health risks of heavy metals in surface soils associated with iron ore mining in Pahang, Malaysia. *Environ Sci Pollut Res.* 23:21086–21097 DOI 10.1007/s11356-016-7314-9, 2016.

Duarte, H.A. 2019. Ferro – Um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. *Química Nova* [online]. 42 (10), 1146-1153. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21577/01004042.20170443>. Acesso: 10 ago. 2022.

El-Sorogy, A.S., Youssef, M., Al-Kahtany, K., Saleh, M.M. 2020. Distribution, source, contamination, and ecological risk status of heavy metals in the Red Sea-Gulf of Aqaba coastal sediments, Saudi Arabia. *Marine Pollution Bulletin* [Online], 158. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.11.1411>. Acesso: 16 set. 2022.

El Zokm, G.M., Masoud, M.S., El-Shorbagi, E.K., Elsamra, R.M., e Okbah, M.A. (2023). Modelos dinâmicos de sulfetos reativos para prever metais perigosos em sedimentos de dois lagos do norte do Egito. *Boletim de Poluição Marinha*, 188, 114694. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.11.4694>.

Esteves, F. 2011. Fundamentos de limnologia (3 ed.). Rio de Janeiro: Interciência, p. 826.

Fadigas, F. S., Amaral Sobrinho, N. M. B., Mazur, N., Anjos, L. H. C., Freixo, A. A. 2006. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online], 10, 699–705. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300024>. Acesso: 30 abr. 2022.

Fairbridge, R. W. 1989. The enciclopédia of geomorphology.

*Encyclopedia of Earth Science Series* (vol. 3). Dowden, Hutchinson e Ross Inc. Stroudsburg, p. 325-330.

Farkas, A., Erratico, C.; Vigano, L. 2009. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere* [Online], 68, 761-768. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.099>. Acesso: 9 abr. 2022.

Farkhondeh, T., Naseri, K., Esform, A., Aramjoo, H., Naghizadeh, A. (2021). Toxicidade de metais pesados na água potável e doenças renais crônicas: uma revisão sistemática. *Comentários sobre Saúde Ambiental*, 36 (3), 359-366.

<https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0110>.

Ferreira, N. K. F., Lima, C. F., de Azevedo, É. B. M., Marinho, A. F., de Oliveira Araújo, F., de Azevedo, F. D. F. M. (2021). Disponibilidade de metais pesados e sua correlação com a matéria orgânica do solo em áreas produtoras de hortaliças na Região Metropolitana de Belém/Pa/Availability of heavy metals and their correlation with a soil organic material in vegetable producing areas in the Metropolitan Region of Belém/Pa. *Brazilian Journal of Development*, 7(11), 109022-109032. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-500>.

Fiori, C. S., Rodrigues, A. P. C., Santelli, R. E., Cordeiro, R. C. M., Carvalheira, R. G., Araújo, P. C., Castilhos, Z. C., Bidone, E. D. 2013. Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Case Study of Coastal Water Bodies from the Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil. *Geochimica Brasiliensis*, 27(1): 24-36. DOI: 10.5327/Z0102-9800201300010003.

Förstner, U., Ahlf, W., Calmano, W. (1989). Estudos da transferência de metais pesados entre fases sedimentares com um dispositivo multicâmaras: efeitos combinados de salinidade e variação redox. *Marine Chemistry*, 28 (1-3), 145-158.

[https://doi.org/10.1016/03044203\(89\)90192-8](https://doi.org/10.1016/03044203(89)90192-8).

Förstner, F., Wittmann, G. T. W. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin, Springer, p. 488.

Freret-Meurer, N. V., Andreatta, J. V., Meurer, B. C., Manzano, F. V., Baptista, M. G. S., Teixeira, D. E., Longo, M. M.,

- (2010). Distribuição espacial de metais em sedimentos da Baía do Ribeira, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil. *Boletim de poluição marinha*, 60 (4), 627-629.
- Guarda, PM, Rambo, MKD, Jaconi, A., Guarda, EA, & Silva, JEC da. (2021). Concentrações de metais tóxicos na água, solo e sedimento do rio Formoso, TO. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 10 (14), e177101421897. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21897>.
- Gui, J. Y., Rao, S., Huang, X., Liu, X., Cheng, S., Xu, F. (2022). Interação entre selênio e elementos micronutrientes essenciais em plantas: uma revisão sistemática. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 158673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158673>
- Ghrefat, H.; Abu-Rukah, Y., Rosen, M. 2011. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment* [Online], 178(1), 95-109. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1675-1>. Acesso: 31 ago. 2022.
- Hakanson, L., Ostapenia, A., Parparov, A., Hambright, K. D., Boulion, V. V. 2003. Management Criteria for Lake Ecosystems Applied to Case Studies of Changes in Nutrient Loading and Climate Change. *Lakes, Reservoirs: Research and Management*, v. 8, n. 2, p. 141-155.
- Hakanson, L. 1980. An Ecological Risk Index Aquatic Pollution Control. *A Sedimentological Approach. Water Research*, v. 14, p. 975-1001. [https://doi.org/10.1016/00431354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/00431354(80)90143-8).
- Hossain, M., Karmakar, D., Begum, S. N., Ali, S. Y., Patra, P. K. (2021). Tendências recentes na análise de oligoelementos no campo da pesquisa ambiental: uma revisão. *Microchemical Journal*, 165, 106086. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106086>.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia Física, Bacias e divisões hidrográficas do Brasil / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 160 p. - (Relatórios Metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 48).
- International Manganese Institute (IMnI), 2021. Monthly Report April 2020. Disponível em <https://www.manganese.org/wp-content/uploads/2021/04/2020-04-IMnI-Executive-Summary.pdf>. Acesso em 22/03/2023.
- Iyyappan, J., Baskar, G., Deepanraj, B., Anand, AV, Saravanan, R., Awasthi, M.K. (2022). Estratégias promissoras de bioeconomia circular usando plantas fitorremediadas com metais pesados – Uma revisão crítica. *Chemosphere*, 137097. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137097>.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants (4a ed.). Boca Raton: CRC, p. 534.
- Kalina, M., Klučáková, M., Sedláček, P. 2013. Utilization of fractional extraction for characterization of the interactions between humic acids and metals. *Geoderma* [online], 207, 92-98. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.031>. Acesso: 7 out. 2022.
- Kasilingam, K., Gandhi, M. S., Krishnakumar, S., Magesh, N. S. 2016. Trace element concentration in surface sediments of Palk Strait, southeast coast of Tamil Nadu, India. *Marine Pollution Bulletin* 111, 500-508. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.051>.
- Kitagishi, K., Yamane, I. 1981. Heavy metal pollution in *Soils of Japan*. Tokyo: Japan Science Society [online], p. 302. Disponível: <https://doi.org/10.2134/jeq1983.00472425001200030026x>. Acesso: 18 jul. 2022.
- Kong, W., Kong, J., Lyu, H., Ma, J., Yuan, P., Wang, Z., Feng, S. (2021). Integrando o tratamento de águas residuais municipais com fixação de CO<sub>2</sub> e produção de ácidos graxos por meio do cultivo de *Tetrademus obliquus*. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128916. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128916>.
- Krauskopf, K. B. 1972. Introdução à geoquímica II: tradução de Michal Landow Paulo S. C. Bogus. São Paulo. Polígono, Editora USP.

- Lacerda, L. D., De Paula, F. C. F., Ovalle, A. R. C., Pfeiffer, W. C., Malm, O. 1990. Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brazil. *The Science of the Total Environment* [Online], 97-98, 525-530. Disponível: [http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697\(90\)90261-R](http://dx.doi.org/10.1016/0048-9697(90)90261-R). Acesso: 20 out. 2022.
- Lešková, A., Javot, H., Giehl, R.F. (2022). Encruzilhada de metais em plantas: modulação da aquisição de nutrientes e desenvolvimento radicular por metais traço essenciais. *Journal of Experimental Botany*, 73 (6), 1751-1765.
- Li, D., Pan, B., Han, X., Lu, Y., Wang, X. (2023). Os riscos de toxicidade associados aos metais residuais exigem a conservação de espécies de peixes ameaçadas no Rio Amarelo, fortemente carregado de sedimentos. *Journal of Hazardous Materials*, 130928. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130928>
- Li, D., Yu, R., Chen, J., Leng, X., Zhao, D., Jia, H., An, S. (2022). Risco ecológico de metais pesados em sedimentos lacustres da China: uma análise integrada em escala nacional. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130206>.
- Lima, D. P. D., Santos, C., Silva, R. D. S., Yoshioka, E. T. O., Bezerra, R.M. (2015). Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, 45, 405-414.
- de Lima, M.W., Santos, M.D.L.S., de Melo, N.F.A.C., Faial, K.D.C.F., de Oliveira Lima, M., Nunes, D.M. (2015). 1771 Distribuição espaço-temporal dos metais Ba, Ca, K, Mn e na nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Amazônia Oriental, Brasil. *Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 15(1), 15-22.
- Li, X., Wai, O.W., Li, Y.S., Coles, B.J., Ramsey, M.H., Thornton, I. (2000). Distribuição de metais pesados em perfis de sedimentos do estuário do Rio das Pérolas, sul da China. *Applied Geochemistry*, 15 (5), 567-581.
- DOI: 10.1016/S0883-2927(99)00072-4.
- Loring, D.H. 1991. Normalization fo heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES Journal of Marine Science* 48, 101-115. <https://doi.org/10.1093/icesjms/48.1.101>.
- Maldonado, A.C.D., Wendling, B. 2009. Manejo de Ecossistemas Aquáticos Contaminados por Metais Pesados. *Agropecuária Técnica* [online], 30 (1), 21–32. Disponível: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v30i1.3237> . Acesso: 23. jun. 2022.
- Melo, M. G., de Castro, L. G., Reis, L. A., Costa, G. D. S., Silva, F. M. D., Bolson, M. A., ... & Bataglion, G. A. (2020). Metals, n-Alkanes, hopanes, and polycyclic aromatic hydrocarbon in sediments from three Amazonian streams crossing Manaus (Brazil). *Chemistry*, 2(2), 274-292. Doi: 10.3390/chemistry2020018
- Meurer, E.J. 2006. Potássio. In: Fernandes, M.S. (Ed). *Nutrição mineral de plantas*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, p.281-298.
- Miranda, J. L., Mesquita, R. B., Leite, A., Silva, A. M., Rangel, M., Rangel, A. O., (2023). Determinação de ferro não ligado à transferrina no soro sanguíneo usando espectrometria de fase sólida por injeção microssequencial – prova de conceito. *Talanta*, 124345.
- Milesi, S. V., Biasi, C., Restello, R. M., Hepp, L. U. 2008. Efeitos de Metais Cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do Sul do Brasil. *Acta Scientiarum Biological Sciences* [online], 30 (3), 283-289. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4025/actascibiolsci.v30i3.677>. Acesso: 5 out. 2022.
- Mohtar, W. H. M. W., Maulud, K. N. A, Muhammad, N. S., Sharil, S., Yaseen, Z. M. (2019). Avaliação de rios baseada em quociente de risco espacial e temporal para gestão de recursos hídricos. *Poluição Ambiental*, 248, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.011>.
- Muñoz-García, A., Arbeli, Z., Bouacá-Vasquez, V., Vanegas, J. Metagenomic and genomic characterization of heavy metal tolerance and resistance genes in the rhizosphere microbiome of *Avicennia germinans* in a semi-arid

mangrove forest in the tropics, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 184, 2022, 114204, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114204>.

do Nascimento Monte, C., de Castro Rodrigues, A.P., de Freitas, A.R., Braz, B. F., Freire, A. S., Cordeiro, R. C., Machado, W. T. V. (2021). Ecological risks associated to trace metals of contaminated sediments from a densely urbanized tropical eutrophic estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.

DOI: 10.1007/s10661-021-09552-7.

Nkele, K., Mpenyana-Monyatsi, L., Masindi, V. Challenges, advances and sustainabilities on the removal and recovery of manganese from wastewater: A review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 377, 2022, 134152, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134152>.

Narendra, B. H., Siregar, C. A., Dharmawan, W. S., Sukmana, A., Pratiwi, Pramono, I. B., Basuki, T. M., Nugroho, S. H., Supangat, A. B., Purwanto, Setiawan, O., Nandini, R., Ulya, N. A., Arifanti, V. B., Yuwati, T. W. 2021. A review on sustainability of watershed management in Indonesia. *Sustainability*, 13 (19), 1-29. <https://doi.org/10.3390/su131911125>.

Napper, I. E., Wright, A. C., et al., Potencial liberação de microplástico da indústria marítima: abrasão da corda ciência *Ambiente Total.*, 804 (2022), Artigo 150155, 10.1016/J.SCITOTENV.2021.150155.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150155

Oliveira, E. C., Lafon, J. M., Corrêa, J. A. M., dos Santos Carvalho, J. H., Dias, F. F., Taddei, M. H. T. (2015). Distribuição dos metais traços em sedimentos de fundo do sistema hidrográfico da região de Belém, PA (margem oeste da baía do Guajará e rio Carnapijó). *Geochimica Brasiliensis*, 29(2), 139-139.

Oliveira, G. M. T. S. D., Oliveira, E. S. D., Santos, M. D. 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 Sanitaria e Ambiental*, 23, 599-605.

<https://doi.org/10.1590/S141341522018152875>.

OMS- Organização Mundial da Saúde. (2021). Lead poisoning [Fact Sheet]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health#:~:text=Lead%20exposure%20can%20have%20serious,intellectual%20disability%20and%20behavioural%20disorders>.

Pilon, G. D., Machado, L. M. F., Barros, P. M., Barioni, E. D., Rocha, G. H. O., Oliveira, R. T. D. 2022. Intoxicação por chumbo em crianças e sintomas neurológicos. *Research, Society and Development*, v. 11, n.14, e161111436031. Disponível: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36031>. Acesso: 23 jun. 2022.

Reginato, B. C., Silveira, V. F., Schaidhauer, A. C. G., Madeira, A. R., Oliveira, A. A. D., Bernardi, F. F., Borgmann, G., Ferreira, H. C., Plautz, K., Britto, K. L. B., Nunes, L. V., Schroeder, M. W., Horner, M. B. W., Botelho, N. G. N. T., Korn, R., Sierth, R., Josino, T. F., Stangarlin, T. S., Grawe, V. H., Lorenzi, L., Oliveira, T. M. N., Junior, J. C. F.M. 2023. Análise de metais pesados pelo método de biomonitoramento no Rio Cachoeira, região Nordeste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.16 n.01 (2023) 310-324.

DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p310-324>.

Rizk, R., Juzsakova, T., Ali, M. B., Rawash, M. A., Domokos, E., Hedfi, A., Rédey, Á. (2022). Avaliação ambiental abrangente da contaminação por metais pesados das águas superficiais, sedimentos e tilápia do Nilo no Lago Nasser, Egito. *Journal of King Saud University-Science*, 34 (1), 101748. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101748>.

da Rocha, G. O., Guarieiro, A. L., de Andrade, J. B., Eça, G. F., Aragão, N. M., Aguiar, R. M., Hatje, V. (2012). Contaminação na Baía de Todos os Santos.

Roos, A. A., Quináia, S. P., Pletsch, A. L., dos Santos, K. P. M. G. (2021). Especiação de metais em sedimentos de superfície de uma unidade de conservação: Refúgio Biológico de Santa Helena-Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(05), 2896-2915.



DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2896-2915>.

Rousseaux, P., de Castilhos, A. B., Vermande, P., Veron, J. (1992). Determinação de malhas trommel para separação ótima da fração compostável de resíduos sólidos urbanos de Florianópolis, SC, Brasil. Recursos, conservação e reciclagem, 6 (3), 217-229.

Salomão, G.N.; Farias, D.d.L.; Sahoo, P.K.; Dall'Agnol, R.; Sarkar, D. Integrated Geochemical Assessment of Soils and Stream Sediments to Evaluate Source-Sink Relationships and Background Variations in the Parauapebas River Basin, Eastern Amazon. *Soil Systems*. 2021, 5, 21. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5010021>.

Salomons, W., Förstner, U. (1984). Metais no Hidrociclo Springer Science & Business Media.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-69325-0>.

dos Santos, J. P., de Souza, D. D. O., Miranda, M. R., Bastos, W. R. (2012). Estudos de elementos-traço na cidade de Porto Velho/Rondônia, Amazônia Ocidental. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 7(2).

doi:10.5132/jbse.2012.02.001.

Santos, J. S., Souza, F. M., Santos, M. L. P. 2013. Distribuição de Zn, Pb, Ni, Cu, Mn e Fe nas frações do sedimento superficial do Rio Cachoeira na região sul da Bahia, Brasil. *Química Nova* [online], 36, 230-236. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200005>. Acesso: 26 set. 2022.

dos Santos, A. R. M., Bezerra, R. C. A., & Cordeiro, L. R. B. A. (2023). Valor nutritivo de plantas forrageiras cultivadas no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(03), 1466-1489.

dos Santos Sousa, J., Santos, M. M., dos Santos, B. N., dos Santos, N. M. M., Pinto, L. C. (2021). Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(01), 322-331.

dos Santos, L. F., de Sousa, A. M. L., Faial, K. D. C. F. (2018). Análise de metais no sedimento na baía do Guajará

Belém/PA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(4), 314-325.

DOI:10.6008/CBPC21796858.2018.004.0025

SEDAM, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental, 2002. Atlas Geoambiental de Rondônia. Porto Velho, RO, p. 141.

SEMAS- Secretária de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade, Conjuntura dos Recursos Hídricos do Estado do Pará. Leal, R.E. et al. (Orgs.), 2022.

Shakeri, A., Fard, M. S., Mehrabi, B., Mehr, M. R. (2020). Ocorrência, origem e risco para a saúde de arsênico e elementos potencialmente tóxicos (PTEs) em sedimentos e tecidos de peixes da área geotérmica do rio Khiav, província de Ardebil (NW do Irã). *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 106347.

<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106347>.

Sharma, P., Dutta, D., Udayan, A., Nadda, A. K., Lam, S. S., Kumar, S. 2022. Papel dos micróbios na bioacumulação de metais pesados em resíduos sólidos urbanos: impactos na planta e no ser humano. *Poluição Ambiental*, 119248.

DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119248.

Shen, X., Dai, M., Yang, J., Sun, L., Tan, X., Peng, C., Naz, I. (2022). A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: Performance and challenges. *Chemosphere*, 291, 132979.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132979>

Shi, Y., Hu, H., Wu, Z., Wu, J., Chen, Z., Cheng, X., Li, P. 2023. Associações entre ingestão dietética de cobre e hipertrigliceridemia entre crianças e adolescentes nos EUA. *Nutrição, Metabolismo e Doenças Cardiovascular*.

<https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.01.020>.

Shikha, D., Singh, P. K. 2021. Fitorremediação in situ de solos e águas subterrâneas contaminados por metais pesados: uma abordagem inventiva ecológica. *Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição*, 28, 4104-4124.

DOI: 10.1007/s11356-020-11600-7

Silva, P. P., Santos, S., Jesus, B. 2017. Assessment of heavy metal contamination in sub-tropical riverine

sediments using geoaccumulation index. *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 12, 1- 9. doi: 10.5132/eec.2017.01.01.

Siqueira, G. W., Pereira, S. F. P., Aprile, F. M. 2006. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. *Acta Amazonica* [Online], 36 (3), 321-326. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300005>. Acesso: 21 abr. 2022.

Siqueira, G. W., Aprile, F. 2013. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. *Acta Amazonica* [Online], 43(1), 51– 62. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000100007>. Acesso: 25 jul. 2022.

Souza, A. K., Morassuti, C.Y., Deus, W. B. (2018). Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. *Acta Biomedica Brasiliensia*, 9 (3). <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>.

Taylor, S. R., McLennan, S. M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics* 33, 241-265.

Te, L., Liu, J., Ma, J., Wang, S. (2022). Correlation between serum zinc and testosterone: A systematic review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 127124.

<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.127124>.

Trevino, K. M., Wagner, C. R., Tamura, E. K., Garcia, J., Louie, A. Y. Small molecule sensors for the colorimetric detection of Copper (II): A review of the literature from 2010 to 2022, *Dyes and Pigments*, 2022, 110881, ISSN 0143-7208, <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110881>.

Tyler, G., Olsson, T. 2001. Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. *Soil Science* [Online], 52 (1), 151-165. Disponível: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.t01-1-00360.x>. Acesso: 2 set. 2022.

Veiga, T. R., de Souza, A. M., Cunha, B. A., Martins, M. V. A., Tavares Jr,

A. D., Machado, A. F., Gerales, M. C. (2022). Geoquímica dos sedimentos de Fundo da Enseada de Ribeira–Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(04), 1994-2024.

Vilhena, M. P., Costa, M. L., Berrêdo, J. F., Paiva, R. S., & Moreira, M. Z. (2021). Trace elements and  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopes in sediments, phytoplankton and oysters as indicators of anthropogenic activities in estuaries in the Brazilian Amazon. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101618>

Wang, H., Yuan, Z., Chen, Q., Zhan, S., Sadeghi, B. 2022a. Geochemical anomaly definition using stream sediments landscape modeling, *Ore Geology Reviews*, Volume 142, 2022, 104715, ISSN 0169-1368, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104715>. Acesso: 20 de fev 2023.

Wang, Q., Cui, Q., Gao, J. P., Xing, R. 2022b. Papel dos biomarcadores de ferro e ingestão de ferro no risco de câncer de pulmão: uma revisão sistemática e meta-análise. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 127060.

<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2022.127060>.

Wang, J., Liu, G., Liu, H., Lam, P. K. S. 2017. Tracking historical mobility behavior and sources of lead in the 59-year sediment core from the Huaihe River using lead isotopic compositions. *Chemosphere* [Online], 184, 584–593. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.022>. Acesso: 30 abr. 2022.

Wei, M., Yanwen, Q., Zheng, B., Zhang, L. (2008). Poluição por metais pesados na baía de Tianjin Bohai, China. *Journal of Environmental Sciences*, 20 (7), 814-819.

[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62131-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62131-2).

Xavier, D. A., Dos Santos, V. F., de Miranda, A. G. O., & Berrêdo, J. F. (2020). Determination of background geochemistry of an Amazon estuary: The Cuñaní Estuary–Amapá. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111144>

Xu, C., Feng, Y., Li, H., Wu, R., Ju, J., Liu, S., Yang, Y., Wang, B. Adsorption of

heavy ions by iron tailings: Behavior, mechanism, evaluation and new perspectives, *Journal of Cleaner Production*, Volume 344, 2022, 131065, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131065>.

Zhang, Z., Wang, J., Ali, A., De Laune, R. D. 2018. Physico-chemical forms of copper in water and sediments of Lake Pontchartrain basin, USA *Chemosphere* [Online], 195, 448–454. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.115>. Acesso: 10 ago. 2022.

## **CAPÍTULO 3**

PADRONIZADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA CATENA ISSN:  
0341-8162

**RISCO ECOLÓGICO POTENCIAL DOS ELEMENTOS-TRAÇO NO FURO DO  
MURIÁ-REGIÃO AMAZÔNICA-BRASIL.**

Qualis: A1 Artigo CAPES 2017-2020. ISSN: 0341-8162

**RESUMO:**

A região amazônica é um bioma de importância mundial, a qual abriga uma vasta diversidade de organismos aquáticos e terrestres, desempenha um papel fundamental no sequestro global de carbono, ciclagem da água e regulação do clima. No entanto, sua posição na preservação da biodiversidade e na prevenção das mudanças climáticas não foram levadas em considerações nos planos de desenvolvimento implantados na região, ao longo do tempo. Na região Amazônica, é característico corpos hídricos conhecidos como “Furo”, denominação regional que consiste em um canal ou acidente hidrográfico, que faz a conexão entre lagos, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, neste último caso, fora da planície aluvial. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo calcular o Risco Ecológico Potencial dos Et's (ferro, cobre, manganês, zinco, chumbo) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá (Curuçá, Pará, Brasil), e avaliar a influência da sazonalidade da região na distribuição desses Et's. Os dados obtidos para o fator de contaminação demonstraram que os elementos estudados Zn e Fe foram classificados de forma respectivamente considerável (<1 a 4) e moderado (2,7 a 2,9) isto pode ser relacionado com as ações antrópicas no ambiente o que ocasionam a perturbação dos sedimentos superficiais pelos elementos-traço. No índice de risco ecológico potencial dos elementos-traço (Cobre, zinco e chumbo) apresentaram valores abaixo de 40 demonstrando que o ambiente não está sendo impactado de forma severa, porém é importante a continuidade de estudos pois este trabalho é o início para o monitoramento de médio a longo prazo do ecossistema para verificar a mudança ao longo do tempo.

Palavras-chave: Zinco, Chumbo, biodiversidade.

## 1-INTRODUÇÃO

A região amazônica é um bioma de importância mundial, a qual abriga uma vasta diversidade de organismos aquáticos e terrestres, desempenha um papel fundamental no sequestro global de carbono, ciclagem da água e regulação do clima. No entanto, sua posição na preservação da biodiversidade e na prevenção das mudanças climáticas não foram levadas em considerações nos planos de desenvolvimento implantados na região, ao longo do tempo (Rico et al., 2022), bem como, a qualidade das águas dos rios desta região.

As mudanças na qualidade da água e a degradação dos corpos hídricos foram relacionadas por (TUCCI, 2016) com as formas de uso da terra, como a compactação, impermeabilização, desmatamento, aterramentos e outros fatores (Costa et al., 2020), ou seja, as ações antrópicas que ocorrem ao longo da bacia.

Na região Amazônica, é característico corpos hídricos conhecidos como “Furo”, denominação regional que consiste em um canal ou acidente hidrográfico, que faz a conexão entre lagos, um rio a um lago ou entre dois rios (Pimental, et al. 2012). (Mourão et al., 2021) relataram que rios são correntes de água que circulam pelos continentes, podendo se originar de fontes ou nascentes, águas da chuva e outras características físicas como: i) cabeceira; ii) curso superior; iii) curso médio; vi) curso inferior. A partir das características descritas acima, pode-se verificar que a área do Furo do Muriá não se enquadra na condição de rio por não apresentar tais características. Dessa forma a área estudada é considerada como furo, acidente hidrográfico que permite a ligação entre as águas do rio Mocajuba e do rio Curuçá.

O Furo do Muriá fica localizado a 8 km do município de Curuçá e 136 km de Belém, capital do Estado do Pará (Brasil), a importância para a comunidade ribeirinha local deste ecossistema aquático é que serve como meio de locomoção, atividades agrícolas e pesca artesanal, bem como o comércio que atenda às necessidades dos moradores e turistas na área, próximo ao Furo localizam-se às comunidades Beira Mar e Recreio (de Sousa et al., 2022).

A área do Furo de Muriá é enquadrada no Setor 4 Flúvio Marítimo na Zona Costeira do Pará, segundo Política Estadual de Gestão Costeira, regida pela lei nº 9.064 de 25 de maio de 2020 (SEMAS, 2020). Contudo, as atividades antrópicas ao longo das áreas ambientais contribuem para a descarga excessiva de poluentes nos ecossistemas aquáticos, como por exemplo, os elementos-traço (Dan et al., 2022). Mourão et al. (2021) descreveram a importância do conhecimento das condições ambientais do Furo do Muriá para servirem de base para implantação de políticas públicas.

A contaminação por elementos-traço tem sido um problema ambiental global, especialmente em sedimentos e ecossistemas aquáticos nos últimos anos. Comparado aos poluentes ambientais tradicionais, o elemento-traço é uma categoria única devido à sua toxicidade biológica, não ser

biodegradável, durabilidade e enriquecimento biológico. Embora vários elementos sejam necessários como elementos essenciais para os organismos vivos, eles também têm impactos prejudiciais nos organismos se os níveis estiverem além de certos limites. A rápida urbanização e industrialização resultaram na entrega contínua de metais pesados para estuários e áreas costeiras nas últimas décadas, causando sérios riscos aos ambientes marinhos. E aproximadamente 85% dos elementos-traço lançados nas águas podem ser acumulados em sedimentos superficiais (Liu et al., 2023).

Esses elementos podem ser encontrados no ambiente naturalmente no solo ou em erupções vulcânicas, mas também podem ser um subproduto de muitas atividades humanas, incluindo mineração, emissões de automóveis, resíduos industriais, tabaco, alimentos contaminados etc. Portanto, os seres humanos podem ser expostos diretamente a um elemento ou a uma mistura de elementos-traço por meio do consumo, inalação ou contato direto com a pele (Nguyen & Kim, 2023).

Os elementos-traço nos rios podem ser adsorvidos nos sedimentos e permanecer por muito tempo no ambiente, embora a poluição exógena de elementos-traço possa diminuir com o passar tempo, os sedimentos são descritos como uma fonte de poluição interna, pois podem liberar os elementos para os corpos d'água (Kang et al., 2023).

Os sedimentos são reconhecidos como o principal reservatório de elementos pois desempenham um importante papel no transporte e acúmulo desses elementos, o que faz com que esse compartimento seja utilizado com um indicador ambiental (Wang et al., 2022).

Ao longo dos anos várias ferramentas foram desenvolvidas para avaliação de contaminação de ambientes aquáticos em relação aos elementos-traço, uma das ferramentas em destaque é o Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP) que foi desenvolvido para avaliar e determinar os níveis de contaminação dos elementos-traço de acordo com sua toxicidade frente à reação do ambiente à poluição (Hakanson, 1980; Protano, et al., 2014; González, et al., 2018).

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo calcular o Risco Ecológico Potencial dos elementos (ferro, cobre, manganês, zinco, chumbo) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá (Curuçá, Pará, Brasil), e avaliar a influência da sazonalidade da região na distribuição desses elementos.

## 2- MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1- Área de estudo

A área de estudo, Furo do Muriá (Figura 1), está localizado no estuário do Rio Curuçá município de Curuçá, Pará (Nordeste Paraense). Limita - se ao Norte com o Oceano Atlântico; ao Leste com o município de Marapanim; ao Sul com o município de Terra Alta; ao Oeste com o município de São Caetano de Odivelas e São João da Ponta (Pará, 2014).

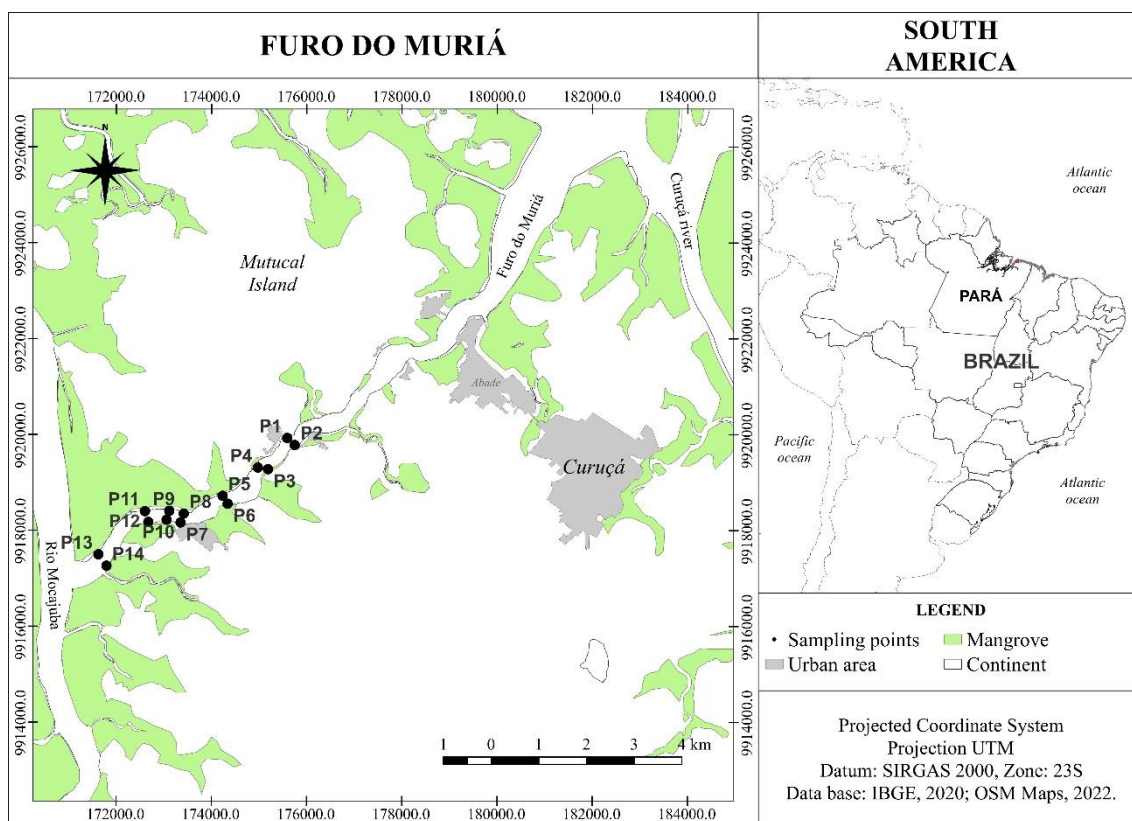
O clima do Município insere-se na categoria equatorial Amazônico, do tipo Am da classificação de Köppen. Temperaturas elevadas, com média de 27° C, e precipitações abundantes que ultrapassam os 2.000 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos de janeiro a junho, e menos chuvosos, de julho a dezembro (Mourão, et al., 2020).

O Furo do Muriá apresenta extensa área de mangue que permite uma das fontes de alimentos dos moradores das comunidades ao entorno deste corpo hídrico, a qual tem trechos com grande extensão entre as margens e assim permitindo a circulação de embarcações, suas águas tão importantes economicamente e socialmente para a sobrevivência da comunidade local, além disso a exploração de atividades que apresentam os elementos-traço na forma inativada acabam tornando os elementos-traço na forma ativa no ambiente (Mourão, et al. 2020) como por exemplo os peixes que estão circulando na bacia acabam apresentando toxicidade pelos elementos-traço, como Sobrinho e colaboradores (2023) descrevem no caso dos peixes de água doce, a intoxicação por elementos-traço provoca uma série de distúrbios como baixa fertilidade, redução da imunidade e da taxa de crescimento e doenças que podem levar a morte.

Conforme Sousa et al. (2020) as principais atividades no município de Curuçá são: a atividade pesqueira, o extrativismo e a agricultura (Sousa, et al., 2020), podem apresentar níveis de contaminação dos elementos no ambiente.



Figura 1: Localização do Furo do Muriá, Curuçá-PA.



Fonte: Autoria.

As amostras de sedimentos foram coletadas com amostrador do tipo Ekman-Birge em uma pequena embarcação local. Após a abertura da draga, foram coletadas amostras representativas dos diferentes pontos amostrados. Após a sua emersão, a draga foi aberta em uma bandeja de plástico limpa e com o auxílio de uma pá plástica recolheu-se a camada superficial do sedimento que equivale à fração sedimentar oxidada. As frações mais oxidadas e recentes do sedimento foram coletadas apenas na margem do Furo de Muriá (zona entremarés), uma vez que não foram observados sedimentos finos na secção central do Furo.

Em 2015, foram coletadas amostras de sedimento em quatorze pontos na área do Furo de Muriá no mês de março, junho, setembro e dezembro, com um total de 56 amostras de sedimentos, uma área de aproximadamente 818,3 metros de comprimento de 151 metros de largura. Todos os pontos foram georreferenciados com um sistema de posicionamento global (Magellan GPS, modelo NAV 5000 ROTM). As medições de salinidade foram conduzidos instantaneamente durante a coleta de amostras usando uma sonda multiparamétrica Hanna HI9828.

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos limpos e devidamente lacrados e rotulados para armazenamento em isopor com gelo antes de serem transportados para o Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural de Amazônia, onde foi realizada a especiação química do fósforo para extrair de forma eficiente. As amostras também

foram enviadas ao Laboratório do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros da Universidade Federal do Pará, onde a análise de matéria orgânica (MO). Todas as análises foram realizadas em triplicada (Sousa, et al., 2023).

## 2.2- Análise do sedimento

Os dados do teor da matéria orgânica e de fósforo total foram retirados do trabalho de Sousa et al. (2023). Segundo o autor a matéria orgânica (MO) no sedimento foi determinada gravimetricamente seguindo a metodologia desenvolvida por Kralik (1999). De cada ponto amostrado, foi pesado 1 g de sedimento bruto, sem lavagem, em cadinhos de porcelana após secagem em estufa a 100°C por 24h para retirada da umidade. Em seguida, as amostras foram submetidas à calcinação em mufla por 2h a 360°C, seguida de resfriamento em dessecador. A diferença entre os pesos final (sedimento calcinado) e inicial (sedimento seco) foi a quantidade total de MO (Sousa, et al., 2023).

Segundo Sousa et al. (2023) nas análises de fósforo todas as análises das frações foram realizadas em triplicata. Extrações para fósforo orgânico (OP), fósforo inorgânico não apatita (NAIP) e fósforo ligado ao cálcio (fósforo apatita (AP)) foram determinadas pelo método desenvolvido por Williams et al. (1976), modificado por Burrus et al. (1990), descrito por Pardo e cols. (2004), e usado pelo Programa de Padrões, Medições e Testes da European Comissão. Todos os fosfatos extraídos foram determinados pelo método colorimétrico de azul de molibdênio, conforme descrito em APHA (2017).

A composição granulométrica dos sedimentos superficiais do Furo de Muriá é composta, em sua maioria, por sedimentos finos (silte e argila) com pequenas porcentagens de areia (Sousa *et al.*, 2023).

## 2.3- Avaliação dos elementos traço em sedimentos

### 2.3.1- Índice de geoacumulação (Igeo)

O método do índice de geoacumulação proposto por Müller foi utilizado para avaliar o grau de contaminação de metais pesados no sedimento da Baía de Haizhou. Igeo pode ser calculado com a seguinte fórmula (1) (Müller, 1969):

O índice de geoacumulação foi calculado para o metal estudado para descrever os graus de contaminação por elementos-traço (Muller, 1969) como segue:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right) \quad (1)$$

onde  $C_n$  é a concentração medida do elemento  $n$  e  $B_n$  é a concentração geoquímica de fundo do elemento  $n$ . O fator 1,5 é utilizado para minimizar o efeito de possíveis variações nos valores

de fundo associados às variações litológicas no sedimento (Ke et al., 2017; Zhang e Gao, 2015), segue abaixo a tabela 1 com os graus para o Igeo.

Tabela 1: Graus de poluição do índice de geoacumulação (Igeo).

Grau de I geo	Valor de I geo	Grau de contaminação
0	$I_{geo} \leq 0$	Não contaminado
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	Ligeiramente contaminado
2	$1 \leq I_{geo} \leq 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 \leq I_{geo} \leq 3$	Consideravelmente contaminado
4	$3 \leq I_{geo} \leq 4$	Severamente contaminado
5	$4 \leq I_{geo} \leq 5$	Extremamente contaminado
6	$5 \leq I_{geo}$	Seramente contaminado

Fonte: Fadlillah et al., (2023)

### 2.3.2- Fator de enriquecimento (FE)

O fator de enriquecimento (FE) é usado para avaliar o impacto da poluição antropogênica. É geralmente definido como a razão entre a concentração de metal na amostra de sedimento e a concentração média da crosta normalizada por elementos conservativos (Chen et al., 2007; Islam et al., 2015; Perumal et al., 2021), o Ferro é usado como elemento normalizador no cálculo e a equação 2 é:

$$EF: \frac{\left(\frac{M_{sam}}{NM_{sam}}\right)}{\left(\frac{M_{crust}}{NM_{crust}}\right)} \quad (2)$$

onde  $(M_{sam}/NM_{sam})$  é a razão de concentração do elemento-traço para o elemento normalizado trações em amostras de sedimentos;  $(M_{crust}/NM_{crust})$  é a proporção de metal para concentrações médias normalizadas de metais na crosta continental superior (CCS) (Rudnick e Gao, 2003). O ferro é abundante na crosta terrestre, é facilmente perturbado pela poluição antropogênica, e é dominado por fontes naturais (98%) (Kamau, 2002; Raju et al., 2011, Chen et al., 2022), abaixo está descrito os graus de poluição para o FE.

Tabela 2: Graus de poluição do fator de enriquecimento (FE).

Grau de FE	Valor de FE	Grau de contaminação
0	$EF < 1,5$	Sem influência humana
1	1,5-3	Pouca
2	3-5	Moderado
3	5-10	Severo
4	$>10$	Muito severo

Fonte: Fadlillah et al., (2023)

### 2.3.3- Fator de contaminação (FC)

O FC foi calculado para cada um dos elementos-traço, de acordo com o estabelecido por Hakanson (1980) e adaptado por Fiori et al. (2013). O FC foi calculado com a fórmula (3):

$$FC = C/C^0 \quad (3)$$

Onde: C é a concentração média do elemento-traço no sedimento;  $C^0$  é o valor de *background* de acordo com Taylor e McLennan (1995), com concentrações médias para Fe, Mn, Cu, Pb e Zn de 44.900  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 700  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 55  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 12,5  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e 70  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

Tabela 3: Classificação do fator de contaminação.

Fator de Contaminação	Classificação
$FC > 1$	Baixa
$1 \leq FC < 3$	Moderada
$3 \leq FC < 6$	Considerável
$FC \geq 6$	Muito alta

Fonte: Ni et al., (2022).

### 2.3.4- Índice de risco ecológico potencial (PERI)

No cálculo do Peri é utilizado o fósforo total (PT) em  $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , a matéria orgânica (MO) e o fator de sensibilidade (FS), a qual o fósforo total é dividido pela matéria orgânica posteriormente multiplicado pelo valor unitário 10, na qual no final resultará no Fator de sensibilidade. Dando continuação ao cálculo o FS será utilizado dividido pelo fator de toxicidade do sedimento que cada elemento-traço tem um valor estabelecido como o Zn = 1, Cu = 5 e Pb = 5 na obtenção deste cálculo é obtido o fator de resposta tóxica (FRT) no local. Por fim o IREP é realizado com a multiplicação do FRT com o fator de contaminação (FC), a qual para o IREP serão usados os três elementos-traço citados anteriormente.

O índice de risco ecológico potencial (RI) foi proposto por Hakanson (1980), e foi usado para determinar quantitativamente a probabilidade e intensidade dos efeitos negativos dos perigos sobre os organismos usando informações sobre a ecologia local, química ambiental e toxicidade (Zhang e Gao, 2015; Liu et al., 2018b; Kim et al., 2021). O RI pode ser calculado da seguinte fórmula (4):

$$RI = \sum E^i E^j = Tr^i \times CF_i = Tr^i \times \left(\frac{C_i}{B_i}\right) \quad (4)$$

Onde  $CF_i$  é o índice de contaminação para metal pesado i,  $C_i$  é a concentração de metal pesado i no sedimento e  $B_i$  é o valor de fundo para metal pesado i. O IR é calculado como a soma

de todos os fatores de risco para metais pesados em sedimentos. A classificação do IR é a seguinte: baixo risco ( $IR < 150$ ), risco moderado ( $150 \leq IR < 300$ ), risco considerável ( $300 \leq IR < 600$ ) e risco muito alto ( $IR \geq 600$ ) (Hakanson, 1980).

O índice de risco potencial foi proposto pela primeira vez pelo sueco químico Håkanson em 1980, foi considerado de forma abrangente o teor de poluição, efeitos ecológicos, efeitos ambientais e efeitos toxicológicos, este é amplamente utilizado na avaliação de poluição por elementos-traço (Håkanson L., 1980, Al-Kahtany, et al., 2023).

Este índice pode analisar quantitativamente o dano potencial ao meio ambiente de um único elemento-traço nos sedimentos. As equações 4 e 5 são empregadas para o cálculo do PERI:

$$E_r^i = T_r^i \times (C^i/S^i) \quad (5)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (6)$$

O índice de risco (IR) é aplicado para avaliar o grau de risco ecológico dos metais nos sedimentos. Tem sido amplamente utilizado; entretanto, não considera as fontes litogênicas e as mudanças nas concentrações de metais de fundo. O cálculo do IR foi a partir da seguinte equação

Tabela 4: As categorias de risco ecológico potencial representadas por  $E_r^i$  e RI.

$E_r^i$	Risco ecológico individual	RI	Potencial de risco ecológico
$E_r^i < 40$	Baixo risco	$RI < 150$	Baixo risco
$40 \leq E_r^i < 80$	Risco moderado	$150 \leq RI < 300$	Risco moderado
$80 \leq E_r^i < 160$	Risco considerável	$300 \leq RI < 600$	Risco considerável
$160 \leq E_r^i < 320$	Alto risco	$RI \geq 600$	Alto risco
$E_r^i \geq 320$	Risco extremamente		

Fonte: Fadlillah et al., (2023).

#### 2.4- Estatística

A estatística descritiva (máximo, mínimo, média e desvio padrão) foi empregada para todos os elementos-traço. Os dados não atenderam ao requisito de homogeneidade e distribuição normal, desta forma foi utilizado o teste de Shapiro Walk, o teste de Kruskal - Wallis (K-W), posteriormente o teste de Dunn's para verificar qual dos elementos-traço apresentou diferença significativa. Todas as análises estatísticas foram realizadas no Software PAST, o R studio foi usado para criar o box plot.

Foi utilizada a análise de agrupamento hierárquico (HCA) que é um processo hierárquico no qual, em cada passo a matriz de dados é diminuída em uma dimensão pela reunião de pares semelhantes, até a reunião de todos os pontos em um único grupo (Panero, et al., 2009). O método

relaciona as amostras de forma que as mais semelhantes são agrupadas entre si (Panero, et al., 2009). A análise de correlação de Spearman também foi aplicada para explorar a correlação entre os elementos-traço no Furo do Muriá.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elementos-traço tem a característica de serem facilmente adsorvidos nas partículas, e conseqüentemente são levados ao acúmulo nos sedimentos. Assim, as concentrações desses elementos nos sedimentos refletem o grau de poluição (Yuan, *et al.*, 2011; Rao, *et al.*, 2021).

Contudo, a composição do sedimento tem um papel principal como um fator primário no enriquecimento dos elementos-traço, visto que, as frações de silte e argila podem fornecer uma área favorável para absorção, enquanto, a fração areia, permite uma forte capacidade de absorção física e absorve uma quantidade mais significativa de componentes ativos (Avinash et al., 2016, Huang et al., 2020).

A composição granulométrica dos sedimentos superficiais do Furo de Muriá foi descrita por Sousa e colaboradores (2023), por sedimentos finos (silte e argila) com pequenas porcentagens de areia, entre areia siltosa e silte arenosa, e com condições hidrodinâmicas altas e muito altas.

As médias das concentrações dos elementos-traço encontrados nos sedimentos superficiais do furo do Muriá, durante a estação menos chuvosa e chuvosa da região, mostram que os teores médios seguiram a seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > Pb > Cu (Tabela 5).

Tabela 5: Estatística descritiva dos pontos em relação aos elementos-traço (Cu, Fe, Zn, Mn e Pb) em mg.kg<sup>-1</sup> nas duas estações sazonais da região do Furo do Muriá, Curuçá-Pará.

Estatística Elementos	Estação menos chuvosa			Estação Chuvosa		
	Med. <sup>1</sup> ± DP <sup>2</sup>	Min. <sup>3</sup>	Máx. <sup>4</sup>	Med. <sup>1</sup> ± DP <sup>2</sup>	Min. <sup>3</sup>	Máx. <sup>4</sup>
Ferro (Fe)	1595±23,02 <sup>a</sup>	1552	1650	1588± 28,90 <sup>a</sup>	1510	1633
Cobre (Cu)	15,90± 4,36 <sup>a</sup>	7,00	27,00	12,40± 4,16 <sup>b</sup>	4,00	30,00
Manganês (Mn)	159,20±49,74 <sup>a</sup>	85	281	212±99,22 <sup>b</sup>	123	508
Zinco (Zn)	86,30±19,70 <sup>a</sup>	40	140	111,93±73,75 <sup>b</sup>	9,00	280
Chumbo (Pb)	43,39±18,78 <sup>a</sup>	11	92	28,30±12,96 <sup>a</sup>	1,00	54

Obs: Med.<sup>1</sup>= média; DP<sup>2</sup>= Desvio padrão; Min.<sup>3</sup>= mínimo e Máx.<sup>4</sup>= máximo.

Nota: a-b médias que diferem estatisticamente entre si (p < 0,05).

Nota: a-a medias iguais estatisticamente (p>0,05).

O sedimento de mangue tem como característica ser uma armadilha natural eficiente que sequestra/captura os elementos-traço de materiais suspensos, águas intersticiais e águas subjacentes (Jiang, *et al.*, 2020), isso explica os valores dos elementos detectados por conta da característica local, ou seja, por ser ambiente de mangue e estuarino o qual favorece que os elementos-traço sejam adsorvidos aos sedimentos.

O teste Shapiro Wilk ( $p < 0,05$ ) indicou que os dados dos elementos-traço (Tabela 1), não apresentaram distribuição normal. Por outro lado, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), que teve  $p = 7,64^{-50}$ , indicou diferença significativa entre as médias dos dados.

Ao realizar o teste post-hoc de Dunn ( $p < 0,05$ ) entre a sazonalidade e os elementos-traço foi observado que não houve diferenças significativas nas médias dos elementos-traço em relação a sazonalidade local.

O grau de mobilidade e biodisponibilidade dos elementos-traço estão relacionados a múltiplos fatores dentre eles têm: a composição do sedimento, teores de matéria orgânica e inorgânica, e outro aspecto importante é o potencial hidrogeniônico - pH (Barroco, *et al.*, 2019). Os corpos hídricos da região Amazônica são característicos por apresentarem o pH ácido sendo assim a acidez aumenta a solubilidade deles, possibilitando o transporte para outros locais, pois o pH ácido enfraquece a força da associação dos elementos-traço (Ets) e a retenção nos sedimentos (Thanh-nho *et al.*, 2019).

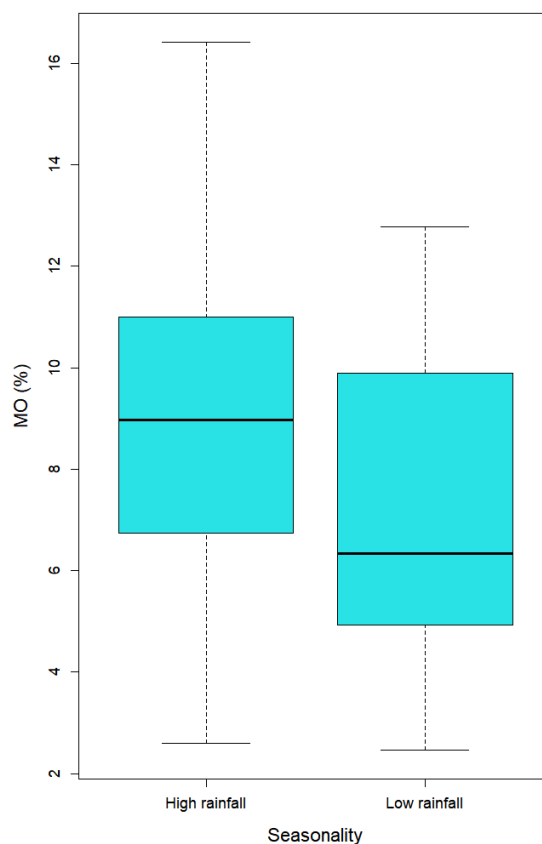
No entanto, no Furo do Muriá os valores de pH são descritos com condições básicas, de acordo com Mourão e colaboradores (2020) os valores médios das águas superficiais foram de 7,98, sem interferência da sazonalidade na distribuição dessa variável.

Por outro lado, a matéria orgânica (especialmente húmica e ácidos fúlvicos) presente no sedimento, é um componente favorável a retenção de muitos contaminantes, inclusive os elementos-traço (Milhome, *et al.*, 2018).

Na área de estudo, Sousa *et al.* (2022) encontraram valores elevados de matéria orgânica (MO) nos sedimentos superficiais, durante o período chuvoso (Figura 3), o que pode ser relacionado a entrada de águas oriundas dos recursos hídricos adjacentes ao Furo do Muriá. Enquanto, no período menos chuvoso a diminuição pode ter ocorrido pela utilização da MO pelos organismos (Xu, *et al.*, 2020).

Ressalta-se que, o Furo do Muriá tem influência direta da área de manguezal existente ao redor. Sendo assim, Dias e autores (2022) descreveram que os manguezais estão distribuídos desde o extremo norte do Amapá (04°20'N) até o município de Laguna-SC (28°30'S), ocupando uma área estimada em 25.000 Km<sup>2</sup> (SAENGER *et al.*, 1983), ou seja, o Furo do Muriá está incluso nesta distribuição na área de mangue recebendo interferência dele.

Figura 2: Box-plot dos valores da matéria orgânica - MO (%), nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá.



Fonte: Sousa et al. (2023).

### 3.1- Índice de geoacumulação (Igeo)

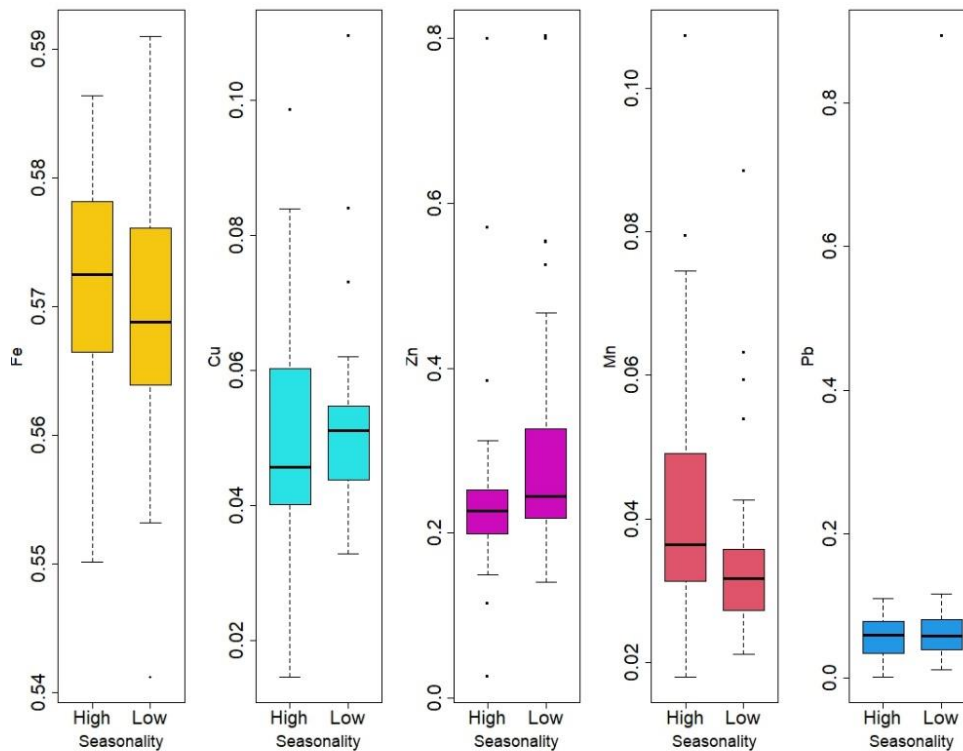
Os valores do índice de geoacumulação (Igeo) conforme observado na Figure 3 para todas as amostras classificaram o ambiente sendo não poluído para moderadamente poluído, ou seja, os valores estiveram na margem de 0 a 1, o que indica que os sedimentos não estão poluídos.

Trabalhos realizados em outros locais, também descreveram valores de Igeo para ambientes não poluídos. Wu e colaboradores (2023) realizaram o estudo na costa da Weihai (China) nos sedimentos superficiais e detectaram valores abaixo de zero (0), também considerado como não poluído para Cu, Pb e Zn.

Sayom e colaboradores (2023) calcularam o Igeo para os sedimentos superficiais no rio Bekao, Adamawa-Camarões, e encontraram valor  $\leq 0$ , indicando nenhuma contaminação para Mn, Fe, Cr, Zn, Pb, Ni e As.



Figura 3: Índice de geoacumulação (Igeo) dos elementos-traço no Furo do Muriá, Curuçá-PA, conforme sazonalidade da região.

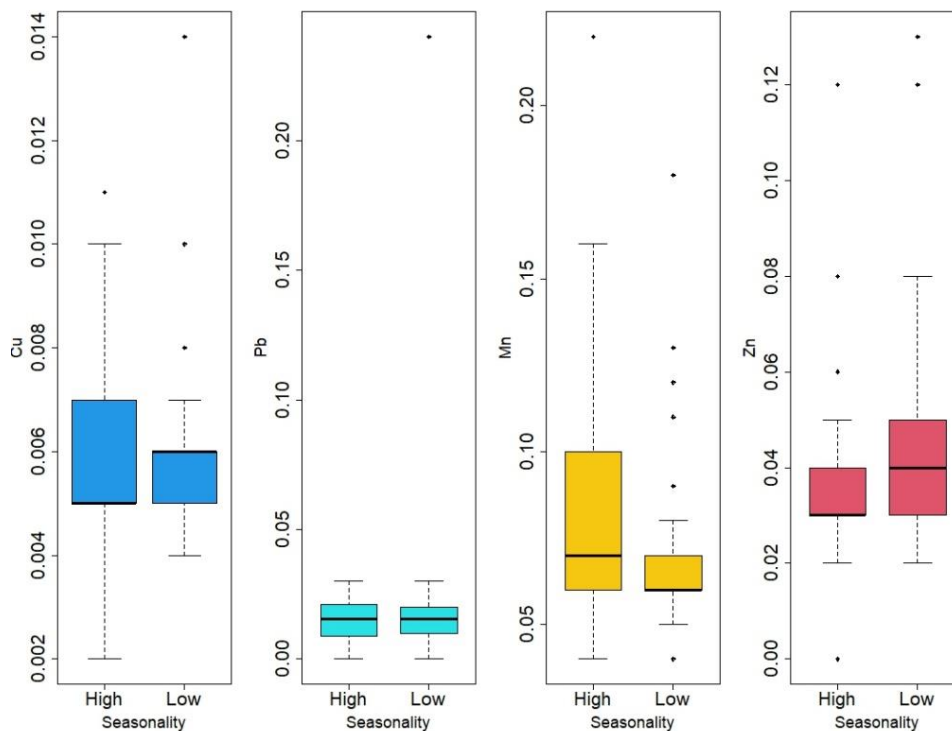


Fonte: Autoria.

### 3.2- Fator de enriquecimento (FE)

O fator de enriquecimento (FE) é eficiente em discriminar a origem dos elementos-traço no ambiente (KOWALSKA *et al.*, 2018). No presente trabalho os valores do fator de enriquecimento (FE) estiveram abaixo de 1 (Figura 4), o que denota que as concentrações dos elementos são oriundas das fontes naturais, ou seja, sem influência humana (Ahmed *et al.*, 2018; Kahal *et al.*, 2018). Fato também verificado por Fadlillah *et al.* (2023) que calcularam o EF para os sedimentos no rio urbano, Indonésia os valores de EF indicam poluição baixa a moderada de atividades antrópicas, seguindo a ordem, a média do FE foi ordenada como  $Fe > Al > Pb > Cr > Cu > Cd$ .

Figura 4: Fator de Enriquecimento (FE) dos elementos-traço no Furo do Muriá, Curuçá-PA na sazonalidade da região.



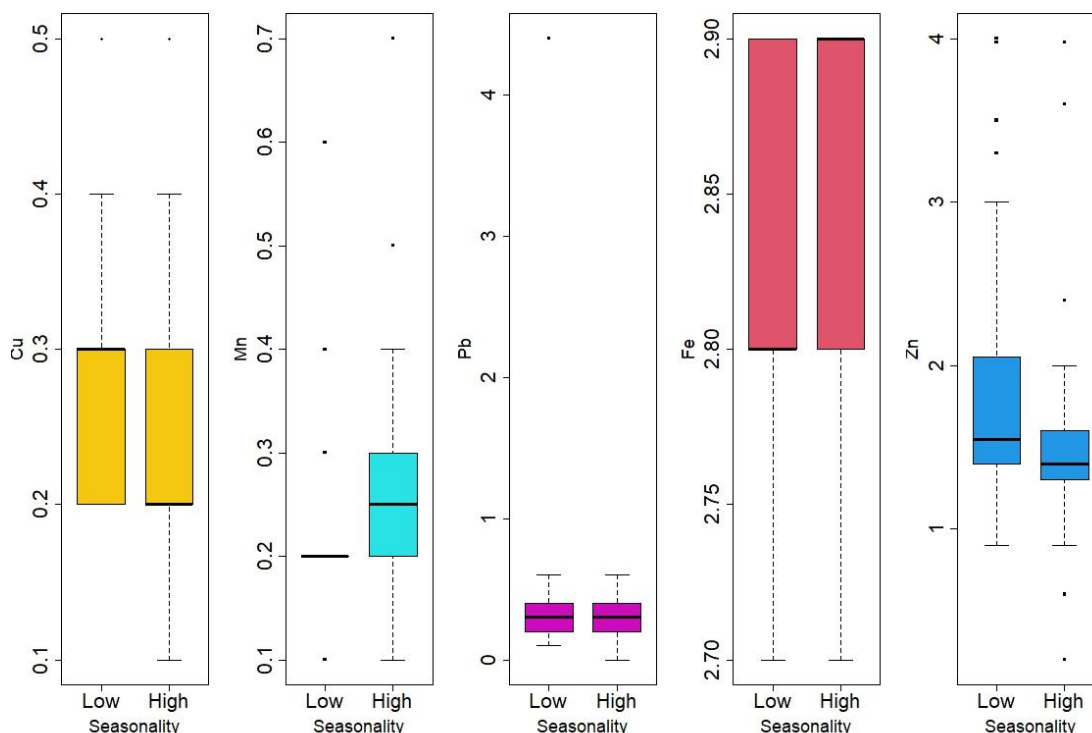
Fonte: Autoria.

### 3.3- Fator de contaminação (FC)

Os valores médios do fator de contaminação (CF) ficaram que o  $Zn > Fe > Zn > Pb > Mn > Cu$ , para a sazonalidade local, conforme observado na figura 5. Os elementos-traço Zn e Fe foram classificados de forma respectivamente considerável (<1 a 4) e moderado (2,7 a 2,9), enquanto para Cu (0,1 a 0,4), Mn (0,1 a 0,7) e Pb (0 a 0,7) os valores foram definidos como baixo (< 1).

As perturbações antrópicas (agricultura na proximidade, material da gaiola e entre outros) podem aumentar a carga de contaminação e poluição dos elementos-traço em sedimentos superficiais como ocorreu no trabalho de Dan e colaboradores (2022) realizado no estuário do rio Cross na Nigéria, e de Ni e colaboradores (2022) realizado na baía da Sanmen, leste da China. Além disso, existe a contribuição do elemento-traço (Zn) por processos sedimentares provenientes da geologia local (Krauskopf, 1972; Cavalcante e Santos, 2021).

Figura 5: Fator de contaminação (Fc) dos elementos-traço na sazonalidade da região.



Fonte: Autoria.

### 3.4- Índice de risco ecológico potencial (IREP)

Neste estudo com base na investigação da quantidade total de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, foram analisados o índice de risco ecológico potencial (tabela 5, figuras 7 e 8). O IR dos três elementos na área de estudo foram  $Cu > Zn > Pb$  o que denota que o impacto dos elementos-traço na área de estudo (Furo do Muriá) são enquadrados de baixo risco.

Em conformidade com os critérios da tabela 6, todos os pontos de amostragem estão com risco leve/baixo ( $E_r^i < 40$ ), indicando que a contaminação pelos potencialmente tóxicos na superfície dos sedimentos foram menores quando comparados ao estudo de Dai e colaboradores (2022) realizado no Lago Qinghai (China). Os autores observaram que os estudos recentes indicaram alto risco ecológico, o que foi relacionado aos poluentes trazidos pelo rio para o lago, ou ao lançamento de elementos potencialmente tóxicos (PTEs) de rochas sedimentares, ou com as atrações turísticas do lago. Demonstrando a importância do estudo do PTEs, como um conhecimento inicial das condições ambientais dos sedimentos superficiais do Furo do Muriá.

Tabela 6: Índice de risco ecológico potencial de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá-PA.

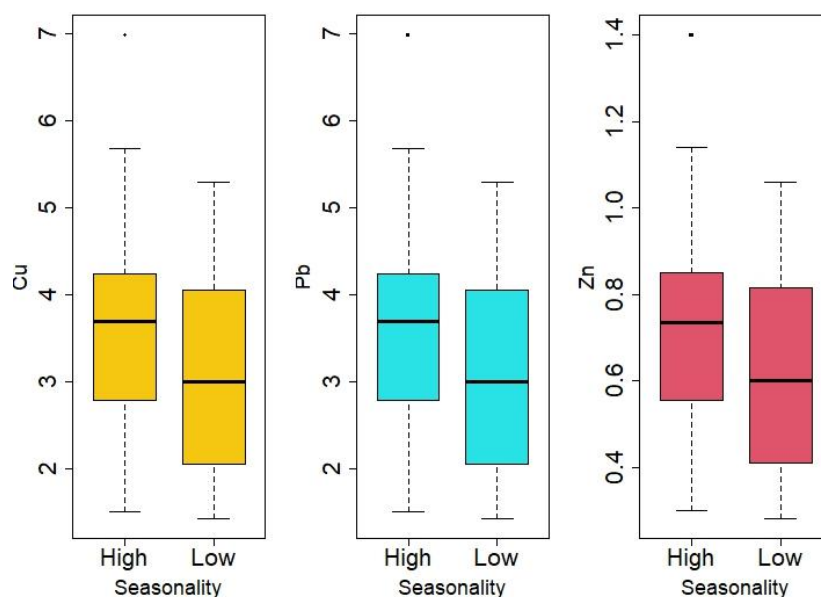
Elementos potencial tóxicos	Cu	Pb	Zn	IREP (RI)
Máximo	3,5	3,00	3,40	9,9
Mínimo	0,31	0,10	0,12	0,53
Média	1,30	0,95	0,15	2,40

Fonte: Autoria.

O índice ecológico ( $E_r$ ) dos elementos-traço (Zn, Cu e Pb) nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, nos períodos sazonais estudados (Figuras 6) tiveram valores  $<40$ , ou seja, um risco ecológico potencial baixo, o que reforça que os elementos não estão causando impacto na área de estudo, e que a sazonalidade local não influenciou nos dados do IREP.

Williams e Antoine (2020) também encontraram baixos valores de IREP para o Zn, Ni e Cr nos sedimentos superficiais da costa sudeste da Jamaica. Ni e autores (2022) também descreveram para os sedimentos superficiais da zona entre marés da baía de Sanmen, leste da China, valores inferiores a 40 para o IREP, e expressaram o risco ecológico em  $Hg > Cd > As > Cu > Pb > Cr > Zn$ .

Figura 6:Índice de risco Individual na Sazonalidade da região Amazônica.



Fonte: Autoria.

No estudo de Rabello e colaboradores (2018) realizado em Sedimentos da Lagoa Rio de Janeiro, o IREP foi 68,36 considerado baixo, demonstrado que a poluição é baixa neste ambiente para os elementos-traço: Zn, Cu, Pb, Cr e Hg.

### 3.5- Correlação de Spearman rs

A correlação de Spearman (Tabela 7) no presente estudo mostrou as seguintes correlações fortes entre os elementos-traço (Fe, Cu, Zn, Mn e Pb) com  $p < 0,05$  o que denota que os elementos-traço apresentaram correlações fortes, consequência da geoquímica local. No geral, os elementos significativamente relacionados são susceptíveis de ter homologia ou similar mecanismos de transporte no ambiente (Fan et al., 2022).

A contaminação dos ecossistemas aquáticos por metais pesados, está associado ao rápido crescimento populacional, ampliação de atividades agrícolas, aquícolas e exploração de recursos naturais, ameaçando a biota destes ecossistemas (SILVA et al., 2016a).

Tabela 7: A Correlação de Spearman's dos elementos-traço na sazonalidade local, sendo chuvoso (A) e menos chuvoso (B).

A	Cu (+)	Pb (+)	Fe (+)	Zn (+)	Mn (+)
<b>Cu (+)</b>		0,33172	0,49517	0,78879	0,23065
<b>Pb (+)</b>	0,19043		0,41227	0,69443	0,067692
<b>Fe (+)</b>	-0,13445	0,16128		0,14675	0,57351
<b>Zn (+)</b>	-0,053006	-0,077671	-0,28149		0,15214
<b>Mn (+)</b>	-0,23404	-0,35022	0,11111	-0,27793	

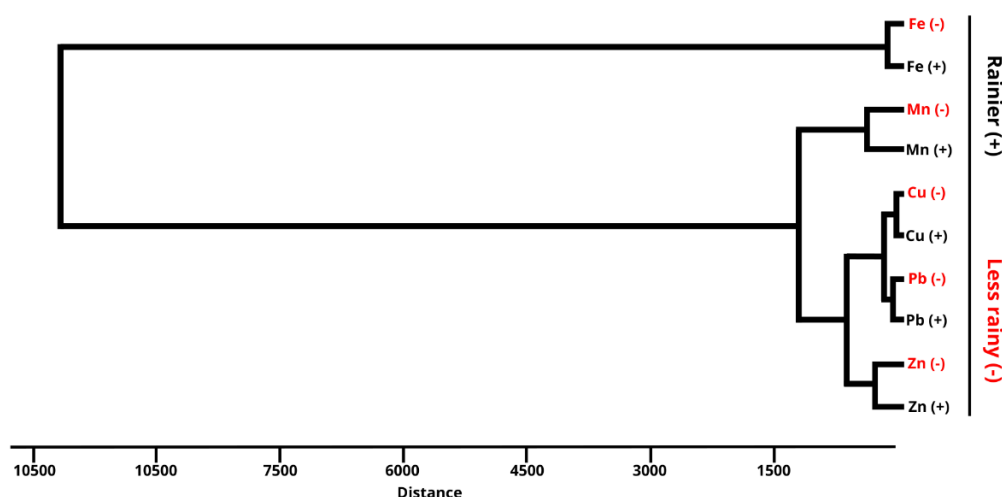
B	Cu (-)	Pb (-)	Fe (-)	Zn (-)	Mn (-)
<b>Cu (-)</b>		0,8474	0,0296	0,2419	0,44254
<b>Pb (-)</b>	0,03809		0,41474	0,88177	0,0068517
<b>Fe (-)</b>	0,41147	0,16044		0,86842	0,42113
<b>Zn (-)</b>	0,22864	-0,029444	0,032795		0,49002
<b>Mn (-)</b>	0,15118	0,49914	0,15829	0,13604	

Fonte: Autoria.

### 3.6- Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA)

A figura 7 mostra os grupos com destaque para o Fe, seguido do Mn, Cu, Pb e Zn, o que reforça a correlação verificada anteriormente. E denota que os elementos-traços apresentam como fonte a geoquímica natural, principalmente associada aos óxidos de Mn e Fe (Bezerra et al., 2018).

Figura 7: Dendrograma dos Elementos-traço.



Fonte: Autoria.

No trabalho realizado por Shetaia e colaboradores (2023) no lago de Bitter no canal de Suez- Egito, realizou a análise de agrupamentos, a qual os primeiros aglomerados caracterizados por valores relativamente altos de Ni, Fe, Mn e Cu podem ser devidos a efluentes e emissões de navios e embarcações marítimas, sendo a maioria desses locais localizados próximos à rota de navegação das embarcações.

Além disso, sedimentos de granulação fina podem incluir um alto nível de elementos-traço devido à alta troca catiônica e capacidade de absorção, adsorção atribuível à alta área de superfície específica (Jenne et al., 1980; Guan et al., 2016; Das et al., 2022), na qual a região Amazônica apresenta na sua preponderância sedimentos finos (argila e silte).

A presença do Fe é controlada principalmente por origem geológica, a qual explica o agrupamento destacável deste elemento no dendrograma que pode ser decorrente de uma fonte natural (Lu et al., 2020). A presença de Fe e Mn nos aglomerados em destaques indicaram fontes naturais, de intemperismo de rochas do interior na geologia do ambiente (Al-Kahtany, 2023).

#### 4- CONCLUSÃO

Os índices utilizados para avaliar as condições ambientais dos sedimentos em relação aos elementos-traço responderam positivamente, indicando um ambiente ainda sem impacto ambiental.

O fator de contaminação demonstrou que os elementos Zn e Fe foram classificados de forma respectivamente considerável (<1 a 4) e moderado (2,7 a 2,9) o que indicou um ambiente com forte contribuição da geologia.

O índice de risco ecológico potencial não mostrou também impactos relacionados aos elementos estudados, contudo, reforça-se a importância do monitoramento e da continuidade de estudos mais detalhados na região, que poderão servir para o entendimento da dinâmica do ambiente, além de gerar informações para tomadas de ações sustentáveis na área.

#### REFERÊNCIAS

Aftab, A., Aziz, R., Ghaffar, A., Rafiq, M. T., Feng, Y., Saqib, Z., ... Awan, M. A. (2023). Occurrence, source identification and ecological risk assessment of heavy metals in water and sediments of Uchalli lake–Ramsar site, Pakistan. *Environmental Pollution*, 334, 122117.

- Ahmed I, Mostefa B, Bernard A, Olivier R. Levels and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of fishing grounds along the Algerian coast. *Marine Pollution Bulletin*. 2018;136:322–333. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.09.029.
- Al-Kahtany, K., Nour, H. E., El-Sorogy, A. S., & Alharbi, T. (2023). Ecological and health risk assessment of heavy metals contamination in mangrove sediments, Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 115000.
- Almeida Sobrinho, A. D., Pereira, R. D. A., & Santos, L. Criação de tambaqui (*Colossoma Macropomum*, Cuvier, 1818) em tanques-rede no Baixo Rio Candeias Rondônia-níveis de metais pesados, 2022. In: BARBOSA, F. C. Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2022.
- American Public Health Association. [APHA] (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed). Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Avinash, K., Kurian, P.J., Warriar, A.K., Shankar, R., Vineesh, T.C., Ravindra, R., 2016. Sedimentary sources and processes in the eastern Arabian Sea: insights from environmental magnetism, geochemistry and clay mineralogy. *Geosci. Front.* 7 (2), 253–264.
- Barroco, IS, dos Santos Castro, F., Tamiasso-Martinhon, P., Rocha, AS, & Sousa, CR (2019). Impactos ambientais de metais pesados de pilhas na tríade água-ar-solo. *Revista Scientiarum História*, 1, 10-10.
- Beebe, K.R., Pell, R.J., Seasholtz, M.B Chemometrics: a practical guide, John Wiley & Sons: New York, 1997.
- Bezerra, J. M., Batista, R. O., & Silva, P. C. M. D. (2023). Caracterização do processo de poluição dos sedimentos do Rio Apodi-Mossoró no trecho urbano de Mossoró-RN. *Sociedade & Natureza*, 30, 108-126.
- CHEN, Chiu-Wen et al. Distribuição e acumulação de metais pesados nos sedimentos do porto de Kaohsiung, Taiwan. *Chemosphere*, v. 66, n. 8, pág. 1431-1440, 2007.
- Costa, I., Saldanha, E. C., & Monte, C. do N. (2020). A sazonalidade de contaminantes em águas subterrâneas e superficiais entorno de um aterro sanitário na região Amazônica. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(6), 371–382. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0030>.
- Dai, W., Fan, J., Zhang, Q. e Wang, L. (2022). Avaliação de risco ecológico e identificação de fontes de elementos potencialmente tóxicos nos sedimentos superficiais do Lago Qinghai. *Segurança de Processo e Proteção Ambiental*, 168 , 737-747.
- Dan, S. F., Udoh, E. C., & Wang, Q. (2022). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals, and relationship with organic matter sources in surface sediments of the Cross River Estuary and nearshore areas. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129531. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2022.129531>.
- Fadlillah, L. N., Utami, S., Rachmawati, A. A., Jayanto, G. D., & Widyastuti, M. (2023). Ecological risk and source identifications of heavy metals contamination in the water and surface sediments from anthropogenic impacts of urban river, Indonesia. *Heliyon*, 9(4).
- Fiori, C. S., Rodrigues, A. P. C., Santelli, R. E., Cordeiro, R. C. M., Carvalheira, R. G., Araújo, P. C., Castilhos, Z. C., Bidone, E. D. 2013. Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Case Study of Coastal Water Bodies from the Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil. *Geochimica Brasiliensis*, 27(1): 24-36. DOI: 10.5327/Z0102-9800201300010003.



- Förstner, U. (1977). Concentrações de metais em sedimentos lacustres recentes. *Arquivo para Hidrobiologia*, 80 (2) , 172-191 .<https://doi.org/10.1007/s00343-007-0444-7>
- Gonzalez, V.; Valle, S.; Nirchio, M.; Olivero, J.; Tejada, L.; Valdelamar, J.; Pesantes, F.; Gonzalez, K. Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM* vol 21 n° 41, 2018: 75 – 82.
- HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach, *Water Res.* 14, 975-1001, 1980.
- Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J., Zheng, B., 2020. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environ. Sci. Eur.* 32 (1), 1–9. <http://dx.doi.org/10.1186/s12302-020-00305-w>.
- Kahal, AY, El-Sorogy, AS, Alfaiji, HJ, Almadani, S., & Ghrefat, HA (2018). Distribuição espacial e avaliação de risco ecológico dos sedimentos da superfície costeira do Mar Vermelho, noroeste da Arábia Saudita. *Boletim de poluição marinha*, 137, 198-208.
- Kim, I.G., Kim, Y.B., Kim, R.H., Hyon, T.S., 2021. Spatial distribution, origin and contamination assessment of heavy metals in surface sediments from Jangsong tidal flat, Kangryong river estuary, DPR Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 168, 112414.
- KOWALSKA, J.B.; MAZUREK, R.; GASIOREK, M.; ZALESKI, T. Índices de poluição como ferramentas úteis para avaliação abrangente do grau de contaminação do solo- uma revisão ambiente. *Geochem. Saúde*, 40 (2018), pp. 2395 - 2420, [10.1007/s10653-018-0106-z](https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z).
- Kralik, M. (1999). A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*, 14(6), 807-816. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(98\)00096-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(98)00096-1).
- Islam, MS, Ahmed, MK, Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., & Islam, MK (2015). Poluição por metais pesados em águas superficiais e sedimentos: uma avaliação preliminar de um rio urbano em um país em desenvolvimento. *Indicadores ecológicos*, 48, 282-291.
- Jiang, R.; Huang, S.; Wang, W.; Liu, Y.; Pan, Z.; San, X.; Lin, C. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in the Maowei sea mangrove, China, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 161, Part B, 2020, 111816, ISSN 0025-326 X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111816>.
- Liu, X., Sheng, Y., Liu, Q., & Li, Z. (2023). Ecological and environmental risks of heavy metals in sediments in Dingzi Bay, South Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114683. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2023.114683>.
- Li, R.Y., Li, R.L., Chai, M.W., Shen, X.X., Xu, H.L., Qiu, G.Y., 2015. Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China. *Mar. Pollut. Bull.* 101, 448–456. NOVA
- Liu, Q., Wang, F., Meng, F., Jiang, L., Li, G., Zhou, R., 2018b. Assessment of metal contamination in estuarine surface sediments from Dongying City, China: use of a modified ecological risk index. *Mar. Pollut. Bull.* 126, 293–303.
- Milhome, M.A.L., Holanda, J.W.B., Araújo Neto, J.R.D., & Nascimento, R.F.D. Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica. Kwiatkowska-Malina, J. Functions of organic matter in polluted soils: The

effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology* 2018, In Press, 2018.

Miranda, L. S., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., & Goonetilleke, A. (2022). Adsorption-desorption behavior of heavy metals in aquatic environments: Influence of sediment, water and metal ionic properties. *Journal of hazardous materials*, 421, 126743.

Mourão, F. V., Santos, M. de L. S., Sousa, P. H. C., Ribeiro, D. C. de S., & Gadelha, E. S. (2021). Dinâmica Sazonal de Nutrientes em Estuário Amazônico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(1), 372–381. <https://doi.org/10.26848/RBGF.V14.1.P372-381>.

Nguyen, H. D., & Kim, M. S. (2023). In silico identification of molecular mechanisms for stroke risk caused by heavy metals and their mixtures: Sponges and drugs involved. *NeuroToxicology*, 96, 222–239. <https://doi.org/10.1016/J.NEURO.2023.04.011>.

Ni, J., Yuan, C., Zheng, J., & Liu, Y. (2022). Distributions, contamination level and ecological risk of heavy metals in surface sediments from intertidal zone of the Sanmen Bay, East China. *Journal of Sea Research*, 190, 102302

Panero, F. S., Panero, J. S., Silva, H. E. B. *Chinese J. of Geochemistry*, 25(Suppl.) (2006) 165.

Panero, F. D. S., Vieira, M. D. F. P., Cruz, Â., Moura, M. D. F. V., & da Silva, H. E. B. (2009). Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. *Eclética Química*, 34, 33-40.

Pára.2014. Estatística Municipal Curuçá. Secretaria Executivo de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. Informações gerais. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social fazer Pará (Idesp). Município de Curuçá. Informações gerais. Disponível em <http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/estatisticaMunicIPal/pdf/Curuca.pdf>. Acesso em 22/02/2015

Perumal, K.; Antônio, J.; Muthuramalingam, S. Heavy metal pollutants and their spatial distribution in surface sediments from Thondi coast, Palk Bay, South India *Environmental Sciences Europe*, v. 33, n. 1, pág. 1-20, 2021.

Pimentel, M. A. S.; Oliveira, I. S.; Rodrigues, J. C. M. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-PA. *Revista Geonorte*, v.1, N.4, p.624 – 633, 2012

PROTANO, C., et al. Heavy metal pollution and potencial ecological risks in rivers; a case study from Southern Italy. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 92, 75-80, 2014.

Rao, K., Tang, T., Zhang, X., Wang, M., Liu, J., Wu, B., ... e Ma, Y. (2021). Dinâmica espaço-temporal, avaliação de risco ecológico, identificação de fontes e interações com liberação interna de nutrientes de metais pesados em sedimentos superficiais de um grande lago raso chinês. *Quimosphera*, 282, 131041.

Rabello, M. V. T., Cesar, R. G., Castilhos, Z., Rodrigues, A. P., de Campos, T. M. P., Wasserman, J. C., & Polivanov, H. (2018). Risco ecológico potencial por metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (RJ). *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(3), 363-374.

Rico, A., de Oliveira, R., Silva de Souza Nunes, G., Rizzi, C., Villa, S., De Caroli Vizioli, B., Montagner, C. C., & Waichman, A. V. (2022). Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. *Chemosphere*, 291, 132821. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132821>.

Saenger, P.; Hegerl, E.J. & Davie, J.D.S. 1983. Global Status of Mangrove Ecosystems. *The Environment* 3 (3): 1-88.

Sayom, R. Y. A., Tchatchoua, F. T. R., Fotie, B. M., Ngueyep, L. L. M., Tchuikoua, L. B., & Meying, A. (2023). Contamination and risk assessment of trace metals and As in surface sediments from abandoned gold mining sites of Bekao, Adamawa-Cameroon. *Regional Studies in Marine Science*, 62, 102985.

SEMAS- Secretária de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade, Conjuntura dos Recursos Hídricos do Estado do Pará. Leal, R.E. et al. (Orgs.), 2022.

Shetaia, S. A., Nasr, R. A., El Saeed, R. L., Dar, M. A., Al-Mur, B. A., & Zakaly, H. M. (2023). Assessment of heavy metals contamination of sediments and surface waters of Bitter lake, Suez Canal, Egypt: Ecological risks and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 115096.

Shu, Q., Ma, Y., Liu, Q., Zhang, S., Hu, Z., Yang, P., 2021. Levels and ecological risk of heavy metals in the surface sediments of tidal flats along the North Jiangsu coast, China. *Mar. Pollut. Bull.* 170, 112663.

SILVA, E.; VIANA, Z. C. V.; ONOFRE, C. R. E.; KORN, M. G. A.; SANTOS, V. L. C. S. Distribution of trace elements in tissues of shrimp species *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) from Bahia, Brazil. *Brazilian Journal Of Biology*, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 194-204, 22 jan. 2016a. FapUNIFESP.

de Sousa, A. C. S. R., Mendes, R. M. da L., Mourão, F. V., El Robrini, M., Pereira, J. A. R., Sousa, P. H. C., & Santos, M. de L. S. (2022). Phosphorus concentrations in sediments from the equatorial Amazon estuary, Furo of Muriá, Pará State, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, 45(1), e60888. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.60888>.

De Sousa, H. P., Da Silva, C. N., Da Silva, J. M. P., & Da Silva, E. P. (2020). ESTRATÉGIAS TERRITORIAIS DE SOBREVIVÊNCIA DE PESCADORES NO DISTRITO DE SÃO JOÃO DO ABADE. *Revista Agro ecossistemas*, 12(1), 151-177.

SUGUIO, K. Introdução a Sedimentologia. Edgar Bluncken, São Paulo: EDUSP, 1973, 371p. NOVA

Taylor, S. R., McLennan, S. M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics* 33, 241-265.

N. Thanh-Nho, C. Marchand, E. Strady, T. Vinh, T. Nhu-Trang Geoquímica de metais e avaliação de risco ecológico em um mangue tropical (Can Gio, Vietnã) *Chemosphere*, 219 (2019), pp. 365 – 382.

TUCCI, C. (2016). Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *Revista de Gestão de Água Da América Latina*, 13(1), 29–42. <https://doi.org/10.21168/REGA.V13N1.P29-42>.

Yang, X., Wu, P., Yin, A., Zhang, H., Zhang, M., Gao, C., 2017. Distribution and source analysis of heavy metals in soils and sediments of Yueqing Bay basin, East China Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 115 (1–2), 489–497.

Ye, C., Li, S.Y., Zhang, Y.L., Zhang, Q.F., 2011. Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the three gorges reservoir, China. *J. Hazard. Mater.* 191, 366–372. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.090>.

Yuan, G.L., Liu, C., Chen, L., Yang, Z. Inputting history of heavy metals into the inland lake recorded in sediment profiles: poyang Lake in China *J. Hazard Mater.*, 185 (2011), pp. 336-345

Zhang, J., Gao, X., 2015. Heavy metals in surface sediments of the intertidal Laizhou Bay, Bohai Sea, China: distributions, sources and contamination assessment. *Mar. Pollut. Bull.* 98 (1–2), 320–327

Zhao, Z., Liu, Q., Liao, Y., Yu, P., Tang, Y., Liu, Q., Shi, X., Shou, L., Zeng, J., Chen, Q., & Chen, J. (2023). Ecological risk assessment of trace metals in sediments and their effect on benthic organisms from the south coast of Zhejiang province, China. *Marine Pollution Bulletin*, 187, 114529. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.114529>.

D. Xu, Y. Wang, R. Zhang, J. Guo, W. Zhang, K. Yu Distribution, speciation, environmental risk and source identification of heavy metals in surface sediments of the Lijiang River karst aquatic environment, southwest China *Environment. Pollute Science. Res.*, 23 (2016), pp. 9122 – 9133.

Wang, H., Yuan, Z., Cheng, Q., Zhang, S. e Sadeghi, B. (2022). Definição de anomalias geoquímicas usando modelagem de paisagem de sedimentos de riachos. *Avaliações de geologia de minério*, 142, 104715.

WANG, Jingjie; XIAO, Jun; ZHANG, Jingyi; CHEN, Hongxing; LI, Dan; LI, Liuqing; CAO, Jinling; XIE, Lingtian; LUO, Yongju. Effects of dietary Cu and Zn on the accumulation, oxidative stress and the expressions of immune-related genes in the livers of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*, [s.l.], v. 100, p. 198-207, maio 2020.

WILLIAMS, A.J.; ANTOINE, J. Evaluation of the elemental pollution status of Jamaican surface sediments using enrichment factor, geoaccumulation index, ecological risk and potential ecological risk index. *Marine Pollution Bulletin* 157 (2020) 111288.

Wu, Z., Liu, L., Zhang, X., Jiang, S., Gao, J. e Zhang, S. (2023). Avaliação da distribuição e poluição de metais pesados em sedimentos superficiais ao longo da costa de Weihai, China. *Boletim de Poluição Marinha*, 190, 114885.