



XVII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe

Análise da variação temporal na concentração de mercúrio em sedimentos na região estuarina do baixo Rio São Francisco, Nordeste, Brasil

Larissa Santos Xavier

Doutoranda, UFS/PRORH, Brasil
xavierlarissa2@gmail.com

Silvia Vitória Guimarães Santos

Mestranda, UFS/PPGECIA, Brasil
silvia.guima23@gmail.com

Clívia Santana Maia Santos

Graduanda, UFS/DGEO, Brasil
cliviasntna@gmail.com

José Antônio Nascimento de Melo

Graduando, UFS/DQI, Brasil
janto.quimica@gmail.com

Marcos Vinicius Teles Gomes

Doutor, CODEVASF, Brasil
marcos.teles@codevasf.gov.br

Marcus Aurélio Soares Cruz

Professor Doutor, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, Brasil
marcus.cruz@embrapa.br

Carlos Alexandre Borges Garcia

Professor Doutor, UFS/PRORH, Brasil
cgarcia@academico.ufs.br

Vânia Elisabete Schneider

Professora Doutora, UFS/PRORH, Brasil
veschnei@ucs.br

Silvânio Silvério Lopes da Costa

Professor Doutor, UFS/PRORH, Brasil
silvanio@academico.ufs.br

RESUMO

Rios e lagos são os principais compartimentos das águas continentais superficiais e os mais susceptíveis à contaminação pelas ações antrópicas. O rio São Francisco, no contexto brasileiro é uma das bacias hidrográficas de maior importância pelos diversos usos a que se destinam suas águas, estando sujeito à impactos ambientais, seja por retirada, seja por lançamento de efluentes e atividades agrícolas. O estudo tem como objetivo avaliar a concentração de mercúrio em sedimentos da região estuarina do baixo rio São Francisco. A metodologia incluiu coletas em períodos climáticos distintos e análise por espectrometria de absorção atômica (DMA-80). Os resultados apontam maiores concentrações no período seco, sugerindo menor dispersão do metal devido à baixa vazão do rio, podendo estar relacionada a atividades antrópicas, como o despejo de esgotos, queimadas e uso de combustíveis fósseis. O estudo destaca a necessidade da gestão ambiental de forma eficiente, voltadas para a mitigação da contaminação dos recursos hídricos e a proteção das comunidades ribeirinhas que dependem do recurso para a sobrevivência e a preservação da biodiversidade.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação ambiental. Toxicidade. Estuário.

1 INTRODUÇÃO

O Rio São Francisco (SF) é considerado de extrema importância para diversos estados do Brasil, mais especificamente a região nordeste, devido a sua importância ecológica e socioeconômica e constitui base para o suprimento energético na região (XAVIER et al., 2025; CHESF, 2025). O SF é dividido em regiões fisiográficas, sendo elas o alto, médio, submédio e baixo São Francisco (CHESF, 2025). O baixo São Francisco (BSF) é uma área que compreende os estados de Sergipe e Alagoas, próxima à foz do rio São Francisco (SILVA et al., 2025).

Em rios e lagos, os sedimentos atuam como um dos principais compartimentos de acumulação de metais, influenciando sua distribuição, mobilidade e biodisponibilidade no ambiente aquático. No ambiente estuarino, os metais tendem a se concentrar devido a processos físico-químicos como floculação, adsorção em partículas orgânicas e inorgânicas e, posteriormente, sedimentação, tornando os sedimentos testemunhas eficazes da contaminação ao longo do tempo (ROCHA, OLIVEIRA, 2020; LIU et al., 2015; FERRANS et al., 2021).

Embora alguns metais sejam essenciais para o funcionamento biológico de organismos vivos, quando aparecem em quantidades elevadas, tornam-se tóxicos (NECHYTAILO, 2023). A contaminação por elementos potencialmente tóxicos é considerada um grave problema ambiental em escala global, sendo amplamente estudada devido à sua alta persistência no meio ambiente, toxicidade ecológica, potencial de bioacumulação e resistência à degradação natural (TRUCHET et al., 2021).

A deposição de metais, conforme Siqueira e Aprile (2012), depende de uma série de fatores, como o tamanho de partículas, teor de matéria orgânica, pH, salinidade e estrutura geológica da região. Devido à toxicidade biológica, o mercúrio (Hg) é considerado um dos metais mais tóxicos, e seus efeitos adversos podem ser observados devido à biomagnificação em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar (ELSAGH et al., 2021). O Hg é liberado no meio ambiente de forma natural, através do intemperismo de rochas ou atividades vulcânicas, ou de forma antrópica, através da mineração e combustíveis fósseis (CARVALHO et al., 2023).

O estudo dos sedimentos é reconhecido como uma importante ferramenta para o monitoramento ambiental, auxiliando na compreensão de mudanças históricas ambientais aquáticas. Os sedimentos são capazes de fornecer informações valiosas

sobre a dinâmica histórica dos ecossistemas aquáticos, cobrindo lacunas de longo prazo de monitoramento com eficiência (FRASCARELI, 2021).

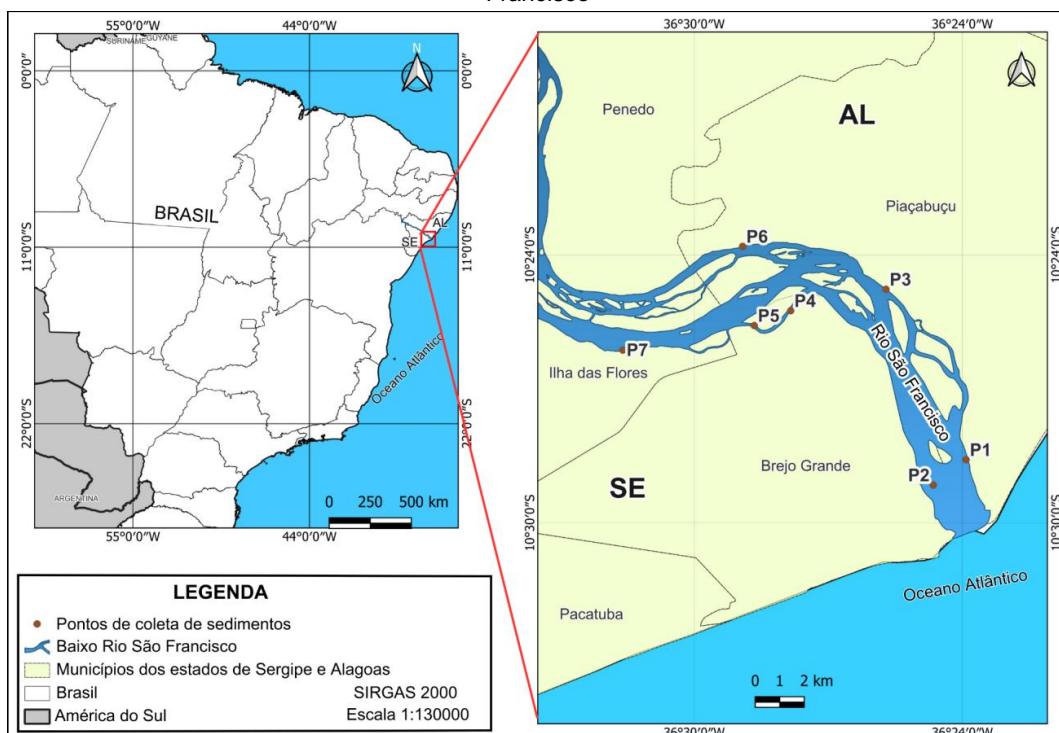
O monitoramento dos pontos de amostragem distribuídos ao longo da região do Baixo São Francisco permite a análise da qualidade ambiental em função das variações sazonais, bem como a identificação do processo de degradação dos recursos hídricos. Considerando que o Rio São Francisco representa uma das principais fontes de sustento para a população residente nos estados de Sergipe e Alagoas, a avaliação dos níveis de mercúrio nos sedimentos torna-se essencial para compreender as condições ambientais e os possíveis impactos aos quais os habitantes dessas áreas e os ecossistemas aquáticos estão expostos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de sedimento da região estuarina do BSF foram coletadas em duas campanhas. A primeira campanha de coleta ocorreu em outubro de 2023, durante o período seco, enquanto a segunda foi conduzida em agosto de 2024, durante o período chuvoso. Para a obtenção das amostras, utilizou-se uma draga do tipo *Van Veen*, equipamento indicado para a coleta de sedimentos superficiais em ambientes aquáticos.

A amostragem foi realizada em sete pontos estrategicamente distribuídos ao longo da região estuarina do BSF, garantindo uma cobertura representativa das diferentes condições ambientais da área. A disposição desses pontos de coleta seguiu critérios que consideram a variabilidade hidrodinâmica e sedimentológica do estuário, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização dos pontos de coleta dos sedimentos na região estuarina do rio São Francisco



Fonte: Autor do trabalho, 2025.

Após a coleta os sedimentos foram acondicionados em sacos plásticos para que não houvesse contaminação externa e armazenados em freezer. Em laboratório, cada amostra foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 40°C por 48 h. Em seguida foram moídas, com a finalidade de aumentar a homogeneidade da amostra, peneiradas e acondicionadas em sacos plásticos com zíper e identificados, antes da análise química.

A determinação da concentração total de mercúrio nas amostras de sedimentos foi baseada na decomposição térmica, amalgamação e detecção por espectrometria de absorção atômica, utilizando o equipamento DMA-80 (*Direct Mercury Analyser*) com análise direta, sem a necessidade de uma extração prévia. A quantidade de sedimentos utilizados foi de aproximadamente 1,5 g, onde foram adicionados com auxílio de espátulas nas cápsulas de níquel, e posicionados no amostrador automático do equipamento (GOMES et al., 2021).

O Índice de Geoacumulação (IGeo) foi utilizado para avaliar a intensidade da contaminação por metais nos sedimentos, conforme Yan et al. (2020), é calculado pela equação 1 abaixo:

$$IGeo = \log_2\left(\frac{Cn}{1,5 \cdot Bn}\right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo: Cn a concentração do metal, Bn o valor de “background” ou fundo geoquímico do elemento, e 1,5 é o fator de correção.

Com base no Atlas geoquímico da bacia do Rio São Francisco, o valor de fundo geoquímico do Hg utilizado foi de 51 µg/Kg (VIGLIO, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de mercúrio variaram de 17,1 µg/Kg a 129,6 µg/Kg no período seco, e de 1,6 µg/Kg a 9,1 µg/Kg no período chuvoso, conforme pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 - Concentração de Hg total (µg/Kg) em amostras de sedimentos na região do baixo rio São Francisco

Pontos	Coleta 1 (Período seco)	Coleta 2 (Período chuvoso)
P1	17,1 ± 0,0002 (1,4 %)	1,6 ± 0,0001 (7,2 %)
P2	125,2 ± 0,0066 (5,3 %)	3,7 ± 0,0002 (4,9 %)
P3	129,6 ± 0,0034 (2,6 %)	2,2 ± 0,0001 (3,2 %)
P4	17,1 ± 0,0002 (1,4 %)	3,7 ± 0,0002 (5,0 %)
P5	129,6 ± 0,0066 (5,3 %)	6,0 ± 0,0003 (5,2 %)
P6	125,2 ± 0,0066 (2,6 %)	9,1 ± 0,0004 (4,8 %)
P7	17,6 ± 0,0005 (3,1 %)	1,6 ± 0,0000 (2,3 %)

Fonte: Autor do trabalho, 2025.

De maneira geral, observou-se uma redução significativa das concentrações de Hg no período chuvoso, possivelmente associada ao aumento da vazão do rio decorrente das chuvas. Esse processo favorece a diluição dos contaminantes e,

consequentemente, reduz sua concentração nos sedimentos superficiais estudados (MARINS et al., 2004).

No que se refere às variações entre os pontos de coleta, apresentadas na Tabela 1, P2, P3, P5 e P6 mostraram forte redução das concentrações de Hg no período chuvoso. Por outro lado, P1 e P7 exibiram diferenças menos pronunciadas entre os dois períodos, o que pode ser explicado pelas características dos sedimentos em cada ponto, sendo os pontos P1 e P7 com sedimentos mais arenosos, quando comparado aos demais pontos, enquanto os demais pontos apresentam sedimentos mais argilosos, o que são mais capazes de influenciar a concentração do metal. As concentrações obtidas por Fragoso et al. (2018), entre 33 e 123 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ em regiões estuarinas com influência antrópica, corroboram os dados aqui apresentados, sendo que apenas P3 e P5 ficaram acima desse intervalo no período seco.

Estudos anteriores indicam a presença de mercúrio em sedimentos de diversas regiões do país. Windmüller et al. (2007), por exemplo, avaliaram sedimentos de áreas de garimpo de ouro do quadrilátero ferrífero (MG), e as concentrações de mercúrio identificadas apresentaram uma faixa variando de 40 a 1100 $\mu\text{g}/\text{Kg}$, nesse intervalo enquadram-se todos os pontos de coleta. Em outro estudo, Siqueira e Aprile (2012) verificaram a distribuição do mercúrio em sedimentos da plataforma continental amazônica, os teores variaram entre 47 a 166 $\mu\text{g}/\text{Kg}$, valores acima dos encontrados na maior parte dos pontos do presente estudo.

As diferenças observadas nos resultados sugerem que o regime hidrológico do rio tem papel fundamental na concentração do Hg nos sedimentos. Durante o período seco, a concentração é maior, devido à menor mobilidade dos sedimentos; já no período chuvoso, o aumento da vazão do rio pode redistribuir o Hg, promovendo tanto a deposição em algumas áreas quanto a remoção em outras, Marins et al. (2004) relatando comportamento semelhante no estuário do Rio Jaguaribe (CE), com concentrações de 5,5 a 7,1 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ no período chuvoso e 9,1 a 11,4 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ no período seco.

No entanto, a remobilização do mercúrio durante o período chuvoso pode facilitar sua incorporação na coluna d'água, aumentando sua biodisponibilidade para os organismos aquáticos e potencializando os riscos ecotoxicológicos (SANTOS et al., 2008). Em estudo realizado por Silva et al. (2021), ao analisar treze espécies de peixe da região do BSF, encontraram concentrações de Hg no tecido muscular dos peixes, porém, todos os exemplares analisados apresentaram concentrações abaixo da permitida pela legislação brasileira. Desta forma, a continuidade do monitoramento, portanto, mostra-se fundamental para compreender a dinâmica desse poluente.

Ao comparar os resultados obtidos com a resolução CONAMA nº 454, considerando os limites estabelecidos para sedimentos de água salina/salobra é de 300 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ para nível 1 (BRASIL, 2012), e considera-se que não haveria probabilidade de efeitos adversos à biota aquática, uma vez que as concentrações dos sete pontos nos dois períodos de coleta deram abaixo do referido limite.

Para aprofundar a avaliação da qualidade ambiental, aplicou-se o Índice de Geoacumulação (IGeo), cujo grau de contaminação varia de não poluído (IGeo < 0) a extremamente poluído (IGeo > 5). De acordo com esse índice, os pontos classificados como não poluídos a moderadamente poluídos, no período seco, coincidiram com aqueles que apresentaram maiores concentrações de Hg, conforme a Tabela 1. Na

tabela 2, é apresentado o cálculo do IGeo, calculado conforme equação 1, e o grau de contaminação para cada ponto de coleta nos dois períodos.

Tabela 2 - Cálculo do IGeo, e grau de contaminação de Hg total ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) em amostras de sedimentos na região do baixo rio São Francisco

Pontos	Coleta 1 (IGeo Período seco)	Grau de contaminação	Coleta 2 (IGeo Período chuvoso)	Grau de contaminação
P1	-2,16	Não poluído	-5,58	Não poluído
P2	0,71	Não poluído a moderadamente poluído	-4,37	Não poluído
P3	0,76	Não poluído a moderadamente poluído	-5,12	Não poluído
P4	-2,16	Não poluído	-4,37	Não poluído
P5	0,76	Não poluído a moderadamente poluído	-3,67	Não poluído
P6	0,71	Não poluído a moderadamente poluído	-3,07	Não poluído
P7	-2,12	Não poluído	-5,58	Não poluído

Fonte: Autor do trabalho, 2025.

Embora as fontes exatas de poluição por Hg no estudo da BSF não tenham sido identificadas, uma vez que a poluição pode ser considerada difusa, Monteiro et al. (2021) apontam rodovias, veículos movidos a combustíveis fósseis, queimados e descarte de efluentes e agrotóxicos como potenciais emissores do metal.

Nesse sentido, a variação sazonal pode favorecer o acúmulo do Hg nos sedimentos durante a estação seca, e como consequência a difusão da concentração do metal durante a estação chuvosa. No entanto, as atividades antrópicas necessitam de maior controle e adequação para que haja um desenvolvimento sustentável nas regiões costeiras (LIMA et al., 2009).

Afinal, os contaminantes podem ser remobilizados de sedimentos mais profundos e alcançar a coluna d'água, onde permanecem associados a componentes como a matéria orgânica, tornando-se passíveis de incorporação pela biota aquática (MARINS et al., 2004). Com isso, a adoção de medidas preventivas, aliada a estudos de ecotoxicologia, é essencial para garantir a segurança dos ecossistemas aquáticos e da população que depende desses recursos naturais.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram que o mercúrio se encontra presente nos sedimentos do baixo rio São Francisco, em níveis que não ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação ambiental, mas ainda assim requer atenção e monitoramento contínuo. A variação sazonal observada indica que a dinâmica hidrológica do rio exerce papel decisivo na redistribuição desse elemento, tanto para acumular quanto para dispersar o contaminante.

O estudo contribui de forma relevante para a compreensão da situação atual dos sedimentos dessa região, fornecendo embasamento para futuras pesquisas, pois ao comparar com diversas referências bibliográficas, apesar das concentrações não

serem consideradas alarmantes, é notória a influência de fontes potenciais de contaminação antrópica nessa região estuarina.

Conclui-se, portanto, que o monitoramento constante e a adoção de medidas de monitoramento constante são fundamentais para garantir a qualidade ambiental do corpo hídrico, pois, além de relatar o estado atual do mercúrio no baixo São Francisco, o estudo incentiva a continuidade de investigações que promovam o desenvolvimento sustentável da região.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF); ao Centro de Referência em Aquicultura e Recursos Pesqueiros de Itiúba (5ª SR/CODEVASF); à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE); e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Tabuleiros Costeiros). Este trabalho é parte do projeto “Indicadores Ambientais e Socioeconômicos para a gestão integrada participativa dos recursos hídricos da Foz do Rio São Francisco e zonas costeiras adjacentes” edital CNPq/MCTI/FNDCT/CT-Hidro Nº 63/2022.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 454, de 1º de novembro de 2012. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Disponível em:

https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materia_serdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025

CARVALHO, V.S. et al. Determination and evaluation of the ecological risk of mercury in different granulometric fractions of sediments from a public supply river in Brazil. **Marine Pollution Bulletin** v. 192, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115083>

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Uma Bacia.** (2025). Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acessado em: 4 fev. 2025.

ELSAGH, A. et al. Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Iran: Mercury pollution and environmental geochemical indices. **Marine Pollution Bulletin**. v. 167, 2021.

FERRANS, L. et al. Chemical speciation of metals from marine sediments: Assessment of potential pollution risk while dredging, a case study in southern Sweden. **Chemosphere**. V. 263, 2021.

FRAGOSO, C.P. et al. Mercury in litterfall and sediment using elemental and isotopic composition of carbon and nitrogen in the mangrove of Southeastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. V. 202, 2018.

FRASCARELLI, Daniele. **Heterogeneidade espacial e influência do uso e ocupação do solo nas características do sedimento superficial e água intersticial no reservatório de Itupararanga-sp.** 2021. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual Paulista, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/37b617b2-3b06-45be-b4d9-3d9aaf7b6d81/content>. Acesso em: 4 fev. 2025.

GOMES, M.V.T. et al. Determination and evaluation of mercury concentration in fish in the São Francisco River Watershed, Brazil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 16, n. 2, 2021.

GOMES, M.V.T. et al. Concentrações e associações geoquímicas de Pb e Zn em sedimentos do rio São Francisco impactados por rejeitos da produção industrial de zinco. **Química Nova (Impresso)**, v. 33, 2010.

LIMA, A.C.G. et al. Monitoramento da qualidade e avaliação da contaminação por mercúrio na água e sedimentos do rio Botafogo, PE, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 4, 2009.

LIU, Z.Y. et al. Heavy metal spatial variability and historical changes in the Yangtze River Estuary and north Jiangsu tidal flat. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, 2015.

MARINS, R.V. et al. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Quim. Nova**, v. 27, 2004.

MONTEIRO, L.C. Mercúrio nos sedimentos aquáticos e sua distribuição espacial em solos superficiais no bioma Cerrado: estudo de caso no Distrito Federal, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. V. 12, 2021

NECHYTAILO, L. et al. Dynamics of changes in cadmium levels in environmental objects and its impact on the bioelemental composition of living organisms. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, 2023.

ROCHA, G.C.; OLIVEIRA, G.A. Contaminação de sedimentos fluviais por Mercúrio: estudo de caso em Descoberto, MG. **Braz. J. of Develop.** Curitiba, v.6, 2020.

SANTOS, J.S. et al. Níveis de mercúrio em tecido muscular de peixes do Baixo São Francisco. **Relatório da III Expedição Científica do Baixo São Francisco**. 2021, pp. 337-352

SILVA, C.A. et al. Evaluation of shrimp farming impacts on the water quality of the Lower Sao Francisco watershed region, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**. V. 81, 2025.

SILVA, R.A.S. et al. Evaluation of shrimp farming impacts on the water quality of the Lower Sao Francisco watershed region, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**. V. 81, 2025.

SIQUEIRA, G.W.; APRILE, F.M. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da plataforma continental amazônica: Brasil. **Acta Amaz.** V. 42, 2012.

TRUCHET, D.; et al. Integrative assessment of the ecological risk of heavy metals in a South American estuary under human pressures. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** V. 208, 2020.

VIGLIO, Eduardo Paim. **Atlas geoquímico da bacia do rio São Francisco: Minas Gerais** / Eduardo Paim Viglio, Fernanda Gonçalves da Cunha. -- Belo Horizonte: CPRM, 2018. 238 p.; 30 cm. ISBN 978-85-7499-486-4

WINDMÖLLER, C.C. et al. Distribuição e especiação de mercúrio em sedimentos de áreas de garimpo de ouro do quadrilátero ferrífero (MG). **Quím. Nova**. v. 30. 2007.

XAVIER, L.S. et al. Evaluation of metals in surface sediments from shrimp farming areas in the estuarine region of the Baixo Sao Francisco, in Northeastern Brazil. **Regional Studies in Marine Science**. V. 81, 2025.

YAN, Y.; et al. Background determination, pollution assessment and source analysis of heavy metals in estuarine sediments from Quanzhou Bay, southeast China. **Catena**. V. 187, 2020.