



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS SERRA DA CAPIVARA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

RIVEIRA DAMASCENO OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS TEORES DE Zn, Fe E Pb EM
AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO DOS DIAS**

SÃO RAIMUNDO NONATO-PI

2023

RIVEIRA DAMASCENO OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS TEORES DE Zn, Fe E Pb EM
AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO DOS DIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Serra da Capivara - PI, como requisito para obtenção do título de graduado em Licenciatura em Química.

Orientadora: Dra. Aparecida Maria Simões Mimura.

SÃO RAIMUNDO NONATO

2023

Oliveira, Riveira Damasceno

P436d Avaliação preliminar dos teores de Zn, Fe e Pb em amostras de solo e sedimento de Angico dos Dias / Riveira Damasceno Oliveira. - São Raimundo Nonato-PI, 2023.

36 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Serra da Capivara, São Raimundo Nonato, 2023.

Orientadora: Profa^a Dra. Aparecida Maria Simões Mimura.

1. Mineração – Piauí – Angico dos Dias. 2. Ferro – elemento químico – análise. 3. Zinco – elemento químico – análise. 4. Chumbo – elemento químico – análise. I. Mimura, Aparecida Maria Simões. II. Título. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 549

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

RIVEIRA DAMASCENO OLIVEIRA

A AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS TEORES DE Zn, Fe E Pb EM
AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO DOS DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Licenciada em Química, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 28 de Fevereiro de 2023.

Banca Examinadora

Aparecida Maria Simões Mimura

Professora Dra. Aparecida Maria Simões Mimura - Orientadora
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF

Fernando Cruvinel Damasceno

Professor Dr. Fernando Cruvinel Damasceno
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF

Janaina Carla dos Santos

Professora Dra. Janaina Carla dos Santos
Colegiado de Arqueologia e Preservação Patrimonial - UNIVASF

“Feliz é o homem que persevera na provação, porque depois de aprovado receberá a coroa da vida, que Deus prometeu aos que o amam” (Tiago 1:12).

Dedico à minha mãe Evelina, ao meu pai Manoel, minha irmã Rivelina, meu avô Batista e minha esposa Kaline.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu a oportunidade, força e coragem para seguir em frente.

A todos os meus familiares, avós, tios, primos, irmã, em especial meus pais, Evelina Ribeiro e Manoel Oliveira, que sempre me incentivaram e estiveram ao meu lado nas horas mais difíceis e felizes da minha vida.

À minha esposa, Kaline Amorim, pela compreensão e incentivo de persistir no percurso acadêmico.

À minha querida orientadora Prof.^a Dra. Aparecida Mimura, por confiar e aceitar orientar o meu trabalho de pesquisa, com total apoio e dedicação.

Aos membros da Banca Examinadora deste trabalho, Prof.^a Dra. Janaína Santos e Prof. Dr. Fernando Damasceno.

À UNIVASF e todos os funcionários, pela colaboração durante a minha graduação.

Aos integrantes do projeto Fórum Permanente de Cartografia Quilombola: análise de impactos socioambientais de observatório transversal da caatinga.

À empresa Soloagri - Análises de Solo e Produtos Agrícolas LTDA, pelo suporte na análise das amostras.

A todos os professores do Colegiado de Licenciatura em Química, que sempre estiveram comprometidos com a excelência do ensino.

Aos meus colegas do curso pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar muitos desafios.

A todas as pessoas que desejam meu sucesso ou que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!!!!

RESUMO

Nos últimos anos, a avaliação dos impactos gerados pelas atividades humanas no meio ambiente tem sido uma das grandes preocupações da Química Ambiental. Na comunidade Angico dos Dias, no município de Campo Alegre de Lourdes-BA, desde 2005 está instalada uma empresa de mineração que realiza a extração do minério de fosfato no solo da região. No entanto, essa atividade apesar de sua importância econômica para o país, pode gerar impactos nos ecossistemas, como a poluição do solo, da água e dos sedimentos, contribuindo para o aumento do teor de elementos-traço, além de estar relacionada a problemas de origem social. Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar de forma preliminar os teores dos elementos-traço Fe, Zn e Pb em amostras de solo e sedimento de Angico dos Dias. Para isso, foram coletadas amostras de solo e de sedimento nesta região, as quais foram submetidas ao método 3050B, utilizando como reagentes HNO₃, HCl e H₂O₂. A quantificação dos elementos-traço foi feita por espectrometria de absorção atômica com chama e os resultados obtidos foram comparados aos limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 344 de 2004. Na amostra de solo as concentrações para Fe e Zn foram 79318 e 28,5 mg kg⁻¹ respectivamente e na amostra de sedimento foram 57572 e 24,3 mg kg⁻¹, as quais não apresentam riscos à saúde humana e aos seres vivos em geral. Contudo, os teores encontrados para Pb nas amostras de solo e sedimento (39,1 e 163,2 mg kg⁻¹, respectivamente) são preocupantes. Na amostra de solo, o teor de Pb encontrado ultrapassou o nível 1 (35 mg kg⁻¹) da resolução CONAMA, nível este que indica uma concentração acima da qual efeitos adversos aos seres vivos podem ser observados. Além disso, o teor de Pb na amostra de sedimento ficou acima do nível 2 (91,3 mg kg⁻¹), o que de acordo com a legislação, normalmente está associado a efeitos adversos aos seres vivos. A fonte mais provável para esse resultado foi associada às atividades de mineração desenvolvidas na região. No entanto, como esta é uma pesquisa preliminar, novos estudos devem ser realizados para confirmar os resultados encontrados, a fim de constatar o possível impacto que a região de Angico dos Dias esteja sofrendo pelas ações antrópicas ali desenvolvidas.

Palavras-Chave: Elementos-traço; Solo; Sedimento; Mineração.

ABSTRACT

Nowadays, the evaluation of the impacts generated by human activities on the environment has been one of the major concerns of Environmental Chemistry. In the Angico dos Dias community, in Campo Alegre de Lourdes-BA, a mining company that extracts phosphate ore from the soil of the region has been in operation since 2005. However, despite its economic importance for the country, this activity can generate impacts on ecosystems, such as soil, water, and sediment pollution, contributing to the increase of trace elements content, besides being related to social problems. Within this context, the aim of this study was to evaluate preliminarily the levels of trace elements Fe, Zn, and Pb in soil and sediment samples from Angico dos Dias. For this, soil and sediment samples were collected in this region and subjected to the 3050B method, using HNO₃, HCl, and H₂O₂ as reagents. Trace elements were quantified by flame atomic absorption spectrometry and the results obtained were compared to the limits established in CONAMA Resolution 344 of 2004. In the soil sample the concentrations for Fe and Zn were 79318 and 28.5 mg kg⁻¹ respectively and in the sediment sample were 57572 and 24.3 mg kg⁻¹, which do not present a risk to human health and living beings in general. However, the levels found for Pb in the soil and sediment samples (39.1 and 163.2 mg kg⁻¹, respectively) are of concern. In the soil sample, the Pb content found exceeded level 1 (35 mg kg⁻¹) of the CONAMA resolution, a level that indicates a concentration above which adverse effects on living beings can be observed. In addition, the Pb content in the sediment sample was above level 2 (91.3 mg kg⁻¹), which according to the legislation, is normally associated with adverse effects on living beings. The most likely source for this result was associated with the mining activities carried out in the region. However, as this is preliminary research, new studies should be carried out to confirm the results found, in order to verify the possible impact that the Angico dos Dias region is suffering from the anthropic actions developed there.

Keywords: Trace elements; Soil; Sediment; Mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Área de mineração em Angico dos Dias.....	14
Figura 2- Lagoa da comunidade Angico dos Dias.	15
Figura 3- Ponto de coleta da amostra de sedimento.	21
Figura 4- Ponto de coleta da amostra de solo.....	25
Figura 5- Degradação ambiental gerada pela mineração na Região de Angico dos Dias.....	23
Figura 6- Aspecto água da lagoa da comunidade Angico dos Dias.....	24
Figura 7- Curva analítica utilizada para a determinação de Fe em amostras de solo e sedimentos por F AAS.....	25
Figura 8- Curva analítica utilizada para a determinação de Zn em amostras de solo e sedimentos por F AAS.....	25
Figura 9- Curva analítica utilizada para a determinação de Pb em amostras de solo e sedimentos por F AAS.....	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	ASPECTOS GERAIS DAS ATIVIDADES MINERADORAS.....	18
3.2	DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS-TRAÇO EM AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO	19
4	METODOLOGIA	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	AVALIAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO COLETADAS EM ANGICO DOS DIAS	28
5.1.1	Resultados encontrados para o Fe	28
5.1.2	Resultados encontrados para o Pb	29
5.1.3	Resultados encontrados para o Zn	30
6	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O ser humano possui uma importante relação com o meio ambiente, pois a partir dele consegue retirar suas fontes de sustento e a matéria-prima para utilização no cotidiano. No entanto, esta interação pode provocar mudanças nos diferentes ecossistemas, de forma extremamente rápida, como a degradação das paisagens naturais e a acumulação de resíduos tóxicos, impactando de forma direta na qualidade do solo e da água (PAIM *et al.*, 2006).

O solo é considerado uma camada que cobre a superfície terrestre, formada por diferentes tipos de rocha expostas ao intemperismo, capaz de sustentar plantas, reter água, armazenar e transformar resíduos e suportar edificações (CUNHA; FELISBERTO; ATZ, 2013). O solo pode estar associado a transformações químicas, físicas e biológicas e sujeito a fatores ambientais. Trata-se então de um ambiente dinâmico, o qual está em constante transformação, sujeito a ações naturais e antrópicas. O solo possui basicamente em sua composição matéria orgânica e mineral, contendo, ainda, água e ar em proporções variáveis, podendo ser em parte, modificada pela ação do homem. Dentre os elementos químicos, alguns são encontrados no solo em grandes quantidades, enquanto outros apresentam baixa ocorrência, sendo chamados de elementos-traço (BAIRD, 2011).

A presença de elementos-traço no solo pode ter origem natural, quando estes ocorrem como constituintes de minerais primários em rochas ígneas e rochas sedimentares. Em outros casos, por meio de alguma ação antrópica, a concentração destes elementos pode variar. Os elementos-traço podem estar presentes no solo na forma solúvel, adsorvidos na fração inorgânica, complexados com os componentes orgânicos ou simplesmente precipitados, mas normalmente estão presentes em baixas concentrações. As concentrações dos elementos-traço em solos não impactados por ações do homem é geralmente aceita como de pouco risco, já que o crescimento das plantas e qualidade do ecossistema não são afetados (MESQUITA, 2014).

Por outro lado, altos teores de elementos-traço encontrados na superfície do solo são normalmente ligados às ações antrópicas. A contaminação por elementos-traço pode ter consequências desastrosas para o ecossistema, como a perda da produtividade agrícola, a redução da qualidade da cadeia alimentar com danos à

saúde humana e animal e o envenenamento de fontes de água. A contaminação de corpos d'água é preocupante, pois trata-se de uma das substâncias indispensáveis no planeta Terra. Além de ser encontrada em diversos compartimentos na natureza, como nos rios, lagos, oceanos, mares, atmosfera e nas calotas polares, constitui um bem essencial à sobrevivência de todo ser vivo (SILVA, 2007).

Além disso, uma das propriedades da água é a sua capacidade de dissolver substâncias polares ou iônicas, como os sais, para formar soluções aquosas. Nessa dissolução, várias substâncias diferentes são encontradas e classificadas, de acordo com a sua natureza química, como: nutrientes, gases, elementos-traço e compostos orgânicos polares (GOMES; CLAVICO, 2005).

Historicamente, civilizações se desenvolveram ao lado de corpos hídricos (GAMA, 2009). Com a necessidade de água, principalmente em regiões de clima semiárido, torna-se comum encontrar comunidades às margens de lagoas. Dentre os principais corpos hídricos, as lagoas se destacam como uma importante fonte de abastecimento de água. Elas podem ser classificadas como um tipo de formação lântica, que correspondem a ecossistemas de águas paradas e apresentam um papel relevante como recurso natural para organismos aquáticos e terrestres.

Em regiões secas e afastadas de rios, as lagoas possibilitam o armazenamento de água para consumo humano e animal, se destacando como um meio de reprodução das mais variadas espécies (NICASIO *et al.*, 2019). Nestes ecossistemas, torna-se relevante compreender os processos físico-químicos que ocorrem nos sedimentos que estão depositados no fundo dos cursos d'água, os quais podem atuar como reservatório de uma variedade de elementos químicos (GOMES *et al.*, 2010).

Diversos elementos-traço são encontrados tanto em ambientes aquáticos como também nas frações de solo e sedimentos. Alguns dos principais elementos-traço enfatizados em estudos de contaminação ambiental, são: Fe, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb e Hg (CAMPOS *et al.*, 2009). Elementos-traço como Fe e Zn são considerados nutrientes essenciais para os seres vivos. Entretanto, desde que estejam em pequenas quantidades, pois quando estão presentes em altas concentrações no ambiente e sob certas condições específicas, podem desencadear diversos impactos negativos, tanto para o ecossistema terrestre como para a saúde humana (CAMPOS *et al.*, 2009). Por outro lado, o Pb não apresenta função biológica essencial, podendo

gerar efeitos negativos em plantas e animais. Os efeitos tóxicos à exposição do Pb no ser humano, incluem danos no sistema renal, gastrointestinal, respiratório e anemia, normalmente pela ingestão de água e alimentos contaminados (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

As principais fontes antrópicas que contribuem para poluição do solo e água por elementos-traço são as fontes industriais e urbanas, devido ao lançamento direto de rejeitos industriais e esgotos domésticos em ecossistemas aquáticos sem tratamento adequado. Além destas, pode-se destacar as atividades de mineração como uma das que têm possibilitado o aumento do teor de íons metálicos em muitos nestes ecossistemas. Os problemas gerados pela mineração também podem abranger outras categorias além da poluição da água e dos sedimentos, tais como poluição do ar, poluição sonora e descaracterização do solo, além de problemas de natureza social (GUSMÃO *et al.*, 2021).

Dessa forma, avaliar o teor destes elementos-traço nos sedimentos e no solo, possibilita entender os possíveis impactos em um determinado local, realizando avaliações químicas utilizando as amostras coletadas. Mas, vale ressaltar que a importância na avaliação dos sedimentos, não está apenas na capacidade que esses apresentam em concentrar substâncias, mas também por serem reconhecidos como possíveis fontes de contaminação, já que pode ocorrer a liberação de espécies contaminantes, mediante a alteração de parâmetros físico-químicos do meio. Além disso, ao realizar a análise de água de uma lagoa, pode-se obter o nível de exposição momentânea a um certo contaminante. Por outro lado, a análise de sedimentos permite a obtenção de informações a respeito do histórico de deposição dos elementos no meio (MIMURA *et al.*, 2016).

Para realizar a determinação dos elementos-traço presentes no solo e no sedimento de um determinado local, diversas metodologias analíticas são desenvolvidas com intuito de digerir as amostras. Um exemplo é o Método 3050B, que de acordo com a Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency - EPA*) dos Estados Unidos, é o método oficial para digestão de amostras de solo e sedimento (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996). Este método é um procedimento de digestão de amostras em sistema aberto, à temperatura aproximada de 100°C, que utiliza como reagentes ácidos fortes, como HCl e HNO₃ associados ao H₂O₂, um poderoso agente oxidante.

Após a etapa de digestão ácida do solo e sedimentos é realizada a análise das amostras na forma de soluções aquosas, para a determinação dos elementos-traço através de técnicas analíticas, como a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (F AAS). Essa é uma técnica simples e seletiva, que permite uma análise quantitativa dos elementos, com concentrações da ordem de mg L^{-1} (MIRANDA, 2012).

Uma vez realizadas as análises, torna-se relevante discutir os dados frente a um órgão que estabeleça as diretrizes gerais para a avaliação de amostras de sedimentos. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução nº 344 de 25 de março de 2004, é responsável por apresentar as concentrações máximas permitidas de elementos-traço em sedimentos em águas jurisdicionais brasileiras (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTAL, 2004).

Assim, neste trabalho pretende-se realizar uma avaliação preliminar do teor de elementos-traço em uma amostra de solo e uma de sedimento em uma região próxima a uma atividade de mineração.

1.1 JUSTIFICATIVA

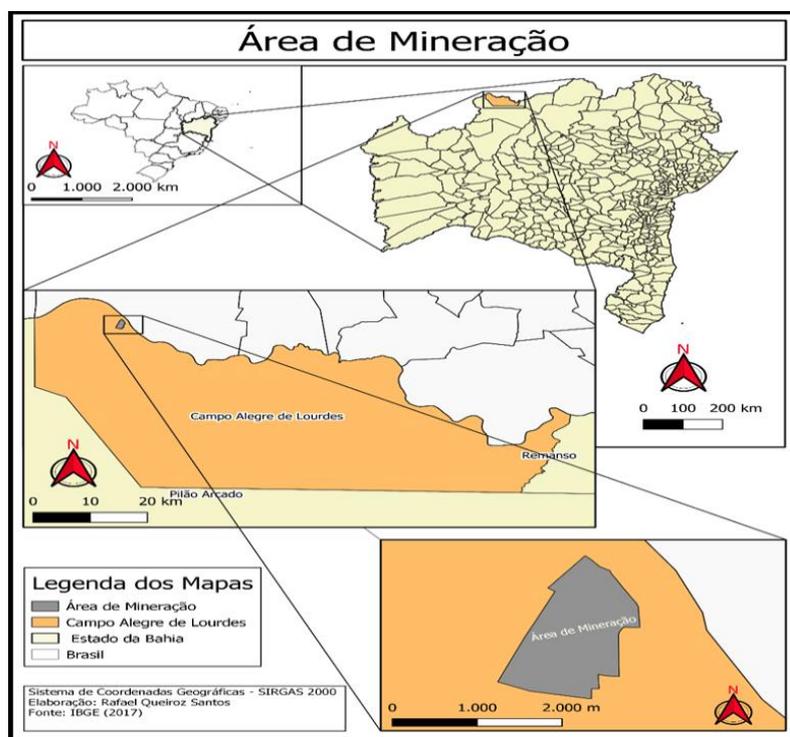
A comunidade Angico dos Dias pertence ao município Campo Alegre de Lourdes, no estado da Bahia, e está situada a cerca de 72 quilômetros da sede municipal. Segundo estimativas referentes ao ano de 2021 a partir de pesquisas informais, a população de Angico dos Dias é de aproximadamente 3400 habitantes, possuindo várias famílias que desenvolvem atividades tradicionais de fundo de pasto, as quais sobrevivem basicamente da agricultura de subsistência, da criação de animais, além do extrativismo do mel silvestre. As condições climáticas locais indicam um clima quente e seco com longos períodos de estiagem, característico da região semiárida, o que influencia na prática da agropecuária e também, do ponto de vista empresarial pode limitar a implantação de indústrias.

Nesta comunidade existe uma lagoa, que por um longo período possibilitou a captação de água por parte dos moradores e serviu como bebedouro animal. Mas, recentemente, essa água tornou-se inviável ao consumo humano e animal devido à sua proximidade com uma empresa de mineração que foi instalada nessa comunidade, a qual realiza a extração do minério de fosfato no solo, para a produção

de fertilizante. Além disso, as vertentes naturais das quais vinham água para o seu abastecimento sofreram alteração na sua morfologia, causando uma reorganização do escoamento de água no local e fazendo com que a água presente no reservatório fosse associada a possíveis despejos residuais vindos de tal empresa.

A seguir está apresentado o mapa de localização da área de mineração em Angico dos Dias, na figura 1, elaborada pelo estudante de Antropologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Rafael Queiroz Santos.

Figura 1- Área de mineração em Angico dos Dias.



Fonte: Santos (2023).

A lagoa está numa distância de aproximadamente 200 metros do centro da comunidade Angico dos Dias, ficando na divisa do terreno ocupado pela empresa de mineração Galvani, que está em atividade desde 2005, realizando a extração de minério de fosfato do solo da região, o qual é utilizado para a produção de fertilizante. A disponibilidade e consumo de água de boa qualidade para a comunidade Angico dos Dias se apresenta como uma importante temática de discussões, visto que a lagoa está localizada numa região seca e de clima semiárido, no qual a escassez hídrica ocorre geralmente durante 7 meses no ano e as fontes de água presentes nessa região tornam-se muito importantes para que a própria comunidade e os animais consigam sobreviver sem a necessidade de migração para outras áreas. Por isso,

torna-se primordial avaliar os possíveis impactos das ações antrópicas nos ambientes aquáticos dessa região, impactos estes que podem ser avaliados a partir do aumento das concentrações de diversas substâncias químicas no meio, o que pode afetar tanto o ecossistema local e sua biodiversidade, como também a saúde pública.

A figura 2, de autoria de Yvna Eugênia Evangelista da Costa Santos, estudante do curso de Antropologia da UNIVASF, ilustra a proximidade da empresa de mineração com a lagoa da comunidade Angico dos Dias.

Figura 2- Lagoa da comunidade Angico dos Dias.



Fonte: Santos (2022).

Além disso, o solo dessa região também deve ser avaliado, no intuito de verificar se a presença da empresa de mineração, pode de alguma forma estar trazendo impactos ambientais para a área, uma vez que teores elevados de elementos-traço podem afetar a produtividade e saúde de ecossistemas fundamentais para o desenvolvimento da biodiversidade vegetal e animal.

Assim, esse trabalho busca realizar uma avaliação preliminar dos teores dos elementos-traço Zn, Fe e Pb em amostras de solo e sedimento coletadas na região de Angico dos Dias. A importância deste estudo está na oportunidade de avaliar essas amostras a fim de identificar os teores dos analitos e estimar a possível origem destes

elementos no ecossistema. Além disso, pode-se comparar os resultados encontrados com os valores das diretrizes apresentadas pelos órgãos regulamentadores.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar de forma preliminar os teores dos elementos-traço Zn, Fe e Pb em amostras de solo e sedimento de Angico dos Dias.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar as amostras de solo e sedimento coletadas;
- Realizar a digestão ácida como método de preparo de amostras;
- Determinar os elementos-traço zinco, ferro e chumbo por F AAS;
- Comparar os teores de referência estabelecidos pelo CONAMA com os resultados encontrados nas amostras analisadas;
- Avaliar a influência de ações antrópicas nos teores dos elementos químicos analisados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ASPECTOS GERAIS DAS ATIVIDADES MINERADORAS

A mineração é um dos principais setores da economia brasileira, destacando-se pelo seu fortalecimento econômico a partir do século XVIII, no qual, o ciclo do ouro alcançou seu auge e conseqüentemente possibilitou o desenvolvimento de diversos centros urbanos em todo o país. No entanto, a atividade mineradora, conforme relatado em diversas pesquisas, possui uma larga capacidade de gerar potenciais impactos ao meio ambiente. Estes impactos afetam diretamente os ecossistemas, provocando desmatamentos, erosão, contaminação dos corpos hídricos, aumento da dispersão de elementos-traço, alterações da paisagem, do solo, além de comprometer severamente a fauna e a flora (FARIAS *et al.*, 2019).

De acordo com Mechi e Sanches (2010), grande parte das atividades de mineração causam impactos a vegetação local, que impossibilitam sua regeneração à curto prazo. Além disso, a camada superficial do solo com maior fertilidade é removida, fazendo com que os horizontes subjacentes do solo fiquem expostos aos processos erosivos. Com isso, vários elementos-traço que estariam naturalmente nas camadas mais internas ficam dispostos na superfície do solo, podendo causar contaminação da água e de sedimentos através da lixiviação, além da contaminação do próprio solo, impactando áreas habitadas pelo ser humano.

No ano de 2005, teve início a atividade mineradora na comunidade de Angico dos Dias pela empresa Galvani, que desenvolve atividades de mineração e distribuição de fertilizantes fosfatados. De acordo com Luciano (2016), no solo dessa é encontrado um importante depósito de minério de fosfato, o qual sendo explorado. Esse depósito possui espessura máxima de 25 m, com teor médio de 15,4% de P₂O₅, que é a principal forma na qual o fósforo está disponível para a extração, já que ele não é encontrado puro na natureza.

Devido ao fato de ser uma região com recursos hídricos insuficientes para atender a demanda de água necessária no processo industrial, o tratamento do minério de fosfato ocorre por meio de tecnologia de separação magnética a seco, o que dispensa tanto a utilização de água no beneficiamento do minério, como também o uso de barragens para armazenar os rejeitos (LUCIANO, 2016).

Assim, o minério extraído em Angico dos Dias passa pelo processo de britagem, homogeneização, secagem, remoção das partículas mais finas por peneiras, para enfim, o material abaixo de 2 mm seguir para separação magnética. As frações magnéticas são descartadas como rejeitos, já que não é o produto desejado pela Galvani, pelo fato desse material conter um teor de Fe insuficiente do ponto de vista econômico. Por outro lado, a fração não magnética, que é a parte que concentra os minérios fosfatados passa então a ser utilizada na produção de fertilizantes (SANTOS; LIMA, 2022).

3.2 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS-TRAÇO EM AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas e publicadas com o intuito de investigar os impactos no meio ambiente. Todavia, os resultados encontrados nas análises de amostras ambientais devem ser comparados com os dados estabelecidos por órgãos ambientais que avaliem e adotem ações que visam a preservação do meio ambiente. No Brasil, em estudos sobre a contaminação em amostras ambientais deve-se consultar as resoluções do CONAMA.

Além da mineração, as atividades industriais e urbanas também podem afetar os solos e sedimentos. Mimura (2013) analisou sedimentos pertencentes ao córrego Igrejinha localizado no município de Juiz de Fora – MG. Esse córrego está próximo a locais onde são descartados resíduos derivados de atividades domésticas e próximo de uma importante indústria de metalurgia e siderurgia. Os teores dos elementos-traço encontrados na amostra de sedimento coletada nas proximidades da indústria foram 194, 1261, 121, 2998 e 6761 mg kg⁻¹ para Cd, Cu, Cr, Pb e Zn, respectivamente. Quando comparados aos valores estabelecidos pelo CONAMA (3,5; 197; 90; 91,3 e 315 mg kg⁻¹ para Cd, Cu, Cr, Pb e Zn, respectivamente) foi possível constatar que todos os teores encontrados nas amostras de sedimentos estavam acima do valor máximo permitido pela legislação, o que indica um forte impacto ambiental na região.

Pesquisas realizadas por Magalhães *et al.* (2013) na bacia do rio Cuiabá e do rio São Lourenço, no estado de Mato Grosso, avaliaram a concentração dos metais Co, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, Zn, Mn e Fe em amostras de sedimento. Nos nove pontos analisados, as concentrações de Cd, Co, Zn e Ni encontradas foram todas acima do

valor máximo permitido de acordo com o CONAMA, enquanto os demais elementos-traço avaliados apresentaram teores dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Os autores consideraram que as possíveis fontes de poluição podem estar ligadas à lixiviação de elementos-traço presente no solo e nos fertilizantes e/ou advindos de efluentes domésticos e industriais lançados sem o devido tratamento.

Anjos, Cunha e Viglio (2016) avaliaram os teores de elementos-traço nos solos superficiais dentro da área de atividade da PLUMBUM, uma empresa de mineração, no município de Santo Amaro – BA. Foram coletadas dezenove amostras para a análise química quantitativa de Sb, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Ag, Se, V e Zn. As análises apresentaram níveis de concentração elevados para os elementos Pb, Cd, Zn e Cu (12500; 229,54; 2399 e 716 mg kg⁻¹). No entanto, estes autores apresentaram propostas para melhoria desta área através de uma conjugação de técnicas de controle ambiental, tais como: remoção do solo contaminado e distribuição do mesmo em aterro industrial, além da utilização de zonas úmidas no controle a contaminação dos efluentes superficiais, e utilização da fitorremediação por meio de plantas para limpeza do solo.

4 METODOLOGIA

Este trabalho tem caráter quantitativo e faz parte do projeto Fórum Permanente de Cartografia Quilombola: análise de impactos socioambientais de observatório transversal da caatinga. Trata-se de um projeto de iniciativa multidisciplinar envolvendo pesquisas a fim de identificar os impactos sociais e ambientais na região, e conta com a participação de docentes e discentes dos colegiados de Antropologia, Arqueologia e Química da UNIVASF, do campus Serra da Capivara, em São Raimundo Nonato - PI.

Neste trabalho foram estudadas amostras de solo e sedimento coletadas na comunidade Angico dos Dias, em 09 de novembro de 2021, por membros do projeto, usando tubos e utensílios de policloreto de vinila para auxiliar na coleta, a uma profundidade de 10 a 15 centímetros. A quantidade de amostra coletada foi de aproximadamente 1 kg, tanto para solo como para sedimento. Essas amostras foram guardadas adequadamente em sacos plásticos bem fechados e identificados.

Para a coleta da amostra de sedimento foi selecionado um ponto à margem da lagoa, conforme apresentado na figura 3, com maior proximidade à empresa (localização geográfica 9° 19' 48" S, 43° 23' 55" W, 544 m de altitude).

Figura 3- Ponto de coleta da amostra de sedimento.



Fonte: Mimura (2021).

A amostra de solo foi coletada em uma área atrás da empresa de mineração, figura 4, no alto de um morro (localização geográfica 9° 19' 37" S, 43° 24' 29" W, 555 m de altitude), onde as atividades mineradoras já causaram grandes impactos no solo e na atividade agropecuária.

Figura 4- Ponto de coleta da amostra de solo.



Fonte: Mimura (2021).

As figuras 3 e 4 fazem parte do acervo pessoal da Prof. Dra. Aparecida Mimura, do colegiado de Química – UNIVASF, que também é membro do projeto Fórum Permanente de Cartografia Quilombola.

As amostras foram levadas ao laboratório de Química do Campus Serra da Capivara da UNIVASF, onde passaram por um tratamento, sendo inicialmente secas em estufa (Edutec) com circulação de ar a 80 °C durante 6h. Após a secagem, as amostras foram passadas em peneira de plástico com granulometria de 0,5 mm, com o intuito de se obter uma melhor homogeneidade das amostras. Após o tratamento prévio, as amostras foram armazenadas em frascos de plástico.

Antes da etapa de análise foi feito um procedimento de digestão ácida das amostras usando o Método 3050B. A massa utilizada e sugerida pelo método foi de 1,000 g. Em todas as etapas o volume contido no erlenmeyer foi reduzido até quase securo, sendo que a adição dos reagentes ocorria fora da chapa, com temperatura relativamente menor. Logo após a pesagem, foram adicionados nas amostras 5 mL

de H₂O mais 5 mL de HNO₃ concentrado (Anidrol - 65% m/v) no erlenmeyer. As amostras foram colocadas na chapa aquecedora, numa temperatura aproximada de 100 °C e foi esperada a redução do volume antes de uma nova adição. Em seguida, foram adicionados novamente 5 mL de HNO₃ concentrado, sendo que esta etapa foi repetida duas vezes. Foram adicionadas alíquotas de 1 mL de H₂O₂ (Dinâmica – 35% m/v), sendo que esta etapa deveria ser repetida enquanto fosse observada efervescência, não excedendo 10 mL. Nesse caso, foram adicionados 3 mL de H₂O₂. Por fim, 10 mL de HCl concentrado (Alphatec – 37% v/v), foram adicionados. Após a redução do volume, o conteúdo do erlenmeyer foi transferido quantitativamente para tubos graduados tipo Falcon. O volume foi completado com H₂O até alcançar 20 mL. Além disso, essa digestão das duas amostras ocorreu em triplicata e foi preparado um branco de controle contendo todas as soluções utilizadas no método e seguindo o mesmo procedimento experimental. O tempo total de preparo da amostra utilizando este método foi de aproximadamente 7 h.

As amostras digeridas foram analisadas por F AAS para determinação dos analitos Fe, Zn e Pb, de acordo com os comprimentos de onda e curvas analíticas apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Condições operacionais utilizadas na análise por espectrometria de absorção atômica na determinação dos metais estudados.

Elementos-traço	Faixa de concentração da curva analítica (mg L ⁻¹)	Comprimento de onda (nm)
Fe	0,2 - 4,0	248,3
Pb	0,5 - 3,0	217,0
Zn	0,5 - 3,0	213,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise das amostras foi feita com um espectrômetro de absorção atômica com chama (Perkin Elmer) e ocorreu em parceria com o laboratório de Química da empresa Soloagri.

A partir dos resultados encontrados nessa análise, foram realizados cálculos para a obtenção dos teores dos elementos-traço estudados nas amostras de solo e sedimento. Os resultados obtidos foram comparados com os valores de referência da resolução nº 344 de 25 de março de 2004 do CONAMA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foram estudadas amostras de solo e sedimento coletadas em uma região próxima ao desenvolvimento de atividades mineradoras, na comunidade Angico dos Dias. As primeiras etapas deste trabalho incluíram visitas à comunidade para coletar relatos informais dos moradores e conhecer a região de estudo. Nestas visitas, organizadas por membros do projeto “Fórum Permanente de Cartografia Quilombola: análise de impactos socioambientais de observatório transversal da caatinga”, foi possível observar alguns impactos da mineradora na região, como descaracterização do solo, desmatamento, impactos na atividade agropecuária, na qualidade do ar, além de poluição sonora. Além disso, foram realizadas revisões bibliográficas para fundamentar a pesquisa.

A figura 5 ilustra a degradação ambiental gerada pela mineração na Região de Angico dos Dias. Esta figura faz parte do acervo pessoal do professor do colegiado de Antropologia da UNIVASF, Dr. Bernardo Curvelano Freire que é coordenador do Fórum Permanente de Cartografia Quilombola.

Figura 5- Degradação ambiental gerada pela mineração na Região de Angico dos Dias.



Fonte: Freire (2022).

Vale destacar que durante a coleta da amostra de sedimento, observou-se que a água contida na lagoa e a água presente em uma de suas vertentes apresentavam aspecto oleoso, o que é preocupante, sendo evidenciado na figura 6.

Figura 6- Aspecto da água da lagoa da comunidade Angico dos Dias.

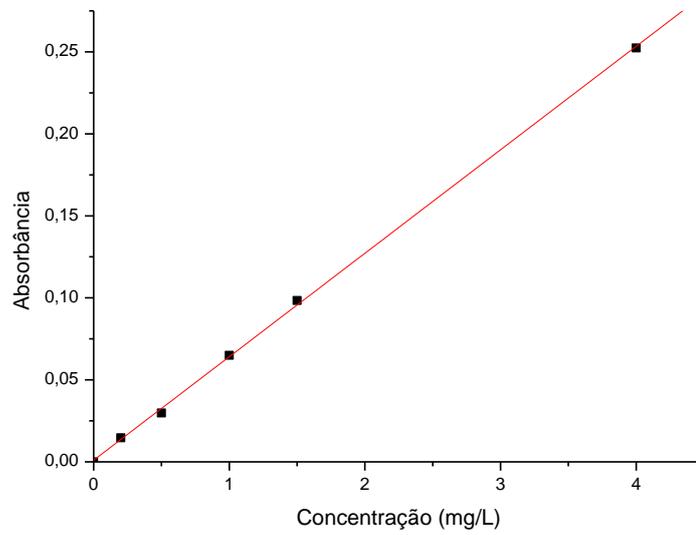


Fonte: Mimura (2021).

Dando início à etapa de análise, as amostras de solo e sedimento após terem sido secas e peneiradas, foram submetidas ao Método 3050B. Neste método, a adição dos ácidos possibilita transformar a amostra em uma solução adequada para análise, na qual os analitos estão preservados (KRUG, 2010). Por exemplo, o HCl é utilizado como reagente complexante, para a matéria inorgânica, enquanto HNO₃ e H₂O₂ são reagentes oxidantes, para a matéria orgânica. Ao final da digestão das amostras, foi observado um resíduo sólido, corresponde à fração de silicatos, a qual é digerida apenas com o uso de HF, o que não é necessário em estudos ambientais. Assim, as amostras, após a digestão, foram deixadas em repouso, para decantação do resíduo, e em seguida, o sobrenadante foi recolhido para a análise.

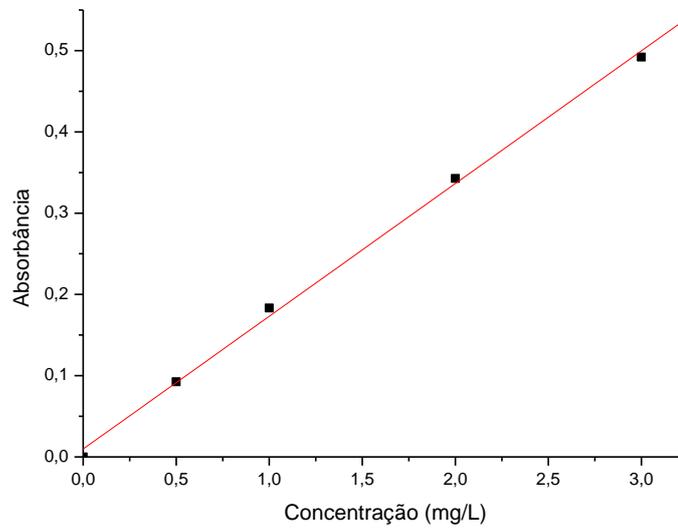
Para a análises das amostras, em triplicata, empregando-se F AAS, foram usadas curvas analíticas para quantificação dos analitos, as quais apresentaram boa linearidade ($R^2 > 0,995$), conforme as figuras 7, 8 e 9. A partir da equação da reta, os valores de absorbância foram substituídos para a obtenção da concentração dos analitos. Os dados obtidos foram corrigidos em função da massa e do volume utilizados no preparo das amostras. Com relação à precisão dos resultados, os valores de desvio padrão relativo obtidos foram satisfatórios (<10%) para as amostras analisadas por F AAS.

Figura 7- Curva analítica utilizada para a determinação de Fe em amostras de solo e sedimentos por F AAS.



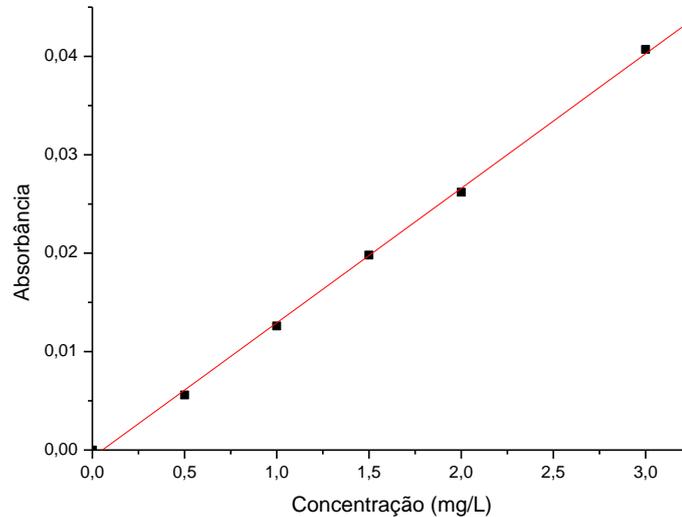
Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 8- Curva analítica utilizada para a determinação de Zn em amostras de solo e sedimentos por F AAS.



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 9- Curva analítica utilizada para a determinação de Pb em amostras de solo e sedimentos por F AAS.



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Assim, com as análises das amostras, foram obtidos os resultados referentes às concentrações dos elementos-traço Fe, Pb e Zn, expressas em mg kg^{-1} , conforme a tabela 2.

Tabela 2: Teores de elementos traço nas amostras de sedimento e solo estudadas, em comparação a Resolução CONAMA 344/04. Concentração (mg kg^{-1}) \pm desvio padrão (n=3).

Amostras	Concentração de Fe (mg kg^{-1})	Concentração de Pb (mg kg^{-1})	Concentração de Zn (mg kg^{-1})
Sedimento	57572 \pm 5143	163,2 \pm 15,30	24,3 \pm 0,79
Solo	79318 \pm 6183	39,18 \pm 1,58	28,5 \pm 2,75
CONAMA ¹ 344/04	Nível 1	-	35
	Nível 2	-	91,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

¹ *valores de referência da resolução nº 344 de 25 de março de 2004 do CONAMA. Nível 1 = concentrações que raramente causam efeitos adversos aos seres vivos; Nível 2 = concentrações normalmente associadas a efeitos adversos aos seres vivos.

De acordo com a tabela 2, as concentrações de Fe foram elevadas, acima de 57000 mg kg⁻¹, enquanto as concentrações de Pb e Zn variaram de 39,18 a 163,2 mg kg⁻¹ e de 24,3 a 28,5 mg kg⁻¹, respectivamente, nas amostras de solo e sedimento. Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 344 de 25 de março de 2004, que também estão apresentados na tabela 2. Nesta resolução são estipulados os valores aceitáveis de Pb e Zn em sedimentos de água doce, em dois níveis de classificação. O nível 1 está relacionado a concentrações que raramente causam efeitos adversos aos seres vivos e o nível 2 a concentrações normalmente associadas a efeitos nocivos aos seres vivos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTAL, 2004). No entanto, para o Fe não há valores de referência específicos descritos por agências nacionais ou internacionais do meio ambiente, visto que este metal é um dos mais abundantes da crosta terrestre, logo após o alumínio, e normalmente é encontrado em altas concentrações (AZEVEDO, CHASIN, 2003).

5.1 AVALIAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO E SEDIMENTO COLETADAS EM ANGICO DOS DIAS

5.1.1 Resultados encontrados para o Fe

Conforme apresentado na tabela 2, o teor de Fe encontrado na amostra de solo foi de 79318 mg kg⁻¹, valor mais elevado do que o encontrado na amostra de sedimento, que foi de 57572 mg kg⁻¹. Para avaliação do Fe foi usado o valor de referência de 63000 mg kg⁻¹, que corresponde ao valor aproximado da ocorrência de Fe na crosta terrestre. Vale destacar que como se trata de um elemento abundante na crosta terrestre, este tem um valor de referência alto, quando comparado com outros elementos químicos (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Ao comparar os resultados da análise com o valor de referência, observou-se que o teor encontrado na análise de sedimento está próximo do normal encontrado na crosta terrestre. Por outro lado, em relação ao solo, o valor encontrado foi um pouco acima, mas considerando que o ferro não é um elemento tóxico, essa diferença não chega a ser significativa.

Dessa forma, pode-se dizer que o teor de Fe está adequado para as amostras

coletadas de sedimento e de solo, não apresentando nenhum risco de contaminação do meio, já que para tal, este valor deveria ser imensamente maior (enriquecido acima de 50 vezes em relação ao encontrado) (MIMURA; FERREIRA; SILVA, 2020).

O Brasil se destaca como um dos grandes produtores de minério de Fe no mundo, devido à alta concentração do elemento em seus minérios (60 a 67 % m/m). Seus principais minérios são a hematita (Fe_2O_3) e a magnetita (Fe_3O_4). As maiores reservas de minério estão localizadas no Quadrilátero Ferrífero, em MG (CAVALCANTI *et al.*, 2019). Assim, em termos de mineração, o valor encontrado na amostra de solo pode ser considerado desprezível, pois corresponde a 7,9 % m/m, o que justifica o fato de a empresa Galvani destacar as frações contendo Fe após a separação magnética.

Então, como a região de Angico dos Dias, possui um teor de Fe baixo, ou seja, corresponde a uma área de mineração empobrecida de tal elemento, com isso, para que o minério de Fe dessa região fosse comercializado, seria necessário passar por diversas fases de beneficiamento, o que elevaria os custos.

5.1.2 Resultados encontrados para o Pb

Na análise da amostra de solo encontrou-se um teor de Pb de $39,18 \text{ mg kg}^{-1}$, conforme apresentado na tabela 2, enquanto na amostra de sedimento o teor foi de $163,2 \text{ mg kg}^{-1}$. De acordo com a Resolução CONAMA 344/04, a concentração de Pb delimitada pelos níveis 1 e 2 é de 35 e $91,3 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Assim, este analito ultrapassou o limite 1, na amostra de solo, porém ficou abaixo do limite 2, ou seja, pode ser que este teor de Pb cause algum efeito adverso nos seres vivos da região. Por outro lado, o teor de Pb na amostra de sedimento ficou acima do nível 2, o que é preocupante, visto que, de acordo com a definição, acima este nível, o Pb está normalmente associado a efeitos adversos aos seres vivos.

No Brasil, o Pb é encontrado em pequenas concentrações no solo, normalmente associado a minérios de Zn e outros elementos (NEVES, 2011). Assim, este estudo aponta que a atividade antrópica desenvolvida na região de Angico dos Dias possui tendência de estar gerando concentrações de Pb com valor próximo ou acima do limite máximo permitido pelo CONAMA, podendo causar efeitos negativos para biota local, incluindo seres humanos.

O Pb é um elemento nocivo e não possui função fisiológica aos seres vivos. Além disso, devido à sua capacidade de acumulação nos organismos, o Pb pode ficar retido principalmente no cérebro e nos ossos. Após ser absorvido, afeta praticamente todos os órgãos e sistemas do organismo humano, pois é distribuído pelo sangue e transportado através da hemoglobina aos diversos órgãos e sistemas onde exerce seu efeito tóxico (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Nos ambientes aquáticos, os organismos são capazes de acumular os elementos-traço através da superfície do corpo, de estruturas respiratórias e também pela ingestão. Com isso, por meio da bioacumulação o Pb pode ser exportado do ambiente aquático para o terrestre afetando diversos outros animais do topo da cadeia alimentar, podendo chegar até o ser humano (REPULA *et al.*, 2007).

Por isso, o teor de Pb elevado encontrado no sedimento da lagoa de Angico dos Dias é ainda mais preocupante, uma vez que animais como caprinos e bovinos, ingerem a água da lagoa e vegetais que nascem nas suas margens, os quais estão em contato direto com o sedimento. Com relação à água da lagoa, existe uma probabilidade de a mesma estar contaminada com alguma quantidade de Pb, a qual não foi possível medir devido aos limites de detecção da técnica utilizada.

Contudo, novos estudos devem ser realizados para confirmar tais resultados, pois essa se trata de uma pesquisa preliminar, realizada apenas com uma amostra de solo e outra de sedimento, e com isso, não seria suficiente para caracterizar com exatidão o impacto que realmente a região de Angico dos Dias esteja sofrendo pelas ações antrópicas ali desenvolvidas.

5.1.3 Resultados encontrados para o Zn

O resultado obtido para Zn na amostra de sedimento foi de $24,3 \text{ mg kg}^{-1}$ e $28,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para a amostra de solo, conforme a tabela 2. Segundo a Resolução n° 344/04 do CONAMA, o limite estabelecido para o Zn é de 123 mg kg^{-1} (nível 1), o que indica que as amostras estudadas estão dentro do padrão esperado, e que estes valores de concentração raramente causariam efeitos adversos aos seres vivos ali presentes.

Elementos como Fe e Zn são indispensáveis aos sistemas biológicos em pequenas quantidades. A ausência de Zn no ser humano pode causar falta de apetite,

diminuição do paladar e olfato, doenças imunológicas, cicatrização lenta, retardo no crescimento e dermatite. No entanto, o consumo de grandes quantidades de Zn, seja por água, alimentos ou suplementos nutricionais, pode afetar a saúde, causando anemia, danos ao pâncreas, dentre outros efeitos (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017).

De forma preliminar, a concentração de Zn encontrada nas amostras foi inferior aos limites estabelecidos, portanto, momentaneamente este elemento-traço não apresenta prejuízos à saúde humana e nem ao meio ambiente. Mas, como ressaltado anteriormente, essa análise foi realizada a partir de uma única amostra de solo e sedimento, com isso, novos estudos também devem ser realizados para confirmar os teores de Zn.

6 CONCLUSÃO

A contaminação do solo e sedimento por teores elevados de elementos-traço resultantes de ações antrópicas, geram impactos ao meio ambiente e riscos à saúde dos seres vivos. A atividade mineradora exerce importante suporte econômico e financeiro na sociedade, contudo possui a capacidade de criar potenciais problemas ambientais, devido a liberação de diversos poluentes para o meio ambiente. Para avaliar a qualidade do solo e sedimento são necessários critérios analíticos de análise e a comparação dos resultados encontrados com diretrizes ambientais específicas do Brasil.

Nesta pesquisa, foram analisadas amostras de solo e sedimento coletadas na comunidade Angico dos Dias, no município de Campo Alegre de Lourdes – BA, a fim de avaliar os teores dos analitos Fe, Pb e Zn por meio da técnica F AAS. As curvas analíticas apresentaram boa linearidade e o método utilizado para a digestão das amostras foi o 3050B, realizado em chapa de aquecimento. Os resultados obtidos para os analitos Fe e Zn foram avaliados frente ao valor normal encontrado a crosta terrestre e à Resolução CONAMA 344/04, respectivamente, o que indicou que as concentrações destes analitos não oferecem risco imediato aos seres vivos.

Por outro lado, o analito Pb apresentou teores elevados nas amostras estudadas. A fonte mais provável para esse resultado foi associada às atividades de mineração na região. No entanto, como esta é uma pesquisa preliminar, novos estudos devem ser realizados para confirmar os resultados encontrados, a fim de constatar o impacto que realmente a região de Angico dos Dias esteja sofrendo pelas ações antrópicas ali desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

ANJOS, J. A. S. A.; CUNHA, F., VIGILIO, E. Caracterização do solo contaminado por metais tóxicos dentro da área industrial da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA, Santo Amaro/Ba-Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://cbg2017anais.siteoficial.ws/anais48cbgcompleto.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais**: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

CAMPOS, A.E.L. *et al.* Avaliação da contaminação do Igarapé do Sabino (Bacia do Rio Tibiri) por metais pesados, originados dos resíduos e efluentes do Aterro da Ribeira, em São Luís, Maranhão: **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 34, 12 fev. de 2009.

CAVALCANTI, D. L. A. S. *et al.* Importância econômica do quadrilátero ferrífero em minas gerais e perspectivas de desenvolvimento sustentável. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 6., 2019, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/60764>. Acesso em: 10 jan. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Zinco**: identificação da substância. São Paulo: CETESB, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTAL. Resolução n. 344 de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 87, 7 maio 2004. Disponível em: http://freitag.com.br/files/uploads/2018/02/portaria_norma_25.pdf. Acesso em: 12 jun. 2022.

CUNHA, A. C. B.; FELISBERTO, R.; ATZ, N. R. Química ambiental e constituição do ambiente. *In*: SCHWANKE, C. (Org.). **Ambiente-Tecnologias**. Porto Alegre: Grupo A, 2013. p. 01-28.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050B**: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Oils. [S.l.: s.n.], 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

FARIAS, A. R. *et al.* Impactos ambientais ocasionados pelos processos produtivos do minério de ferro. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 1, p. 20-33, 2019. Disponível em: <https://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/12/v.-8-n.1-E20-E33-2019.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.

FREIRE, B. C. **Degradação ambiental gerada pela mineração na Região de Angico dos Dias**. 2022. 1 fotografia.

GAMA, R.G. **Usos da água, gestão de recursos hídricos e complexidades históricas no Brasil: estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.** 2009. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

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**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 2088-2092, 2010.

GOMES, A.S.; CLAVICO, E. Propriedades Físico-Químicas da Água. **Universidade Federal Fluminense**. Departamento de Biologia Marinha. 2005.

GUSMÃO, I.C.D. *et al.* Os impactos ambientais causados pela atividade mineradora. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA*, 7., 2021, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: CONFEA, 2021

KRUG, F. J. **Métodos de preparo de amostras**. Piracicaba: Edit. SBQ, 2010.

LUCIANO, R. L. **Petrografia e geoquímica das rochas metacarbonatíticas do Complexo Angico dos Dias, divisa Bahia/Piauí, Brasil.** 2016. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade de São Paulo, Rio Claro, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/138310>. Acesso em: 22 dez. 2022.

MAGALHÃES *et al.* Teores de metais pesados em sedimentos dos trechos de influência urbana do Rio Cuiabá e São Lourenço. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*, 53., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CBQ, 2013.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>. Acesso em: 14 dez. 2022.

MESQUITA, G. M. **Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos do Ribeirão Samambaia, Catalão-GO, empregando espectrometria de absorção atômica.** 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4128/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Glenda%20M%C3%A1ris%20Mesquita%20-%202014.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.

MIMURA, A. M. S. *et al.* Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Cr, Cu, Zn, Cd, and Pb from Sediment, Followed by FAAS and GFAAS Analysis. **Journal of AOAC International**, Oxford, v. 99, p. 252-259, 2016.

MIMURA, A. M. S. **Investigação de diferentes estratégias de preparo de amostras de sedimentos de rio para determinação de elementos-traço por espectrometria de absorção atômica.** 2013. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jsui/handle/ufjf/2318>. Acesso em: 26 ago. 2022.

MIMURA, A. M. S. **Lagoa da comunidade Angico dos Dias.** 2021. 1 fotografia.

MIMURA, A. M. S. **Ponto de coleta da amostra de sedimento**. 2021. 1 fotografia.

MIMURA, A. M. S. **Ponto de coleta da amostra de solo**. 2021. 1 fotografia.

MIMURA, A. M. S.; FERREIRA, C. C. M.; SILVA, J. C. J. Fast and feasible sample preparation methods for extraction of trace elements from deposited particulate matter samples. **Analytical Methods**, v. 9, p. 490–499, 2017.

MIMURA, A. M. S.; FERREIRA, C. C. M.; SILVA, J. C. J. Evaluation of atmospheric particulate matter from an industrial area in Southeast Brazil. **Environ. Monit. Assess.**, v. 192, n. 765, p. 1–15, 2020.

MIRANDA, K. A. **Desenvolvimento de métodos analíticos empregando a espectrometria de absorção atômica sequencial rápida com atomização em chama**. 2012. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/6237>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev. Panam Salud Publica**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.119–129, fev. 2004.

NEVES L. P. **Características descritivas e genéticas do depósito de Zn-Pb Morro Agudo, Grupo Vazante**. 2011. Dissertação (mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

NICASIO, K. L. *et al.* Avaliação ambiental de lagoas naturais e artificiais no município de Buriticupu-MA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 16, n. 29, p.1-17, 2019.

PAIM, L. A. *et al.* Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, 28-33, 2006.

REPULA, C. M. M. *et al.* Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 905-909, 2012.

SANTOS, M. G.; LIMA, L. R. P. A. Caracterização da rocha fosfática de Angico dos Dias (Bahia) e identificação dos minerais portadores de terras raras. **Rev. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v.19, p. 10-19, 2022.

SANTOS, R. Q. **Área de mineração em Angico dos Dias**. 2023. 1 fotografia.

SILVA, J. A. **Direito ambiental constitucional**. 6. ed. São Paulo: Malheiros, 2007.