



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Grazielle Christine de Mattos da Silva

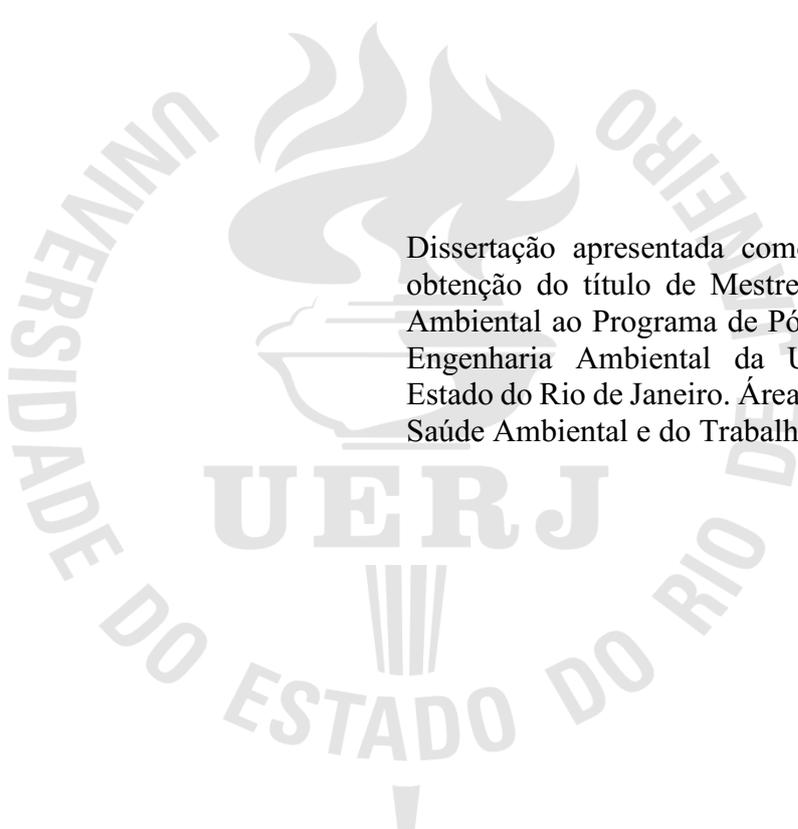
**AVALIAÇÃO GENOTÓXICA EM ANFÍBIOS ORIUNDOS DE UM
SEGMENTO DE RIO IMPACTADO POR ATIVIDADES DE
MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS (MG)**

Rio de Janeiro

2024

Grazielle Christine de Mattos da Silva

Avaliação genotóxica em anfíbios oriundos de um segmento de rio impactado por atividades de mineração de ferro em Minas Gerais (MG)



Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saúde Ambiental e do Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. André Luís de Sá Salomão

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Talione Sabagh

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Grazielle Christine de Mattos da.
Avaliação genotóxica em anfíbios oriundos de um segmento de rio impactado por atividades de mineração de ferro em Minas Gerais (MG) / Grazielle Christine de Mattos da Silva. – 2024.
69 f.

Orientador: André Luís de Sá Salomão.
Coorientador: Leandro Talione Sabagh.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Rios - Minas Gerais - Teses. 3. Ferro - Minas e mineração - Teses. 4. Toxicologia ambiental - Teses. 5. Toxicologia genética - Teses. 6. Anfíbios - Teses. I. Salomão, André Luís de Sá. II. Sabagh, Leandro Talione. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 504.35

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Grazielle Christine de Mattos da Silva

Avaliação genotóxica em anfíbios oriundos de um segmento de rio impactado por atividades de mineração de ferro em Minas Gerais (MG)

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saúde Ambiental e do Trabalho.

Aprovada em

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luís de Sá Salomão - Orientador
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Leandro Talione Sabagh - Coorientador
COPPE - UFRJ

Prof^a. Dr^a. Lia Cardoso Rocha Saraiva Teixeira
Faculdade de Engenharia - UERJ

Dr. Sidney Fernandes Sales Junior
Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ

Prof. Dr. Ricardo Gonçalves Cesar
Geologia - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida mãe, Rosely da Silva, cujo amor incondicional, zelo e fé em meu potencial sempre me inspiraram e motivaram. Também dedico ao meu amado pai, Ildefonso Monteiro, cujo apoio, carinho e cuidado foram fundamentais em minha jornada. Embora não esteja mais entre nós, seus ensinamentos continuam a guiar-me, e é com imenso carinho que honro sua memória neste momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus queridos pais, Rosely da Silva e Ildefonso Monteiro (*in memoriam*), pelo apoio constante, pela sabedoria compartilhada e pelo amor incondicional. Seus ensinamentos e a força que sempre me transmitiram foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Agradeço também aos meus amigos e familiares que têm sido uma fonte constante de amor e apoio em minha vida. Agradeço por cada gesto de carinho e cada palavra de encorajamento. Em especial, agradeço aos meus queridos avós, Darcy e Zilá, aos meus tios Silvana e Carlos André, aos meus primos Juan, Vittor, Daphyne e Enmilly, ao meu adorável sobrinho Dereck e à minha querida amiga Carolina. Sou imensamente grata por ter pessoas tão especiais como vocês em minha vida.

Minha sincera gratidão aos amigos do grupo de pesquisa BIOTEMA. Em especial Priscila, Alenne, Adriana Curty, Adriana Pereira, Rayssa, a professora Lia e a minhas queridas ICs Nathália e Larissa. Suas palavras de incentivo e apoio foram como uma luz constante durante minha jornada no laboratório e nos momentos descontraídos das pausas para o café. Agradeço por fazerem parte dessa jornada ao meu lado.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu coorientador, Leandro Sabagh, pelo valioso auxílio e orientação nas pesquisas. Seu comprometimento e expertise foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço também ao meu orientador, André Salomão, pelo inestimável suporte, orientação e inspiração ao longo deste trabalho. Seus ensinamentos, incentivos, paciência e dedicação foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico. Sou imensamente grata pela confiança que depositou em mim para prosseguir com esse projeto.

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental e à minha amada UERJ pela oportunidade, pelo aprendizado e pelo suporte ao longo desta jornada, que foram essenciais para minha formação e realização desta dissertação.

Por fim, gostaria de agradecer à COPPETEC e Vale S.A. pelo financiamento do Projeto “Estudo sobre a Biota Aquática e Comunidades Ripárias no Rio Paraopeba”, que foi fundamental para o sucesso desse trabalho. Além disso, gostaria de estender meus agradecimentos à dedicada equipe de herpetofauna, Nathan, Luiz, Ugioni, Kássia e Vitor,

cujo trabalho árduo e comprometimento foram fundamentais para alcançarmos esses resultados.

O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.

Robert Collier

RESUMO

SILVA, Grazielle Christine de Mattos da. *Avaliação genotóxica em anfíbios oriundos de um segmento de rio impactado por atividades de mineração de ferro em Minas Gerais (MG)*. 2024. 69 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Áreas com atividades mineradoras estão sujeitas à contaminação em ambientes aquáticos e terrestres, além do risco de desastres, como o rompimento da barragem em Brumadinho (MG) em 2019. Por isso o monitoramento constante dessas áreas é fundamental. O presente estudo teve o objetivo de avaliar o potencial genotóxico em células sanguíneas de anuros às margens do Rio Paraopeba, após esse desastre. Foram avaliados 349 anfíbios de 8 espécies diferentes (*Leptodactylus luctator*, *Leptodactylus fuscus*, *Rhinella diptycha*, *Rhinella* gr. *crucifer*, *Boana crepitans*, *Boana faber*, *Boana lundii* e *Scinax* cf. *fuscovarius*). Foi coletado o material sanguíneo para preparo de lâminas em triplicata, sendo avaliadas 2000 células/lâmina (1000x em microscópio óptico). Os metais (Al, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn) foram avaliados nas amostras de sedimento superficial por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) e atomização eletrotérmica (ETAAS). As análises estatísticas foram realizadas no *software* R por função GLM, com a família quasi-binomial para seguintes variáveis: frequência de anomalias, distância da confluência, massa, CRC, espécie, sexo, estágio de desenvolvimento e metais e semimetais. As espécies *L. luctator*, *R. diptycha* e *B. faber* demonstraram ampla distribuição ao longo do rio. A maior média de frequência de anomalias nucleares foi no primeiro ponto de coleta após a área impactada (9,47%). As concentrações médias (ppm) de Fe [281,64-618,19], Al [138,28 -459,51] e Mn [71,23-227,08] no sedimento foram altas ao longo de todo o rio. As maiores concentrações médias para Al, Ar, Co, Cr, Cu, Ni e Zn foram pontos amostrados a jusante do rompimento barragem. O sexo não foi significativo em nenhum modelo estatístico. O CRC ($p \leq 0,01$) e a massa ($p \leq 0,1$) foram significativos. O Cr foi o único metal que foi significativo ($p \leq 0,05$) e diretamente proporcional à frequência de anomalias nucleares. Conclui-se que, embora haja evidências de contaminação por metais e semimetais no rio, trata-se de uma área multi-impactada e, ainda são necessários estudos adicionais para comprovar a relação dessa contaminação com o desastre ocorrido.

Palavras-chave: Genotoxicidade; Anuros; Metais; Mineração; Ecotoxicidade.

ABSTRACT

SILVA, Grazielle Christine de Mattos da. *Genotoxic evaluation in amphibians from a river segment impacted by iron mining activities in Minas Gerais (MG)*. 2024. 69 f. Dissertation (Professional MSc in Environmental Engineering) – Faculty of Engineering, Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, 2024.

Areas with mining activities are subject to contamination in aquatic and terrestrial environments, in addition to the risk of disasters, such as the collapse of the dam in Brumadinho (MG) in 2019, which is why constant monitoring of these areas is essential. The present study aimed to evaluate the genotoxic potential in anuran blood cells on the banks of the Paraopeba River, after this disaster. 349 amphibians from 8 different species were evaluated (*Leptodactylus luctator*, *Leptodactylus fuscus*, *Rhinella diptycha*, *Rhinella* gr. *crucifer*, *Boana crepitans*, *Boana faber*, *Boana lundii* and *Scinax* cf. *fuscovarius*). Blood material was collected and 3 slides/individual were prepared (fixed in Methanol P.A. and stained in Giemsa 5%), with 2000 cells/slide being evaluated (1000x under an optical microscope). Metals (Al, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni and Zn) were evaluated in surface sediment samples by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) and electrothermal atomization (ETAAS). Statistical analyzes were performed in the R software using the GLM function, with the quasi-binomial family for the following variables: frequency of anomalies, distance from confluence, mass, CRC, species, sex, stage of development and metals and semimetals. The species *L. luctator*, *R. diptycha* and *B. faber* demonstrated a wide distribution along the river. The highest average frequency of nuclear anomalies was at the first collection point after the impacted area (9.47%). The average concentrations (ppm) of Fe [281.64-618.19], Al [138.28 - 459.51] and Mn [71.23-227.08] in the sediment were high throughout the river. The highest average concentrations for Al, Ar, Co, Cr, Cu, Ni and Zn were sampled points downstream of the dam failure. Sex was not significant in any statistical model. CRC ($p \leq 0.01$) and mass ($p \leq 0.1$) were significant. Cr was the only metal that was significant ($p \leq 0.05$) and directly proportional to the frequency of nuclear anomalies. It is concluded that, although there is evidence of contamination by metals and semi-metals in the river, its condition as an area affected by multiple impacts, additional studies are necessary to prove the relationship of this contamination with the disaster that occurred.

Keywords: Genotoxicity; Anurans; Metals; Mining; Ecotoxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias Hidrográficas de Minas Gerais. Bacia do Rio São Francisco (15) em MG.....	28
Figura 2 - Unidades Estratégicas de Gestão das águas em Minas Gerais.	29
Figura 3 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, sedes municipais e os principais cursos d'água.	30
Figura 4 - Rio Paraopeba em Minas Gerais - MG no ponto M28 (latitude -20,259357, longitude -44,122472) no dia 3 de agosto de 2023.....	31
Figura 5 - Mapa da Bacia do Rio Paraopeba com as marcações dos pontos de coleta (Herpetofauna), local do desastre (Barragem B1) e ponto do Ribeirão Ferro-Carvão com o Rio Paraopeba (Confluência Ferro-Carvão).	34
Figura 6 - Coleta de anfíbios às margens do Rio Paraopeba. (a) Busca ativa noturna; (b) Coleta do indivíduo.....	36
Figura 7 - Avaliação de parâmetros morfológicos dos anuros coletados às margens do Rio Paraopeba: (a) comprimento rosto cloacal (CRC) utilizando um paquímetro digital e (b) massa utilizando uma balança analítica.....	37
Figura 8 – Preparo das lâminas com amostras de sangue dos anuros coletados às margens do Rio Paraopeba. (a) Técnica do esfregaço, (b) lâminas secando após retirada do banho de fixação com metanol e (c) lâminas secando após retiradas do banho de coloração com Giemsa a 5%.	38
Figura 9 - Espécies de anfíbios anuros coletados: <i>Leptodactylus luctator</i> (a), <i>Leptodactylus fuscus</i> (b), <i>Rhinella diptycha</i> (c), <i>Rhinella gr. crucifer</i> (d), <i>Boana crepitans</i> (e), <i>Boana faber</i> (f), <i>Boana lundii</i> (g) e <i>Scinax cf. fuscovarius</i> (h). 45	
Figura 10 - Micronúcleo (MN) e outras anomalias nucleares (AN) em eritrócitos das espécies de anfíbios analisadas em microscópio 1000X. Núcleo normal (a), micronúcleo (b), núcleo <i>bebbled</i> (c), núcleo lobulado (d) e binúcleo (e).	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura dos pontos de amostragem com sua respectiva localização (latitude e longitude) e classificação da área em: Controle (C) e Impactada (I).	32
Tabela 2 - Variáveis explicativas utilizadas em cada modelo.	41
Tabela 3 – Quantidade de indivíduos com material sanguíneo coletado por ponto amostral e por espécie.....	42
Tabela 4 - Quantitativo da identificação dos indivíduos quanto ao sexo (masculino e feminino) e estágio de desenvolvimento (jovem e adulto).	43
Tabela 5 – Características morfológicas das espécies de anuros coletadas às margens do Rio Paraopeba e pontos controle. Média [valor mínimo - valor máximo] do comprimento rosto cloacal (CRC) e massa dos indivíduos com os respectivos valores mínimo e máximo para cada espécie.	44
Tabela 6 - Média das concentrações de metais e semimetais em ppm (partes por milhão, mg/Kg) durante as 3 campanhas.	47
Tabela 7 - Quantitativo de lâminas por espécie e por ponto amostral com suas respectivas médias.	48
Tabela 8 – Frequência de anomalias nucleares (‰) em eritrócitos de anuros coletados ao longo do Rio Paraopeba e pontos controle por espécie e por ponto.	50
Tabela 9 - Significância estatística das variáveis explicativas no Modelo 3.....	52
Tabela 10 - Significância estatística das variáveis explicativas no Modelo 4.....	53
Tabela 11 - Significância estatística das variáveis explicativas no Modelo 5.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Faturamento anual do Brasil (em bilhões de reais), entre os anos de 2017 e 2023, do setor mineral (exceto petróleo e gás).	19
Gráfico 2 - Participação dos estados brasileiros no faturamento do setor mineral em 2023.	19
Gráfico 3 - Empregos gerados diretamente pelo setor de mineração no Brasil entre novembro de 2022 e novembro de 2023.	20
Gráfico 4 - Regressão linear da frequência de anomalias nucleares presentes em células sanguíneas de anuros com as características morfológicas dos animais(%). Comprimento rosto coaclal em milímetros (a) e a massa em gramas (b) com destaque (elipse vermelha) dos <i>Outliers</i>	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
AN	Outras anomalias nucleares (exceto micronúcleo)
As	Arsênio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
CRC	Comprimento rosto cloacal
CRI	Categoria de Risco
Cu	Cobre
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i>
DPA	Dano Potencial Associado
Fe	Ferro
HCl	Ácido clorídrico
Hg	Mercúrio
LDM	Limite de Detecção do Método
MG	Minas Gerais
Mn	Manganês
MN	Micronúcleo
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
SFR	Rio São Francisco
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
WMD	World Mining Data
Zn	Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
1. OBJETIVOS.....	17
1.1. Objetivo	17
1.2. Objetivos Específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Impactos da mineração	18
2.1.1. Impacto da mineração na economia	18
2.1.2. Impactos na saúde humana e no meio ambiente.....	21
2.2. Desastre de Brumadinho - MG.....	24
2.3. Anfíbios no monitoramento ambiental	25
2.4. A bacia do Rio São Francisco	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1. Área de estudo e amostragem.....	31
3.1.1.1.1. Estação Ecológica (ESEC) de Pirapitinga	32
3.1.1.1.2. Reservatório de Três Marias.....	33
3.1.1.2. Área impactada.....	33
3.2. Coleta e preparo de amostras de sedimento superficial.....	35
3.3. Determinação de Metais e Semimetais em amostras de sedimento	35
3.4. Coleta e identificação de anfíbios anuros	36
3.5. Extração e preparo das amostras sanguíneas.....	37
3.5.1. Análise de Micronúcleo (MN) e outras Anomalias Nucleares (AN)	38
3.6. Análise estatística dos dados	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Distribuição dos anfíbios ao longo da área amostrada	42
4.2. Metais e semimetais em sedimentos.....	46
4.3. Anomalias nucleares avaliadas.....	47
4.4. Seleção de variáveis, análises e modelos.....	51
5. CONCLUSÃO.....	55
6. RECOMENDAÇÕES.....	57
REFERÊNCIAS	58

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a extração global de minério vem crescendo significativamente, desempenhando papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de algumas regiões (HENCKENS, 2021). No entanto, essa atividade acarreta também em grandes prejuízos ambientais aos ecossistemas locais, assim como à saúde e à segurança da população humana local (MAUS et al., 2020; DA SILVA et al., 2023). A extração e o processamento dos minérios são as principais fontes de poluição por metais e semimetais aos ambientes no entorno das áreas mineradas. Muito embora, alguns desses metais sejam considerados essenciais para o bom funcionamento dos ecossistemas, estes, quando em altas concentrações, podem causar efeitos tóxicos aos organismos expostos (SHAHMORADI, 2020; SIQUEIRA et al., 2022).

Outro fator que causa grande preocupação ambiental é o risco de desastres devido à construção de barragens para o aproveitamento dos rejeitos de minério (ISLAM, MURAKAMI, 2021). Tais barragens podem se romper, provocando impactos aos sistemas aquáticos e terrestres tanto locais, como distantes do epicentro, devido a contaminações por produtos químicos e metais tóxicos presentes no rejeito (JISKANI et al., 2020; DA SILVA et al., 2023).

Em novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração da Mina do Fundão localizada no município de Mariana (MG). Isso causou o deslocamento de mais de 40 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro, afetando o canal principal do Rio Doce e parte da costa Atlântica do estado do Espírito Santo (PETESSE et al., 2023). Em 2018, houve outro evento de rompimento de barragem, o qual o mineroduto localizado no município de Santo Antônio do Grama (MG) rompeu duas vezes em menos de 20 dias, atingindo o ribeirão Santo Antônio. O primeiro rompimento despejou cerca de 300 toneladas de polpa de minério. O segundo despejou cerca de 174 toneladas e provocou a interrupção do abastecimento de água na cidade (DE MELO et al., 2021). Em janeiro de 2019, ocorreu o maior desastre ambiental brasileiro em termos de perdas humanas: o rompimento da barragem de rejeito da Mina Córrego do Feijão, localizada na região de Brumadinho (MG). Esse evento deslocou cerca de 12 milhões de m³ de rejeito de minério de ferro para o meio ambiente e causou a morte de

272 pessoas. O deslocamento do rejeito carregou solo, sedimento, plantas e outros destroços, atingindo áreas rurais e urbanas. Os sistemas terrestres e aquáticos sofreram graves impactos, em especial o riacho Ferro-Carvão e o rio Paraopeba (SIQUEIRA et al., 2022; DA SILVA et al., 2023).

A frequência e magnitude destes desastres causa preocupação não só pelos imensos prejuízos imediatos, mas também pelos danos a longo prazo nos ecossistemas afetados e na população humana local exposta (VERGILIO et al., 2021). Esses incidentes com rejeito de minério podem resultar no aumento das concentrações de metais tóxicos em rios, córregos, águas subterrâneas, solos e sedimentos.

Metais e semimetais como chumbo (Pb), mercúrio (Hg), arsênico (As) e cádmio (Cd) são tóxicos e podem ser letais para humanos e animais. Outros metais como cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn), embora sejam essenciais para seres vivos, também podem ser tóxicos quando em concentrações elevadas (SHAHMORADI et al., 2020; BUCH et al., 2021). Alguns desses metais persistem no ambiente e no organismo por muito tempo, fazendo com que permaneçam em caráter cumulativo ao longo da cadeia alimentar. A bioacumulação destes elementos pode ocorrer nos animais e nas plantas que estão em contato direto com a área afetada, assim como, de forma indireta nos seres humanos que consomem essas plantas, animais e de forma direta com o consumo de água contaminada (FUENTES et al., 2020; OSMAN et al., 2021).

A constante exposição e a característica cumulativa desses contaminantes podem causar severos agravos a saúde de organismos expostos, como seres humanos, anfíbios e peixes (HU et al., 2021; OSMAN et al., 2021; SINGH et al., 2021; CRUZ-ESQUIVEL et al., 2023). Entre os efeitos observados estão alterações na pressão arterial; disfunções hepáticas; pulmonares e renais; deficiência no sistema imunológico; e em alguns casos aumentar a probabilidade do desenvolvimento de câncer, devido aos efeitos danosos desses metais e semimetais ao material genético das células (OSMAN et al., 2021; SINGH et al., 2021). Sendo assim, faz-se necessário o monitoramento a longo prazo dos ecossistemas atingidos por esse tipo de poluente a fim de assegurar um ambiente ecologicamente equilibrado, e assim garantir a segurança hídrica e alimentar da população que depende destes recursos para sobreviver nas áreas atingidas (FUENTES et al., 2020; VERGILIO et al., 2021; OSMAN et al., 2021).

Uma das formas de mensurar o impacto de tais eventos aos ecossistemas locais é o biomonitoramento ativo, que consiste no monitoramento de organismos vivos que habitam a área de estudo. Dessa forma, pode-se melhor avaliar a qualidade do ambiente e as mudanças ocorridas nele (GIROTTI et al., 2020; ABAS et al., 2021).

Um dos biomarcadores mais amplamente estudados em danos ao DNA e instabilidade cromossômica nas células é o micronúcleo (MN). Os MNs se originam de fragmentos cromossômicos que não são incluídos nos núcleos filhos durante a divisão celular (FENECH et al., 2020). O teste de MN é vantajoso por ser pouco evasivo, acessível e de custo relativamente baixo (FENECH et al., 2020; LAFFON et al., 2021; AL-SALMAN et al., 2022).

A escolha do organismo ideal a ser monitorado é complexa e deve levar alguns pontos em consideração, tais como: solidez taxonômica (distribuição ampla), baixa mobilidade (reflete as condições locais), características ecológicas bem conhecidas, adequação para experimentos de laboratório (alta sensibilidade a estressores ambientais e antropogênicos) e características de quantificação e padronização (AGUILAR et al., 2022).

Neste sentido, os anfíbios são organismos amplamente utilizados no biomonitoramento, já que a maioria tem um ciclo de vida bifásico, habitando ecossistemas de água doce e terrestres. Ocupam uma ampla gama de nichos ecológicos e são considerados vulneráveis a distúrbios ambientais devido à sua pele permeável (MITKOVSKA et al., 2021; CHEN et al., 2023; ORTON et al., 2023). Estes também podem ser suscetíveis a malformações esqueléticas (VÁZQUEZ et al. 2023). Além disso, sua exposição a metais tóxicos pode provocar outras malformações, como: problemas nos olhos, na pigmentação e na mandíbula, além de gerar anormalidades nucleares (BOSCH et al., 2020; LEHR et al., 2021; MITKOVSKA et al., 2021; VÁZQUEZ et al. 2023). Dessa forma, os anfíbios tornam-se bons candidatos a bioindicadores para a realização da presente pesquisa de monitoramento em uma área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos de mineração.

REFERÊNCIAS

- ABAS, Azlan. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107197, 2021.
- AGBOOLA, O. et al. A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. **Results in Engineering**, v. 8, p. 100181, 2020.
- AGUILAR, Armando Guerrero et al. Bioindicators and biomonitoring: Review of methodologies applied in water bodies and use during the Covid-19 pandemic. 2022.
- ALMG - Assembleia Legislativa de Minas Gerais. Rompimento da barragem da Vale, em Brumadinho, completa quatro anos Disponível em: <https://www.almg.gov.br/comunicacao/noticias/arquivos/Rompimento-da-barragem-da-Vale-em-Brumadinho-completa-quatro-anos/#:~:text=No%20dia%2025%20de%20janeiro,pela%20bacia%20do%20Rio%20Paraopeba%20>. Acesso em 10 de fevereiro de 2024.
- AL-SALMAN, Aseel N. et al. Comet and Micronucleus Assays for Detecting Benzo (a) Pyrene Genotoxicity in Blood Cells of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) from the Shatt Al-Arab River in Southern Iraq. **Journal of Pharmaceutical Negative Results**, p. 1606-1614, 2022.
- ALVES, Wellington; FERREIRA, Paula; ARAÚJO, Madalena. Challenges and pathways for Brazilian mining sustainability. **Resources Policy**, v. 74, p. 101648, 2021.
- ATLI, G.; CANLI, M. Response of antioxidant system of freshwater fish *Oreochromis niloticus* to acute and chronic metal (Cd, Cu, Cr, Zn, Fe) exposures. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 73: 1884-1889, 2010.
- BERGMAN-ROSAMOND, A. et al. The case for interdisciplinary crisis studies. **Global Discourse**, v. 12, n. 3-4, p. 465-486, 2022.

BOLDY, Robyn et al. Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review. **The Extractive Industries and Society**, v. 8, n. 1, p. 457-466, 2021.

BOSCH, ROBERTO ALONSO; MARRERO, ARTURO HERNÁNDEZ. Deformities in the Cuban spotted toad *Peltophryne taladai*: A rare case of abnormal eyes. **Herpetological Bulletin**, v. 154, p. 23-25, 2020.

BUCH, Andressa Cristhy et al. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. **Journal of Hazardous Materials**, v. 403, p. 123852, 2021.

BÜCKER, A.; CONCEIÇÃO, M. B. Genotoxicity evaluation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to waters from two sites of Itajaí-Açu River (SC, Brazil). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 7, n. 2, p. 51–56, 5 dez. 2012.

BUSS, Daniel Forsin; BAPTISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 465-473, 2003.

CACHADA, A.; ROCHA-SANTOS, T.; DUARTE, A. C. Soil and pollution: an introduction to the main issues. In: Soil pollution. **Academic Press**, 2018. p. 1-28.

CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M. S. Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 47, n. 11, p. 2123–2136, nov. 1990.

ÇAVAŞ, T.; ERGENE-GÖZÜKARA, S. Induction of micronuclei and nuclear abnormalities in *Oreochromis niloticus* following exposure to petroleum refinery and chromium processing plant effluents. **Aquat. Toxicol.**, v. 74, n. 3, p. 264–71, 10 set. 2005.

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. A bacia. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em 28 de janeiro de 2024.

CHEN, H. et al. Ecological Factors and Anthropogenic Disturbance May Restructure the Skin Microbiota of Maoershan Hynobiids (*Hynobius maoershanensis*). **Diversity**, v. 15, n. 8, p. 932, 2023.

CHENG, J. et al. Background of land development and opportunity of land use transition. **Asian Agricultural Research**, v. 7, n. 1812-2016-144372, p. 45-48, 2015.

CRUMP, M. L. Anuran reproductive modes: evolving perspectives. **Journal of Herpetology**, v. 49, n. 1, p. 1-16, 2015.

CRUZ-ESQUIVEL, Á.; DÍEZ, S.; MARRUGO-NEGRETE, J. L. Genotoxicity effects in freshwater fish species associated with gold mining activities in tropical aquatic ecosystems. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 253, p. 114670, 2023.

CUZZIOL, A. B. P. et al. Morphological and histological abnormalities of the neotropical toad, *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) larvae exposed to dexamethasone. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 56, n. 1, p. 41-53, 2020.

DA SILVA, Hélio Elias et al. Genotoxic and mutagenic evaluation in *Eisenia foetida* annelids exposed to iron ore tailings from the region of Brumadinho, MG, Brazil. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 102, p. 104247, 2023.

DE LACERDA, L. Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. **Environmental Geology**, v. 43, p. 308-314, 2003.

DE MELO, Letícia Dimas et al. O rompimento do mineroduto em Santo Antônio do Grama/MG: impactos socioambientais na perspectiva da mídia nacional. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e529101623930-e529101623930, 2021.

EEA - European Environmental Agency. Soil pollution and health. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/health/soil-pollution>. Acesso em 20 de janeiro de 2024.

ESTES-ZUMPF, W. et al. Improving sustainability of long-term amphibian monitoring: The value of collaboration and community science for indicator species management. **Ecological Indicators**, v. 134, p. 108451, 2022.

FATIMA, M. et al. Assessment of genotoxic induction and deterioration of fish quality in commercial species due to heavy-metal exposure in an urban reservoir. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 67, p. 203-213, 2014.

FENECH, M. et al. HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. **Mutat. Res.**, v. 534, n. 1–2, p. 65–75, 10 jan. 2003.

FENECH, M. et al. Micronuclei as biomarkers of DNA damage, aneuploidy, inducers of chromosomal hypermutation and as sources of pro-inflammatory DNA in humans. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 786, p. 108342, 2020.

FERNANDO, V. AK et al. Lethal and sub-lethal effects on the Asian common toad *Duttaphrynus melanostictus* from exposure to hexavalent chromium. **Aquatic Toxicology**, v. 177, p. 98-105, 2016.

FREITAS, M. O. et al. New records of *Aspidoras fuscoguttatus* Nijssen & Isbrücker, 1976 (Callichthyidae, Corydoradinae) from the São Francisco river basin, Brazil. **Check List**, v. 19, n. 6, p. 901, 2023.

FUENTES, I. et al. Long-term trace element assessment after a mine spill: Pollution persistence and bioaccumulation in the trophic web. **Environmental Pollution**, v. 267, p. 115406, 2020.

GAGNÉ, F.; BLAISE, C. Organic alkali-labile phosphates in biological materials: A generic assay to detect vitellogenin in biological tissues. **Environmental toxicology**, v. 15, n. 3, p. 243-247, 2000.

GENDLER, S.; PROKHOROVA, E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. **Resources**, v. 10, n. 3, p. 20, 2021.

GIROTTI, S. et al. Bioindicators and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, v. 5, p. 1-16, 2020.

GOLDBERG, J. et al. Vocal sac development and accelerated sexual maturity in the lesser swimming frog, *Pseudis minuta* (Anura, Hylidae). **Zoology**, v. 119, n. 6, p. 489-499, 2016.

HADDAD, Célio FB et al. **Guia dos anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia**. Anolis Books, 2013.

HENCKENS, T. Scarce mineral resources: Extraction, consumption and limits of sustainability. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 169, p. 105511, 2021.

HU, J. et al. *In situ* assessment of genetic and epigenetic alterations in frog *Rana plancyi* and *Rana limnocharis* inhabiting aquatic ecosystems associated with Pb/Zn/Cu mining. **Science of The Total Environment**, v. 779, p. 146139, 2021.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. ESEC de Pirapitinga completa 31 anos. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/esec-de-pirapitinga-completa-31-anos>. Acesso em: 30 de janeiro de 2024.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Pirapitinga, 2013. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/esec-de-pirapitinga/arquivos/esec_pirapitinga_planodemanejocompleto.pdf. Acesso em: 03 de fevereiro de 2024.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Mapa das Unidades de Planejamento. Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/site/17-mapa-unidades-de-planejamento>. Acesso em 6 de fevereiro de 2024.

ISLAM, Kamrul; MURAKAMI, Shinsuke. Global-scale impact analysis of mine tailings dam failures: 1915–2020. **Global Environmental Change**, v. 70, p. 102361, 2021.

JACOBI, P. R. et al. Critical Interdisciplinary Sciences, Crises and Disasters. Editorial N° 3/2019 Threatened Amazon. **Ambiente & Sociedade**, 2019.

JIRAUNGKOORSKUL, Wannee et al. Evaluation of micronucleus test's sensitivity in freshwater fish species. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 1, n. 2, p. 56-63, 2007.

JISKANI, I. M. et al. Assessment of risks impeding sustainable mining in Pakistan using fuzzy synthetic evaluation. **Resources Policy**, v. 69, p. 101820, 2020.

KOSTARELOS, K. et al. Legacy soil contamination at abandoned mine sites: making a case for guidance on soil protection. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 94, p. 269-274, 2015.

LAFFON, B. et al. Genomic instability as a main driving factor of unsuccessful ageing: potential for translating the use of micronuclei into clinical practice. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 787, p. 108359, 2021.

LAJMANOVICH, R. C. et al. Induction of micronuclei and nuclear abnormalities in tadpoles of the common toad (*Rhinella arenarum*) treated with the herbicides Liberty® and glufosinate-ammonium. **Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 769, p. 7–12, 2014.

LEHR, E.; LYU, Shenyu; CATENAZZI, Alessandro. A new, critically endangered species of *Pristimantis* (Amphibia: Anura: Strabomantidae) from a mining area in the Cordillera Occidental of northern Peru (Región Cajamarca). **Salamandra**, v. 57, n. 1, p. 15-26, 2021.

LEVASSEUR, P.; ERDLENBRUCH, K.; GRAMAGLIA, C. The health and socioeconomic costs of exposure to soil pollution: evidence from three polluted mining and industrial sites in Europe. *Journal of Public Health*, p. 1-14, 2021.

LITVINENKO, V. S.; TSVETKOV, P. S.; MOLODTSOV, K. V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector. **Eurasian Min**, v. 2020, p. 36-41, 2020.

LIU, D. et al. Effects of endocrine-disrupting heavy metals on human health. **Toxics**, v. 11, n. 4, p. 322, 2023.

LOREDO, J.; ORDÓÑEZ, A.; ALVAREZ, R. Environmental impact of toxic metals and metalloids from the Muñón Cimero mercury-mining area (Asturias, Spain). **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 455-467, 2006.

LUCKENEDER, Sebastian et al. Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems. **Global Environmental Change**, v. 69, p. 102303, 2021.

MAUS, Victor et al. A global-scale data set of mining areas. **Scientific data**, v. 7, n. 1, p. 289, 2020.

MITKOVSKA, Vesela I.; DIMITROV, Hristo A.; CHASSOVNIKAROVA, Tsenka G. Chronic Exposure to Heavy Metals Induces Nuclear Abnormalities and Micronuclei in Erythrocytes of the Marsh Frog (*Pelophylax ridibundus Pallas, 1771*). **Ecologia Balkanica**, 2021.

MONTEIRO, M. N. H. (2022). Impacto do rejeito de mineração em relações tróficas de Anfíbios (Monografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Duque de Caxias, 2022.

MORI, E.; MAZZA, G.; LOVARI, S. Sexual dimorphism. In: Encyclopedia of animal cognition and behavior. Cham: **Springer International Publishing**, 2022. p. 6389-6395.

NASCIMENTO MONTEIRO, J. A. N. et al. Mutagenic and histopathological effects of hexavalent chromium in tadpoles of *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802) (Anura, Ranidae). **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 163, p. 400-407, 2018.

NASCIMENTO, N. F. et al. Efficacy of buserelin acetate combined with a dopamine antagonist for spawning induction in the bullfrog (*Lithobates catesbeianus*). **Aquaculture Research**, v. 46, p. 3093-3096, 2015.

ORTON, Frances et al. A review of non-destructive biomonitoring techniques to assess the impacts of pollution on reproductive health in frogs and toads. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 262, p. 115163, 2023.

OSMAN, Hanan Elsayed Mohamed et al. Bioaccumulation and human health risk assessment of heavy metals in food crops irrigated with freshwater and treated wastewater: A case study in Southern Cairo, Egypt. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 36, p. 50217-50229, 2021.

OWEN, J. R. et al. Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure. **International journal of disaster risk reduction**, v. 42, p. 101361, 2020.

PARENTE, C. E. T. et al. First assessment of atmospheric pollution by trace elements and particulate matter after a severe collapse of a tailings dam, Minas Gerais, Brazil: An insight into biomonitoring with *Tillandsia usneoides* and a public health dataset. **Environmental Research**, p. 116435, 2023.

PARENTE, C. E. T. et al. First year after the Brumadinho tailings' dam collapse: Spatial and seasonal variation of trace elements in sediments, fishes and macrophytes from the Paraopeba River, Brazil. **Environmental Research**, v. 193, p. 110526, 2021.

PEIXOTO, P. V. L. et al. Rupture of Brumadinho dam (Minas Gerais, Brazil): embryotoxicity in zebrafish induced by metal mixture-contaminated water. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 57, n. 6, p. 479-488, 2022.

PELUSO, J. et al. Biomarkers of genotoxicity and health status of *Rhinella fernandezae* populations from the lower Paraná River Basin, Argentina. **Ecological Indicators**, v. 117, n. June, p. 106588, 2020.

PETESSE, Maria Letizia; POMARO, Sofia Bergamo; DE CASTRO CAMPANHA, Paula Maria Gênova. Are fish assemblages recovering after the huge disaster of mining tailing dam collapse in Mariana (Brazil-MG)? **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 11, p. 1263, 2023.

POLLO, F. E. et al. Common toad *Rhinella arenarum* (Hensel, 1867) and its importance in assessing environmental health: test of micronuclei and nuclear abnormalities in erythrocytes. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, p. 1-9, 2015.

POLLO, F. E. et al. Evaluation in situ of genotoxicity and stress in South American common toad *Rhinella arenarum* in environments related to fluorite mine. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 22, p. 18179–18187, 2017.

POUGH, F. Harvey et al. Herpetology. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Versão 4.1.2. Viena, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

ROCHA, R. B. et al. *Leptodactylus macrosternum* (Anura: Leptodactylidae) as a bioindicator of potentially toxic chemical elements in irrigated perimeters in northeastern Brazil. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v. 4, p. 124-131, 2022.

ROTTA, L. H. S. et al. The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 90, p. 102119, 2020.

SALOMÃO, A. L. DE S.; HAUSER-DAVIS, R. A.; MARQUES, M. Critical knowledge gaps and relevant variables requiring consideration when performing aquatic ecotoxicity assays. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 203, n. July, 2020.

SALOMÃO, A. L. DE S.; MARQUES, M. Estrogenicity and Genotoxicity Detection in Different Contaminated Waters. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 21, n. 7, p. 1793–1809, 2015.

SALOMÃO, A. L. DE S.; MARQUES, M. Quantification of alkali-labile phosphate groups in the plasma of *Oreochromis niloticus* exposed to intermittent discharges of estrogens: Effect of concentrations vs. loads. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 94, n. 11, p. 1161–1172, 2014.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Secretaria de Meio Ambiente lembra a importância de Minas no cenário nacional das águas. Publicado em: 26 de março de 2012. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/1504-secretaria-de-meio-ambiente-lembra-a-importancia-de-minas-no-cenario-nacional-das-aguas>. Acesso em: 29 de janeiro de 2024.

SHAHMORADI, Behzad et al. Influence of iron mining activity on heavy metal contamination in the sediments of the Aqyazi River, Iran. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, p. 1-10, 2020.

SILVA, F. R.; GONÇALVES-SOUZA, T.; PATERNO, G. B.; PROVETE, D. B.; VANCINE, M. H. **Análises ecológicas no R**, 2020.

SILVA, M. I. A. Adaptação e capacidade antioxidante em uma população de *Phrynops geoffroanus* em resposta a agressões ambientais / Maria Isabel Afonso da Silva. - São José do Rio Preto: [s.n.], 2011

SILVA, T. C.; MUNIZ, F. José; TABAK, B. M. The Impact of Government Disaster Surveillance and Alerts on Local Economic and Financial Conditions. **Environmental and Resource Economics**, v. 84, n. 2, p. 559-591, 2023.

SINGH, Preeti et al. Blood lead and cadmium levels in occupationally exposed workers and their effect on markers of DNA damage and repair. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 43, p. 185-193, 2021.

SIQUEIRA, Danielle et al. Terrestrial and aquatic ecotoxicity of iron ore tailings after the failure of VALE SA mining dam in Brumadinho (Brazil). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 235, p. 106954, 2022.

SONTER, L. J. et al. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature communications**, v. 8, n. 1, p. 1013, 2017.

STARLING, M. C. V. M.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 372, n. April 2018, p. 17–36, 2019.

THOMPSON, F. et al. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 135914, 2020.

TOLOSA, Y. et al. Sexual maturity and sexual dimorphism in a population of the rocket-frog *Colostethus aff. fraterdanieli* (Anura: Dendrobatidae) on the northeastern Cordillera Central of Colombia. **Actualidades Biológicas**, v. 37, n. 102, p. 287-294, 2015.

ULUTURHAN, E., KUCUKSEZGIN, F. Heavy metal contaminants in Red Pandora (*Pagellus erythrinus*) tissues from the Eastern Aegean Sea, Turkey. **Water Research** 41, 1185e1192, 2007.

VÁZQUEZ, Miguel E. Hernández; JIMÉNEZ, Marco Antonio García; HERNÁNDEZ, Romeo Montejo. Anomalies in three species of anurans in the state of Chiapas, Mexico. **Reptiles & Amphibians**, v. 30, n. 1, p. e20113-e20113, 2023.

VERGILIO, Cristiane dos Santos et al. Immediate and long-term impacts of one of the worst mining tailing dam failure worldwide (Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 756, p. 143697, 2021.

VIGNERI, R. et al. Heavy metals in the volcanic environment and thyroid cancer. **Molecular and cellular endocrinology**, v. 457, p. 73-80, 2017.

VOGEL, A. Failures of Dams—Challenges to the Present and the Future. In: IABSE Workshop: Safety, Failures and Robustness of Large Structures, Helsinki, Finland, 14-15 February 2013. 2013. p. 178-185.

WEI, L. et al. Toxic effects of three heavy metallic ions on *Rana zhenhaiensis* tadpoles. **Asian Herpetol Res**, v. 6, p. 132-142, 2015.

WELLS, Kentwood D. The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago press, 2019.

WILSON, S. A. Mining-induced displacement and resettlement: The case of rutile mining communities in Sierra Leone. **Journal of Sustainable Mining**, v. 18, n. 2, p. 67-76, 2019.

WISE - World Information Service on Energy - WISE-Uranium Project. Chronology of Major Tailings Dam Failures. Disponível em: <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>. Acesso em: 05 de fevereiro 2024.

WMD - World Mining Data 2023. Disponível em: <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2023.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024.

WORLANYO, A. S.; JIANGFENG, Li. Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 279, p. 111623, 2021.

YANG, Y. et al. Response of photosynthesis to different concentrations of heavy metals in *Davidia involucrata*. PLoS One, v. 15, n. 3, p. e0228563, 2020.

YOUNG, B. E. et al. Joyas que están desapareciendo: el estado de los anfibios en el Nuevo Mundo. 2004.

ZAGO, C. E. S. et al. Morphological, morphometrical and ultrastructural characterization of *Phrynops geoffroanus*'(Testudines: Chelidae) blood cells, in different environments. **Micron**, v. 41, n. 8, p. 1005-1010, 2010.

ZHANG, Q.; WANG, C. Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. **Water, air, & soil pollution**, v. 231, p. 1-13, 2020.

ZHAO, J. et al. Control of contaminant transport caused by open-air heavy metal slag in Zhehai, Southwest China. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 3, p. 443, 2019.

ZOCHE, J. J. et al. Heavy-metal content and oxidative damage in *Hypsiboas faber*: the impact of coal-mining pollutants on amphibians. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 66, p. 69-77, 2014.