



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

**“A saúde sobre o prisma *ecohealth* – aspectos biológicos e ambientais da  
contaminação do solo por empresas mineradoras”**

**Ana Flávia Castro Baeta**

Ouro Preto – Minas Gerais

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

**“A saúde sobre o prisma *ecohealth* – aspectos biológicos e ambientais da contaminação do solo por empresas mineradoras”**

Monografia de conclusão de curso submetido ao colegiado do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito básico para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. André Talvani

Coorientador(a): Dra. Priscilla Vilela dos Santos

Ouro Preto – Minas Gerais

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B141s Baeta, Ana Flavia Castro.

A saúde sobre o prisma ecohealth - aspectos biológicos e ambientais da contaminação do solo por empresas mineradoras.. [manuscrito] / Ana Flavia Castro Baeta. - 2023.

44 f.: il.: color..

Orientador: Prof. Dr. André Talvani Pedrosa.

Coorientadora: Dra. Priscilla Vilela Santos.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas .

1. Contaminantes inorgânicos. 2. Mineração. 3. Saúde. 4. Ecohealth. 5. Meio ambiente. I. Pedrosa, André Talvani. II. Santos, Priscilla Vilela. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 631.4

Bibliotecário(a) Responsável: Luciana De Oliveira - SIAPE: 1.937.800



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Flávia Castro Baeta

**A saúde sobre o prisma *ecohealth* – aspectos biológicos e ambientais da contaminação do solo por empresas mineradoras**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em 16 de agosto de 2023.

### Membros da banca

Prof. André Talvani - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra. Priscilla Vilela dos Santos - Coorientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Ms. Tâmilis Caroline Fernandes Pedrosa (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Ms. Breno Luiz Pimenta dos Santos - (Universidade Federal de Minas Gerais)

O Prof. André Talvani, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 19/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **André Talvani Pedrosa da Silva**, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR, em 19/08/2023, às 15:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0576409** e o código CRC **9B94FAB3**.

## **DEDICATÓRIA**

Esse trabalho é dedicado a você, familiar ou amigo que contribuiu na minha caminhada. Sem vocês eu nada seria.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço do fundo do meu coração a Deus, por ter me concedido uma família tão especial.

Obrigada pai, pelo exemplo de força, honestidade e cuidado, nossa conexão vai além. Obrigada mãe, por ter sido meu braço direito em tudo, pelo amor e por nunca ter desistido. Obrigada irmão, por ser na minha vida sinônimo de coragem e determinação. Eu amo vocês com toda a minha alma.

Agradeço ao meu namorado e melhor amigo João Vítor, por todos os momentos em que você me puxou para cima, me ajudou com as provas de exatas e me entendeu. Você é a minha cura.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. André Talvani e a minha coorientadora Dra. Priscilla, pela oportunidade, paciência e ensinamentos. E ao professor Helgem, por acreditar e colaborar com a pesquisa. Vocês são profissionais extraordinários.

Ao Laboratório Municipal de Mariana, onde durante o estágio pude ter o privilégio de fazer parte de uma equipe tão inspiradora de profissionais da saúde que em nenhum momento durante a pandemia, desistiram de ajudar a salvar vidas. Em especial as amigas que fiz durante esse tempo, Paulinha, Samantha e Andréa, que não mediram esforços para ensinar e ajudar. Levo vocês no coração sempre.

Agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto, pelo ensino público de qualidade. E a todos os professores e professoras que se dedicaram ao máximo, mesmo em tempos pandêmicos. Sentirei saudades.

As minhas duas peças fundamentais nessa engrenagem acadêmica Aline e Bruna, por terem entrado no meu caminho e tornado tudo mais fácil e deliciosamente divertido. E a minha duplinha Marcela e Pablo, por terem sempre me estendido a mão. Vocês são biólogos incríveis.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma direta ou indireta, colaboraram na minha formação acadêmica. Rumo aos sonhos!

## EPÍGRAFE

“Quantas toneladas exportamos  
De ferro?”

Quantas lágrimas disfarçamos  
Sem berro?”

(Carlos Drummond de Andrade)

## RESUMO

A atividade mineradora desde sua expansão global e a forte procura por *commodities*, vem sendo a base da economia de diversos Estados brasileiros. Essa intensiva ação extrativista é ligada a falta da diversidade econômica de municípios e a cultura de exploração desenfreada do meio ambiente, causando impactos significativos ao ecossistema, e sustentando o conceito de *one health* ou *ecohealth* – saúde humana e animal integrada às dinâmicas ecológicas. O problema envolvendo as mineradoras surge devido à exposição descontrolada de metais inorgânicos no ambiente, provenientes das etapas da extração e, principalmente do derrame de rejeitos como ocorrido nas recentes tragédias no país. Nestes eventos grande parte da massa mineral gera contaminação ao solo, aos corpos d'água e à vegetação, ocasionando a perda de biodiversidade e de vidas humanas. Mesmo após anos desse crime ambiental, os metais inorgânicos podem ser registrados no meio ambiente com limites muito acima do seguro, seguindo a corrente de impactos gerados na saúde. Portanto, o objetivo desta revisão foi investigar relações biológicas em humanos, na vegetação e em animais expostos aos contaminantes que foram descritos acima dos limites estabelecidos por lei pós-evento de derrame de rejeitos por empresa mineradora. Para isso, a revisão seguirá uma natureza exploratória, realizada a partir da análise de artigos científicos e da interpolação de dados científicos obtidos de distintas áreas da biologia, no período de 1984 a 2023, retirados na base de dados PubMed Central, Scielo e Science Direct, disponíveis online em texto completo.

**Palavras-chave:** Contaminantes inorgânicos; Mineração; Saúde; *Ecohealth*, Meio ambiente.



## ABSTRACT

Mining activity, since its global expansion and the strong demand for commodities, has been the basis of the economy of several Brazilian states. This intensive extractive action is linked to the lack of economic diversity in the municipalities and the culture of unbridled exploitation of the environment, causing significant impacts to the ecosystem, and sustaining the concept of one health or ecohealth – human and animal health integrated with ecological dynamics. The problem involving mining companies arises due to the uncontrolled exposure of inorganic metals to the environment, resulting from the extraction stages and, mainly, from the spillage of tailings, as occurred in the recent tragedies in the country. In these events, a large part of the mineral mass generates contamination of the soil, water bodies and vegetation, causing the loss of biodiversity and human lives. Even after years of this environmental crime, inorganic metals can be registered in the environment with limits well above the safe, following the chain of impacts generated in health. Therefore, the objective of this review was to investigate biological relationships in humans, vegetation and animals exposed to contaminants that were described above the limits established by law post-event of spillage of tailings by mining company. For this, the review will follow an exploratory nature, carried out from the analysis of scientific articles and the interpolation of scientific data obtained from different areas of biology, in the period from 1984 to 2023, taken from the PubMed Central, Scielo and Science Direct database, available online and in full text.

**Keywords:** Inorganic contaminants; Mining; Health; Ecohealth, Environment.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
ETA	Estação de Tratamento de Água.
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Água.
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos.
ROS	Espécies reativas de oxigênio
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto.
AST	Aspartato aminotransferase.
ALT	Alanina aminotransferase.
VMP	Valor máximo permitido
GIAIA	Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Levantamento dos valores dos contaminantes encontrados por análises de água e solo, pós rompimento da barragem de Fundão, Mariana, MG .....	34
Figura 2 - Levantamento dos valores dos contaminantes encontrados por análises de água e solo, pós rompimento da barragem em Brumadinho, MG.....	34

## SUMÁRIO

<b>1. Revisão de literatura .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Metais inorgânicos .....</b>	<b>15</b>
2.1 Ferro.....	15
2.2 Arsênio .....	17
2.3 Selênio .....	19
2.4 Zinco .....	20
2.5 Mercúrio .....	22
2.6 Chumbo.....	23
2.7 Manganês.....	25
2.8 Cobre.....	27
2.9 Alumínio .....	28
<b>3. Objetivo geral .....</b>	<b>30</b>
3.1 Objetivos específicos .....	30
<b>4. Metodologia .....</b>	<b>31</b>
4.1 Tipo de pesquisa .....	31
<b>5. Discussão .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>35</b>
<b>7. Referências .....</b>	<b>36</b>

## 1. Revisão de literatura

A contaminação do solo e da água por metais inorgânicos, em decorrência de ações antrópicas, afeta não apenas o equilíbrio ecológico de uma região, mas também a saúde da população local e de outras localidades. Esta concepção de integração entre saúde e fatores sócio/ambientais recebe a denominação de “*onehealth*” ou “*ecohealth*”. O termo *onehealth* se baseia nas interconexões, entre a saúde animal, humana e ambiental como um todo, e sugere-se haver uma inseparabilidade e uma interdependência entre elas (Carneiro; Pettan-Brewer, 2020). Já o conceito *ecohealth* trata-se de uma abordagem de pesquisa centrada na saúde ecossistêmica, levando em consideração as relações complexas e uma integração entre todas as dinâmicas ecológicas e químicas da vida, apoiada na transdisciplinaridade (Valadão, 2018). Ambos os conceitos convergem em sua visão e objetivos e são motivados pela certeza de que a saúde deve ser entendida na interface humano-animal, dentro de seus ambientes, sejam eles naturais ou sociais (Roger *et al*, 2016).

A exposição exacerbada aos metais inorgânicos pode causar danos às células (carcinogênese) (Sarker *et al*, 2021), e resultar em insuficiências renais, desequilíbrio imunológico, transtornos respiratórios, distúrbios hormonais, digestórios, comportamentais, e até mesmo ocasionar o óbito (Franco *et al*, 2021).

No contexto ambiental, a biodisponibilidade desses elementos no solo determinará a sua toxicidade, em um cenário de contaminação das águas por metais inorgânicos, a maior preocupação acontece pela capacidade de bioacumulação pela flora e fauna aquática que, seguindo a cadeia alimentar, tende a chegar ao ser humano com doses bem maiores, ocasionando danos metabólicos graves (Oliveira; Muniz, 2018).

Ademais, considerando a contaminação atmosférica pelas partículas em suspensão dependendo das condições climáticas, estas podem transitar por longas distâncias pelas correntes de ar e por fim, serem devolvidas na litosfera por meio das precipitações (Souza; Morassuti; Deus, 2018).

Os metais inorgânicos como o ferro, cobre, manganês, zinco, chumbo, mercúrio, alumínio, arsênio e selênio são encontrados de forma inorgânica em

ambientes de deposição de materiais como lixo industrial, pilhas e baterias (Reidler; Gunther, 2002). O descarte incorreto desses materiais ocasiona a poluição ambiental ar-solo-água, e em decorrência deste risco ao ambiente, desde 1999, há uma legislação própria (Resoluções CONAMA: n.º 257, de 30/06/99; e n.º 263, de 12/11/99) que dispõe sobre o manejo e descarte correto desses contaminantes, bem como sua adequada forma de descarte. Entretanto, somente uma parcela das 1,2 bilhões de toneladas de pilhas, bateria e lixos industriais é descartada de forma correta no Brasil, sendo a 80% descartado em lixos comuns, produzindo um problema ambiental crescente (Barroco *et al*, 2018).

Contudo, uma fonte de disseminação silenciosa desses metais pesados no ambiente vem ocorrendo em diferentes regiões do Brasil, pela ação de empresas mineradoras. Em 05 de novembro de 2015, um desastre ambiental de grande escala que ocorreu na cidade de Mariana, MG, onde 55 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos acumulados na Barragem de Fundão, atingiram o distrito municipal de Bento Rodrigues e outros 39 municípios (Lopes, 2016). Além das 19 mortes de habitantes, vários animais e uma grande área de vegetação local foi destruída, assim como a história de toda a população local. O derrame de rejeitos atingiu o canal fluvial, percorrendo cerca de 668km até alcançar o litoral do Espírito Santo (Saadi; Campos, 2015).

Um evento mais recente também atingiu o município de Brumadinho, MG no dia 25 de janeiro de 2019, causando 272 mortes de trabalhadores, habitantes locais e a vazão de 12 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos que se encontravam contidos na barragem da Mina Córrego do Feijão, ambos derrames de rejeitos contendo uma quantidade significativa de metais tóxicos (Pereira; Cruz; Guimarães, 2019).

Em análise de parâmetros na água das regiões acometidas por estes crimes ambientais, alguns microelementos (alumínio, ferro, manganês, cádmio, mercúrio e vanádio) aumentaram em 10 vezes sua presença na água local, em especial o alumínio, o ferro e o manganês. Estes valores estão acima do permitido por legislação na água, o que gerou preocupação relativa à saúde da população local (Vergílio *et al*, 2020). Apesar de alguns dos metais de interesse não estarem descritos em laudo técnico como componentes ativos da barragem de Fundão, quando houve o rompimento a velocidade e a força de arraste

fizeram com que os sedimentos dos fundos dos rios fossem revolvidos (Costa, 2001).

A intoxicação de mamíferos por metais pesados pode gerar irritabilidade, insônia, espasmos musculares, fraqueza, diminuição das funções motoras, anemia, náuseas, insuficiência renal, cirrose e outros diversos efeitos adversos em situações agudas ou crônicas, podendo gerar inclusive óbito (Delbono, 2021). A análise técnica a respeito da quantificação de microrganismos no solo da região atingida pelo rompimento da barragem de Fundão demonstrou que houve perda significativa de população microbiana no solo e na água pela influência dos metais no pH e na turbidez (Carneiro, 2018).

Na vegetação, os metais têm capacidade de se acumular em raízes ou se depositar em folhas, causando alterações nas taxas de crescimento, clorose e impactam no transporte de nutrientes (Silva; Vittj; Trevizam, 2007). Além disso, após a lama apresentar estabilidade na região de Bento Rodrigues, o material compactou o solo, tornando-o anaeróbico e criando uma barreira física, impedindo o crescimento radicular (Carneiro, 2018).

No município de Mariana, MG, o desastre ambiental causado pelo rompimento da barragem, não apenas resultou em danos à vida e à saúde humana, à infraestrutura local e à perda da biodiversidade regional, mas também apresentando diminuição da receita municipal pela metade, isso se refletiu na perda de emprego, e na capacidade de oferta de serviços básicos (Souza *et al*, 2021).

Por estas razões e, pela concepção “*ecohealth*” seria fundamental haver um acompanhamento periódico da saúde unificada. Inclusive, para observação, prévia no comportamento neurofisiológico e para antecipação de diagnóstico ou mesmo prognóstico clínicos. Além do acompanhamento da evolução do meio ambiente, visto que ao alterar características naturais as dinâmicas ecológicas podem ser afetadas, em um exemplo, ao ocorrer o rompimento da barragem e a degradação ambiental, muitos habitats foram fragmentados, podendo uma determinada espécie crescer de forma descontrolada por não haver um predador para população-controle. Por fim, também o acompanhamento da qualidade de vida e da logística, para boa manutenção do município.

## **2. Metais inorgânicos**

### **2.1 Ferro**

O ferro é um micronutriente essencial para manutenção da vida por desempenhar funções como a participação ativa nas reações oxidativas, transporte de oxigênio, síntese de DNA e para o funcionamento adequado do organismo, podendo ser adquirido de forma exógena pode ser classificado como heme (orgânico) e não-heme (inorgânico) (Torti *et al*, 2018).

Entretanto, devido à sua capacidade de assumir dois estados de oxidação no organismo biológico ( $Fe^{3+}$  e  $Fe^{2+}$ ), o ferro é um grande produtor de espécies reativas de oxigênio (ROS), causando danos às proteínas, e subsequente a isto, danos aos tecidos e componentes celulares, essencialmente o DNA (Farina *et al*, 2013). A respeito de sua biodisponibilidade, o ferro heme é assimilado de alimentos de origem animal na forma de mioglobina ou hemoglobina, já o ferro não-heme é mais facilmente assimilado em alimentos de origem vegetal. Com foco, na absorção do ferro não-heme sua biodisponibilidade é menor quando comparada a heme e menos solúvel (Lemos *et al*, 2012).

O minério de ferro é o mais explorado no Brasil segundo Lamoso (2001), principalmente em Carajás – Pará e no estado de Minas Gerais, na região do chamado quadrilátero ferrífero, e apesar de não ser um elemento diretamente tóxico, o excesso de ferro é um fator considerável no aumento da chance de o indivíduo desenvolver diferentes tipos de cânceres, além disso, essa sobrecarga induz uma mudança pró-inflamatório nos macrófagos dos organismos expostos, o que aumenta uma resposta inflamatória (Grotto, 2010).

Segundo Roemhild e colaboradores (2021) vários distúrbios neurodegenerativos como Alzheimer e Parkinson também estão altamente ligados a condição de sobrecarga do micronutriente no organismo humano que consegue acumular-se por muito tempo nos tecidos, e uma grande gama de possíveis condições associadas a este metabolismo desequilibrado do ferro, sendo que os primeiros sintomas descritos são, fraqueza, perda de peso evoluindo para possível insuficiência do pâncreas, fígado, coração e tireoide, além de comprometer a absorção do zinco pelo organismo (Lobo; Tramonte, 2004).



Na análise feita pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), houve a detecção de ferro acima dos limites estabelecidos no Rio Paraopeba, acometido por despejo dos rejeitos do rompimento da barragem do Córrego de Feijão na região de Brumadinho, MG (Miranda *et al*, 2021). Em outra análise técnica, visando a observação dos impactos dos metais pesados no solo atingido pelo rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana MG, segundo Silva e colaboradores (2015), a amostra de solo apresentou elevados valores de ferro. Em consonância, um estudo realizou análise em amostras da porção estuária do rio Doce, um ano após o rejeito tê-lo atingido e apresentou valores de ferro superiores às amostras coletadas antes do rompimento, com uma concentração considerada 236 vezes acima do registrado anteriormente (Bastos *et al*, 2017). Além disso, em pesquisa demonstrada por Correia (2022) a lama de rejeito apresentou nível de ferro acima do que o encontrado no solo da região.

Em condições de sobrecarga de ferro, os suínos por exemplo, apresentaram susceptibilidade a infecções, diarreias, redução da taxa de crescimento e redução da taxa metabólica (Pissinin, 2016). Em mesmas condições, um estudo investigou as alterações causadas pelo excesso de ferro em roedores, tendo como resultado a deposição significativa de ferro no tecido aórtico, o que dificultou a oxigenação dos demais tecidos, aumento dos níveis de aspartato aminotransferase (AST) e alanina aminotransferase (ALT), que são biomarcadores da função hepática, aumento do nível de creatinina, que é o principal biomarcador da função renal, sugerindo que tanto o fígado, quanto os rins foram danificados (Song *et al*, 2022).

O ferro compõe cerca de 30 a 60% da barragem de Fundão, apesar do processo de tratamento de minério, visar retirar essa parcela de ferro do rejeito. Contudo existem nos rejeitos resíduos óxidos e hidróxidos de ferro que não foram segregados durante o processo de beneficiamento. Além de, o material particulado ter níveis altos na região circunvizinha das empresas mineradoras (Gomes *et al*, 2011).

O ferro afeta diretamente na saúde vegetal, devido a absorção de ferro pelas raízes, prejudicando o transporte de nutrientes, além disso, o material particulado consegue depositar-se sobre as folhas, bloqueando a função do estômato e diminuindo a área fotossintética, podendo resultar em clorose e

necrose das folhas. Em suma ao avaliar a espécie *Eugenia uniflora*, popularmente conhecida como “pitangueira”, sob nível elevado de ferro, observou-se redução do tamanho, tanto da parte aérea, quanto da raiz, bem como, manchas amarelas nas folhas, lesões necróticas, diminuição da área foliar e escurecimento da raiz (Jucoski, 2011).

Por fim sintomas da toxicidade da sobrecarga de ferro, foram observadas em estudos por Kuki e colaboradores (2019), na qual a espécie *Saphora tomentosa* da restinga apresentou atrofia, manchas avermelhadas e raízes danificadas devido à presença de ferro depositado no solo.

## **2.2 Arsênio**

O arsênio é um elemento inorgânico amplamente distribuído na crosta terrestre e todos os elementos que o contém são considerados tóxicos, até mesmo o arsênio elementar que não possui um grau de toxicidade, ao entrar em contato com o metabolismo do organismo é transformado em produtos tóxicos (Carlin *et al*, 2016). O grau de toxicidade irá depender da conformação e do grau de oxidação, no qual o elemento se encontra. Devido a sua grande toxicidade o arsênio compõe venenos que são usados desde a idade média. E sua contaminação acontece por meio do contato direto do indivíduo com água contaminada, bem como o solo ou alimentos contaminados ou por meio de inalação (Andrade; Rocha., 2016).

No caso de uma longa exposição ao arsênio, que é facilmente absorvido pela célula, pode-se gerar danos crônicos como hiperqueratose, distúrbios no sistema nervoso central e periférico, doenças renais, diabetes, hipertensão, anemias, leucopenias, trombocitopenias, segundo Rodrigues e Malafaia (2008). Além de doenças cardiovasculares e desenvolvimento de câncer, como o de pele e de garganta (Barra *et al*, 2000).

Em experimentos com modelos animais, a exposição ao arsênio pode induzir efeitos neurotóxicos, impactando no nível de neurotransmissores, além de queda da memória espacial, o que indica o sistema nervoso central como principal alvo de sua toxicidade, segundo Thakur e colaboradores (2021). Isso

acontece devido ao cérebro ser vulnerável aos estresses oxidativos, devido à alta demanda e gasto de energia, e a contaminação eleva exponencialmente o estresse oxidativo, pela redução das enzimas antioxidantes (Thakur *et al*, 2021). Como espécies mais susceptíveis à contaminação por arsênio, tem-se os felinos, equinos e bovinos, sendo a principal fonte de exposição a ingestão acidental de alimentos contaminados, e em condições de nível excessivo de arsênio, esses grupos podem apresentar palidez, desidratação, anorexia, e em casos graves óbito (Gonçalves, 2015).

Diante da sobrecarga de arsênio, as raízes das plantas são os tecidos iniciais a serem expostos, comprometendo a taxa de crescimento e reprodução da espécie. Além disso, pode ocorrer redução da ação estomática, comprometendo a absorção de água e aumento da desidratação das folhas. Em alta concentração, o arsênio biodisponível acumulará, principalmente em partes comestíveis, gerando risco maior para o resto da cadeia alimentar (Farnese *et al*, 2014).

Em todas as situações de contaminação, mesmo que em pequenas intensidades, é considerada persistente, onde muitos sintomas agudos e subagudos podem aparecer de forma mais comum como, fraqueza, perda de apetite, anemia, perda de peso, presença de cólica abdominal, náusea e diarreia (Rodrigues; Malafaia, 2021). Em consonância, as populações de Bangladesh e Bengala Ocidental que foram expostas a concentrações de arsênio de até 2000µg/L significando um nível 200 vezes maior do que o valor de referência considerado adequado pela Organização Mundial da Saúde, foram observados altos índices de neuropatias na população (Chowdhury *et al*, 2000).

Na mineração, o arsênio é um subproduto do processo de tratamento de minério, e por ser um elemento altamente volátil, sua dissolução gera o aumento das concentrações no solo e águas superficiais (Pereira *et al*, 2009). Contudo, outras fontes de contaminação devem ser levadas em consideração, tais como resíduos de agricultura e agrotóxicos, resíduos domiciliares, atividade de fundição, indústria farmacêutica e combustão de produtos arsenais, como tintas, conservantes e madeiras (Carabantes, 2004).

Enfatiza-se duas principais fontes de contaminação, sendo a direta que consiste no despejo de uma concentração do elemento sob corpos d'água ou solo, e a indireta que ocorre pela lixiviação do solo (Muniz; Filho 2006). Essa contaminação do solo pode também impactar na vida de organismos edáficos e propiciar a perda da biodiversidade (Alves; Rietzler, 2015).

Altos níveis de arsênio foram detectados perante análise técnica de águas da Bacia do Rio Doce, e estão diretamente associados a atividade mineradora que ocorre na região de Mariana, MG, esses valores encontrados na região foram suficientemente significantes para considerar extremamente danoso a vida de microrganismos aquáticos e possivelmente aos consumidores da água local (Oliveira *et al*, 2021). Em outra análise, amostras coletadas de um dique a montante e outra de um dique a jusante, registraram concentrações de arsênio bem acima do valor máximo permitido (VPM). Em conclusão, em análise de sedimentos do rio Gualaxo do Norte - Mariana MG, foi observado altos níveis de As, gerada pela atividade garimpeira (Carvalho *et al*, 2017).

### **2.3 Selênio**

O selênio é um micronutriente essencial para manutenção do organismo, por ser um importante cofator de enzimas, além de estar envolvido em ciclos bioquímicos como mecanismo imune e biossíntese mitocondrial do ATP (Viaro *et al*, 2001). A principal fonte de selênio dentro do organismo humano, advém da alimentação de carnes, cereais, castanhas e frutos do mar (Gois *et al*, 2020).

O organismo que se encontra em deficiência de selênio, deve ter uma suplementação em sua dieta, pois a falta das concentrações adequadas, tanto em animais, quanto humanos, está relacionada a várias doenças, como degeneração de músculos, doença de Keshan (cardiopatia) e Keshin-Beck (osteoartrite crônica) (Kang *et al*, 2022).

Em contrapartida aos seus benefícios, a intoxicação por altos teores de selênio resulta em condição denominada de selenose, que é caracterizada por sintomas como, queda de cabelo e de unhas, distúrbios gastrointestinais, danos neurológicos e fadiga (Nóbrega, 2015). Contudo, ainda se tem poucos estudos

que apontem verdadeiramente todos os efeitos do excesso do selênio no organismo humano. Em animais de pasto, a contaminação por selênio por meio de alimentação pode desencadear anemia, rigidez, perda do casco, perda de pelos e da vitalidade (Zwolak, 2019). Já nos peixes, a sobrecarga de selênio na água pode gerar deformidades teratogênicas e impactar no desenvolvimento dos ovos, bem como pode gerar deformidades no processo de crescimento larval (Seixas, Kehrig, 2007). Por fim, quando em altas concentrações na vegetação pode causar clorose, devido a degradação dos pigmentos fotossintéticos (Gouveia, 2020).

Um estudo desenvolvido em parceria com a Marinha Brasileira, detectou uma grande concentração de selênio nas águas do estuário Rio Doce, sendo considerada significativa aos riscos generalizados (Fernandes *et al*, 2016). O mesmo resultado também se repetiu, quando analisadas amostras do Rio Paraopeba, onde os níveis de selênio encontrados foram determinados superiores à legislação (Silva *et al*, 2020).

Em 2008 nos Estados Unidos, um caso de intoxicação por altas quantidade de selênio foi descrita por um quiroprático da Flórida, a situação ocorreu logo após ingestão de um suplemento que continha 200 vezes mais selênio do que o permitido legalmente, os indivíduos em questão relataram sintomas como descoloração das unhas, anemia e queda capilar, seguidos por dores musculares, fraqueza muscular, cefaleia, erupção cutânea e sinais de problemas gastrointestinais (Macfarquhar, 2010). Em suma, sua toxicidade dependerá de sua concentração e, principalmente, da forma química biodisponível.

## **2.4 Zinco**

Caracterizado por ser um íon metálico, o zinco é essencial para funções ligadas ao sistema nervoso central, desempenhando também um importante papel fisiológico. A forma de zinco iônico livre é encontrada em diversas áreas do córtex cerebral (Alexandre *et al*, 2012). Ademais, tem atribuição nas reações enzimáticas e de proteínas, fatores de transcrição, manutenção de mecanismo homeostáticos, crescimento celular e estabilidade genômica (Choi *et al*, 2020).

Segundo pesquisas realizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) em amostra de água coletada no lago da Usina de Mascarenhas, abastecido pelo rio Doce, apontou em laudo concentrações de zinco 2,5 vezes maior do que permitido pela legislação (Carvalho *et al*, 2017). E em região média do rio Doce, o elemento zinco foi constatado em quantidades acima do preconizado (Dias *et al*, 2018). Já em Brumadinho, MG no rio Paraopeba houve detecção de altos teores de zinco em análise de amostra coletada, segundo determinação da ANVISA. Dessa forma, o rio Paraopeba na atual situação de elevados níveis de metais tóxicos, foi considerado de alta toxicidade à saúde humana e animal, implicando também em um ambiente favorável ao crescimento de microrganismos patógenos, impactando negativamente na sobrevivência de organismos autóctones (Miranda *et al*, 2021).

Na vegetação, o estresse causado pelo excesso de zinco pode danificar a estrutura das raízes das plantas, o que pode reduzir a absorção de nutrientes e água, atingindo de forma danosa seu crescimento (Wolf *et al*, 2009). Além do que, induz insuficiência fotossintética pela inibição da biossíntese de clorofila e diminuição da assimilação do carbono. Por fim, a contaminação por zinco, impacta nos canais transportadores de elétrons, bem como na absorção e translocação dos nutrientes (Melo, 2016).

Em comparação com outros metais pesados, o zinco não tem capacidade de se acumular no organismo humano e suas concentrações devem ser relativamente mais altas (entre 100-300mg) do que outros metais inorgânicos, o que faz com que suas intoxicações agudas sejam mais raras. Os sintomas da contaminação são caracterizados por vômito, perda de peso, dor epigástrica, diarreia, fadiga, lesões renais e efeitos no sistema imune (Segantini, 1996). Esses efeitos são observados em mamíferos no geral, pois, suínos que se alimentavam de ração com sobrecarga de zinco, obtiveram os sinais clínicos relatados anteriormente (Jungbluth, 2019). Especificamente, em algumas raças de cães o excesso do zinco pode ocasionar dermatose reativa, e nas aves pode acarretar distúrbios gastrointestinais, redução da taxa de crescimento e lesões na moela (Azevedo, 2015).

## 2.5 Mercúrio

O mercúrio tem por característica não ser um metal radioativo, com três formas primárias, sendo elas mercúrio elementar, que é caracterizado pelo estado de oxidação zero e estado líquido em temperatura ambiente (Micaroni *et al*, 2000). A associação mais comum do mercúrio, é o enxofre e sua distribuição de espécies químicas é regulada por processos físicos, químicos e biológicos os quais ocorrem na interface água-sedimento (Lacerda; Malm, 2008).

De maneira antrópica, a mineração e o garimpo, são as maiores fontes de contaminação global, devido a utilização do elemento para identificar e auxiliar na separação de metais valiosos. A contaminação por este elemento químico passa pelo viés ocupacional, onde há inalação do vapor tóxico pelos próprios trabalhadores de minas, até a contaminação a longo prazo, por meio do solo (Weinhouse *et al*, 2020).

Outra questão preocupante é a sua absorção por seres vivos em quadro gestacional, uma vez que, o mercúrio penetra a placenta e pode causar danos neurológicos ao feto, em concentrações bem menores das quais, são consideradas perigosas aos adultos, (Kolipinski *et al*, 2020). Além disso, deve-se atentar a capacidade do Hg, de se bioacumular nos tecidos, gerando uma contaminação mais acentuados em predadores de maiores níveis tróficos (Rabelo, 2016).

A exposição ao mercúrio em altas concentrações acarreta danos principalmente ao sistema neurológico, ao renal e ao gastrointestinal, produzindo uma larga gama de sintomas aos quais incluem dificuldade cognitiva, ataxia, perda auditiva, pneumonia, paralisia muscular, insônia e em casos graves pode levar o organismo exposto à morte (Kolipinski *et al*, 2020). E existem alguns sintomas característicos da intoxicação por mercúrio, sendo eles: irritabilidade, excitabilidade, perda de memória, tremores, gengivite, parestesia e redução do campo visual (Ministério da Saúde, 2021).

Em estudos realizados na região de Bento Rodrigues, distrito de Mariana, MG, e ao longo da Bacia do rio Doce, mostraram alta contaminação por mercúrio, na qual, excedeu o limite das diretrizes de qualidade da água (Faria, 2019), também atestado por análises do Instituto Mineiro de Gestão de Água (IGAM,

2015) que descreveu altos níveis de mercúrio ao longo do rio Doce. Já na região de Brumadinho, MG, foi detectado no rejeito o valor de mercúrio 21 vezes maior do que a permitida pela legislação, e ao longo do Rio Paraopeba que foi intensamente atingido, foi registrado níveis 720 vezes acima do adequado. Inúmeras são as consequências ecológicas, porém, destaca-se um estudo realizado pelo Instituto Butantã em que o mercúrio encontrado na lama de rejeitos, pode causar morte e anomalias nos peixes e em seus embriões, e que mesmo diluída 6.250 vezes foi eficaz o suficiente para provocar efeitos mutagênicos e danos aos peixes do local (Silva *et al*, 2020).

Para a vida aquática, de uma forma ampla, o mercúrio é bastante tóxico, mesmo em baixos níveis e uma gama de eventos adversos (anomalias fisiológicas e bioquímicas) foram descritos em análise feita com Gabriel e colaboradores (2020) em peixes expostos a níveis de mercúrio.

Considerando o grupo dos mamíferos, a superexposição ao mercúrio leva a danos neurais, nos rins, nos pulmões e no coração. E acredita-se que uma vez o organismo esteja intoxicado, nunca se tem uma recuperação completa pelos danos irreversíveis causados as células e órgãos (Muniz, Filho, 2006). Já na vegetação a alta concentração de mercúrio impacta negativamente nas reações fotoquímicas, no transporte de nutrientes, na captação de água via aquaporinas e induz estresse oxidativo (Calgaroto, 2009).

## **2.6 Chumbo**

O chumbo é um metal de ocorrência natural e é considerado o contaminante mais comum encontrado, devido as suas inúmeras aplicabilidades e sua ampla distribuição pela crosta terrestre. É altamente danoso e não degenerativo, e sua principal via de contaminação é por meio de inalação do material particulado ou ingestão de alimento contaminado (Schifer *et al*, 2005).

Considera-se que atualmente, toda a população já está com partículas contaminantes de chumbo em seu organismo, em razão da exposição à muitas fontes exógenas. No entanto, diferentes dos metais citados anteriormente, não



se conhece nenhuma função fisiológica do chumbo dentro do organismo (Moreira; Moreira, 2004).

A contaminação do solo e da água pela presença de chumbo, é observada principalmente quando as plantas cultivadas em solos próximos as indústrias ou mineradoras tem seu crescimento prejudicado (Correia *et al*, 2016). Além disto, observa-se danos na germinação de sementes, no material genético, no sistema radicular e no funcionamento fisiológico da planta (Silva; Santos; Guilherme, 2015).

Após a exposição ao chumbo, o elemento percorre o caminho gastrointestinal, chegando à corrente sanguínea, no qual será distribuído para ambos os tecidos, e as quantidade que se acumulam nos tecidos podem variar a cada órgão (Wang *et al*, 2019). Em virtude da meia-vida longa que o metal possui dentro do organismo, uma grande preocupação se dá pelo fato da exposição as dosagens a longo prazo. O principal alvo quando o elemento é absorvido é o sistema nervoso central e o sistema hematológico, levando a perda de atenção, deficiências cognitivas, anemia, ataxia, o coma e até mesmo em casos graves, o óbito (Souza; Tavares, 2009).

Segundo Moreira, Moreira (2004) também são encontradas grandes concentrações de chumbo nos ossos, uma vez que esse metal tem capacidade de substituir as funções fisiológicas do cálcio. Além disso, também são afetados diretamente os rins e todo funcionamento hematológico, visto que uma descoberta recente descreve anemia em pacientes expostos ao chumbo. No entanto, segundo o Ministério da Saúde, as informações a respeito dos impactos da sobrecarga de chumbo na saúde humana, ainda não foram completamente elucidadas (Rocha; Pezzini; Poeta, 2018).

Esses danos são ainda mais significativos em crianças em desenvolvimento, ocasionando em deficiências neurológicas e comportamentais. Em análise, crianças que residiam em locais com maiores contaminações estão associadas aos piores desempenhos cognitivos. Por fim, naturalmente as crianças que apresentaram maiores níveis de sobrecarga são aquelas que possuíam menor renda familiar e moravam em locais periféricos ou em arredores de indústrias altamente poluidoras (Marshall *et al*, 2021).

Na região de Brumadinho MG, segundo Silva e colaboradores (2020) os parâmetros analisados do chumbo encontravam-se 21 vezes acima do limite referencial regulamentado. Em Mariana, MG, a análise técnica a respeito da qualidade da água local, determinou contaminação superior por chumbo aquelas estabelecidas por lei (GIAIA, 2015).

Apesar do rejeito da barragem de Fundão em Mariana, MG, ser composto por uma concentração de chumbo bastante reduzida, a passagem da lama de rejeitos pode ter suspenso o elemento por meio de arraste do solo quando ocorreu o rompimento, uma vez que o elemento é bastante utilizado na região na agroindústria e na siderurgia (Dias *et al*, 2018).

Um outro problema relacionado a essa contaminação concentra-se nas aves. Segundo Stark e colaboradores (2018), foi observado a presença de chumbo em oito espécies de aves em países da América do Sul e a maior ocorrência das aves contaminadas foi encontrada no Brasil, mesclando entre aves aquáticas e rapinas. Sabe-se que a maioria das aves é bastante sensível as contaminações do ambiente, podendo vir a óbito por doses consideradas irrelevantes ao organismo humano (Filho *et al*, 2014).

Em mamíferos, o efeito do excesso de chumbo resultou em sintomas como anorexia, hipocromia, microcitose, fadiga, depressão, vômito, irritabilidade, nefropatia, cegueira, encefalopatia, perda de peso, perda de fertilidade e até mesmo, levar ao óbito em até 24 horas em uma exposição aguda (Munhoz, 2010). Desse modo, essa sobrecarga afeta todo o equilíbrio ecossistêmico, uma vez que observando a perda de biodiversidade, sucede-se a diminuição da população de presas e predadores, aumento da susceptibilidade à predação e a maior bioacumulação nos predadores de maior ordem na cadeia alimentar.

## **2.7 Manganês**

O manganês é destaque quando se trata de ligas metálicas industriais utilizadas na produção de ferro e aço, além de estar presente em fogos de artifício, tintas e cosméticos. Naturalmente, encontram-se combinados a elementos óxidos, e é amplamente distribuído geologicamente (Alves *et al*,

2008). Apesar de ter papel importante nos organismos vegetais e animais, a sobrecarga no organismo resulta em altos níveis acumulados nos tecidos, principalmente no sistema nervoso central onde, atua gerando um fenômeno denominado de manganismo que é associado a doença de Parkinson, assim como oclusões coronarianas e artrite reumatoide, além de efeitos neurológicos, perda de fertilidade e disfunção do sistema imune, observados tanto em humanos, quanto em mamíferos no geral (Dobson *et al*, 2004).

A contaminação por vias respiratórias pode resultar em pneumonias severas além disso, essa superexposição ocupacional bem como seus sintomas, não se limita a uma faixa etária, podendo crianças serem afetadas na mesma intensidade (Miah *et al*, 2020). Além de tudo, efeitos da sobrecarga observado em grupo de macrófitas aquáticas foram associados a alterações nas paredes celulares, necrose de caule e folhas, queda da capacidade fotossintetizante, diminuição da taxa de crescimento e encarquilhamento de folhas (Foy, 1984). Contudo, informações associadas aos ambientes altamente contaminados por manganês ainda são pouco significativas.

Adicionalmente, outra preocupação considerável é o fato do manganês, assim como outros metais inorgânicos, ter capacidade de percolar por meio do chorume produzido e ao infiltrar no solo, contaminar plantas, animais e o lençol freático, sendo o último de dano imensurável, além de perdurarem por tempo não determinado no meio ambiente (Nascimento; González, 2018).

De acordo com o estudo desenvolvido pelo IGAM, em parceria com a Marinha, também detectou altas concentrações de manganês nas águas do rio Doce, em virtude do desastre ambiental da barragem de Fundão (Marinha Brasileira, 2016). Na região de Brumadinho, MG esse parâmetro de avaliação da sobrecarga de manganês, chegou a ser registrado 26 vezes maior no local, do que o permitido legalmente. Da mesma maneira, em análise do rio Paraopeba que foi intensamente atingido pelos rejeitos da Mina do Córrego do Feijão, o manganês total foi encontrado em valores 7.365 vezes maiores do que o referencial permitido (Silva *et al*, 2020).

Atualmente uma das regiões com maior número de estudos sobre o impacto desse contaminante na biosfera é a Amazônia, devido à grande

atividade mineradora e exploração aurífera. Essa intensa atividade, gera uma progressiva cadeia de eventos catastróficos, começando pelo desmatamento da área vegetal, perda da biodiversidade, despejo de metais pesados no solo e na água afetando organismos aquáticos, terrestres e a população local (Albuquerque, 2020).

## **2.8 Cobre**

No metabolismo, o cobre é um micronutriente essencial que é adquirido por fontes externas como alimentação ou suplementação. As chamadas cuproenzimas que tem como cofator o cobre, auxiliam em importantes etapas da via metabólica como, respiração aeróbica, amidação de peptídeos, biossíntese de catecolaminas, transporte de ferro, biossíntese da matriz celular, entre outros (Lima, 2022).

Além disso, a bioquímica específica do cobre concede que organismos fotossintéticos consigam aproveitar a energia solar para converter em matéria orgânica. Devido a isso, o cobre necessário para manutenção e crescimento de plantas, animais e fungos (Nevitt; Ohrvik; Thiele, 2012). Segundo Barcelos (2008), a contaminação por cobre acontece por ingestão através da alimentação e consumo de água, e considera-se atualmente as maiores concentrações de cobre em órgãos de animais, principalmente fígado, além de frutas secas, cereais e frutos do mar.

No entanto, apesar da contaminação por cobre ter baixa incidência na população geral, os altos teores de cobre possuem toxicidade a saúde humana, associadas principalmente a toxicose idiopática, originando sintomas tais como, gastroenterite, vômitos, diarreias, anúria e anemia, uma vez que o excesso de cobre interfere no metabolismo e transporte de ferro (Bremner, 1998).

Considerando uma ingestão elevada de cobre, episódios agudos são caracterizados por progressão de sintomas gastrointestinais. Contudo, para uma contaminação crônica ainda não se tem estudos clínicos suficientes para determinar todas as suas consequências, ainda sim, uma intoxicação crônica foi descrita em um indivíduo do sexo masculino, adulto, sem alterações genéticas,

causando insuficiência hepática, destacando que a intensidade de intoxicação dependerá de fatores como idade e genética dos indivíduos (Barcelos, 2008).

Solos, alimentos e água contaminada por cobre tem efeitos em diferentes grupos animais, nos ovinos o metal acumula-se no fígado, lesando o tecido hepático e ao cair na corrente sanguínea gera liberação de hemoglobina, causando insuficiência renal e hemólise das células (Ortolani *et al*, 2002). Uma contaminação por cobre em plantas de cobertura, por exemplo, pode influenciar no crescimento da planta, gerar clorose e estresse oxidativo (Chen *et al*, 2008).

Após o rompimento da barragem em uma primeira análise de amostras coletadas da Bacia do rio Doce em três pontos de coleta distintos (na nascente, à montante do dique e a jusante do dique), obteve-se um teor de cobre de (1,115mg/L) sendo esse teor 86 vezes maior que o valor máximo permitido por lei. Nesta mesma análise na nascente da Bacia, o nível de cobre foi (0,062mg/L), sendo 4,8 vezes maior que o valor adequado de referência (Carvalho *et al*, 2017)

## **2.9 Alumínio**

O alumínio é amplamente distribuído no meio ambiente, ocorrendo no estado trivalente de forma natural, como os silicatos, óxidos e hidróxidos. Diversos produtos que possuem alumínio em sua composição estão em uso intensivo, além de diferentes processos associados às atividades antrópicas, principalmente associada à mineração e processamento de minério, queima de carvão, incineração de resíduos e combustão de veículos, que geram material particulado na atmosfera (Igbokwe *et al*, 2019).

Ademais, muitos produtos e alimentos atualmente contêm um alto teor de alumínio na sua composição, como formas lácteas, vacinas, alimentos com aditivos e conservantes, e desodorantes antitranspirantes, o que contribui com a concentração de alumínio na água e no solo, quando descartados de forma incorreta (Cardoso *et al*, 2018).

Devido a essa enorme variedade de produtos com concentração de alumínio, o ser humano acaba ingerindo uma quantidade relevante do metal, que acaba sendo altamente tóxico ao organismo, desenvolvendo sintomas como

náuseas, fadiga, anorexia, constipação, dor abdominal, alterações metabólicas e neurológicas. Atualmente doenças como Alzheimer, autismo, esclerose múltipla e epilepsia também tem ligação com o acúmulo de alumínio no tecido cerebral (Alasfar; Isaifan, 2021).

Em análise de amostras coletadas na Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Governador Valadares, que foi atingido pelo rompimento da barragem de Fundão, o nível de alumínio à montante da captação de água, não atendia os níveis regulamentados por lei. Ainda, de acordo com o IGAM de junho de 2017, altos níveis foram detectados no rio Gualaxo do Norte após o rompimento da barragem, sendo de 103,8mg/L em análise de 2016, esse valor é considerado mil vezes maior que o aceitável (Maia; Pereira, 2017).

Segundo Carvalho e colaboradores (2017) o alumínio foi o metal que apresentou maiores concentrações em todos os pontos de coleta, a montante e a jusante do rompimento. No Rio Paraopeba, atingido pelo rompimento da barragem Córrego do Feijão, as análises de água registraram nível de alumínio dissolvido 10 vezes acima do valor adequado (Polignano; Lemos, 2020). E no rio Paraopeba, amostras coletadas revelaram em análise a elevação do nível de alumínio em 10 vezes mais do que o valor máximo permitido (Vegilio *et al*, 2020). Vale destacar que o aumento de alumínio na água pode causar gosto desagradável.

Considerando os grupos que mais sofrem impactos dessa contaminação, as plantas obtiveram suas raízes afetadas, bloqueio dos mecanismos de transporte de água e nutrientes, alterações citológicas e redução da produtividade dos vegetais, inviabilizando o cultivo (Miguel *et al*, 2010). Também são descritos efeitos nos peixes, como alterações cardiovasculares, reprodutivas, metabólicas e queda da taxa de crescimento, além de alterações estruturais nas brânquias, alteração na regulação iônica e modificações fisiológicas (Ballotin, 2019).

### **3. Objetivo**

#### **3.1 Objetivo geral**

Estruturar uma revisão científica ressaltando as ações de metais inorgânicos associados a atividade mineradora (ferro, zinco, manganês, cobre, chumbo, alumínio, mercúrio e selênio) com viés *ecohealth*.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Avaliar na literatura, como o evento de rompimento das barragens de Fundão e de Brumadinho em Minas Gerais, influenciaram na contaminação do solo e da água.

Identificar na literatura as consequências nas respostas biológicas humanas, bem como, na saúde de diferentes espécies de animais e plantas.

## **4. Metodologia**

### **4.1 Tipo de pesquisa**

O trabalho desenvolvido seguiu os princípios de estudo exploratório, mediante pesquisa bibliográfica, que segundo Gil (2008, p.50) “[...] é desenvolvida a partir de material já elaborado, construído de livros e artigos científicos”. Foram utilizados livros e artigos científicos, retirados da base de dados do Scielo, PubMed Central (PMC) e Science Direct, no período de 1984 até 2022, sendo os artigos e livros internacionais e nacionais, disponíveis online em texto completo. Sendo os seguintes descritores aplicados - metais pesados, rompimento da barragem de Fundão, rompimento Mina do Córrego do Feijão, contaminação por metais inorgânicos, efeitos da intoxicação por ferro, zinco, manganês, alumínio, mercúrio, chumbo, cobre, selênio e arsênio.



## 5. Discussão

Há descrição da presença de altos níveis contaminantes inorgânicos em amostras coletadas do rio Doce e Paraopeba, além de detectado altas concentrações em análises de sedimentos da região onde ocorreu ambos os eventos de rompimento em Minas Gerais, como demonstrados na figura 1 e 2.

Os valores mais significativos foram de ferro, que apresentou uma concentração sendo 236 vezes superior a concentração antes registrada em amostras coletadas do rio Doce (Bastos *et al*, 2017). E o manganês no rio Paraopeba que apresentou valor 7.365 vezes acima do preconizado (Silva *et al*, 2020). Além disso, três espécies de peixes de hábitos alimentares distintos que são pescados e consumidos pela população, o Lambari do rabo amarelo (*Astyanx lacustres*), Cascudo (*Hypostomus luetkeni*) e Lamabari-bocarra (*Oligosarcus argenteus*), coletados ao longo do curso do rio Doce, também apresentaram altas concentrações de ferro no trato intestinal (Duarte, 2022).

Neste contexto, ressalta-se que as comunidades residentes próxima às áreas de mineração, que pescam e consomem os peixes locais, além de exercer a agricultura familiar, podem estar expostos a frentes de contaminação diárias. Portanto a fonte de contaminação aparenta ser realidade não apenas para a população local, mas também para aquelas que compram e consomem estes alimentos (comércio local).

No sistema de saúde, um possível perfil de vulnerabilidade a contaminação poderíamos pensar em grupo majoritariamente composto por mulher, uma vez que estas desprendem maior preocupação em realizar os exames de rotina, sendo maiores as chances de prevenção e tratamento de doenças, em relação a faixa etária seriam crianças até 12 anos, sendo este grupo mais susceptível a diferentes contaminações por metais inorgânicos, quando comparados aos adultos, devido ao comportamento de mãos a boca, sendo mais propensos a ingestão de contaminantes (Galvão, 2022).

Além disso, o derrame de rejeitos impacta na fragmentação de habitats, na extinção de espécies endêmicas, na contaminação das águas, na mortalidade de organismos aquáticos, no assoreamento dos leitos dos rios, no soterramento de nascentes, na destruição de mata ciliar e mata de galeria, na alteração do

fluxo hídrico, na mortandade de fauna, no impacto sobre estuários, no comprometimento do estoque pesqueiro, e conseqüentemente no impacto gerado a todos os níveis ecossistêmicos dos locais atingidos pelos contaminantes de mineradoras.

O rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG, no ano de 2015 e o rompimento da barragem em Brumadinho, MG em 2019, e todos seus efeitos subsequentes os tornam eventos exemplares da necessidade de se preocupar com a visão *ecohealth*, refletindo o quanto a saúde demanda uma interface humana-ambiental, nos seus ambientes naturais e suas relações sociais.

A população de Mariana e Brumadinho, MG sofreu efeitos colaterais mesmo em suas relações como sociedade, devido à queda da economia, diminuição da demanda de empregos, inflação do aluguel das moradias, perda da memória e história local. Além do impacto direto na saúde e da perda irreparável de 291 vidas humanas, somados os dois eventos. Estes eventos levaram a contaminação do solo e água da região em virtude da presença de contaminantes inorgânicos, de acordo com a literatura.

Essas evidências sugerem, portanto, que as atividades de mineração impactam de forma direta e indireta na qualidade de vida, indicando a importância de estudos posteriores para o monitoramento dos níveis dos contaminantes inorgânicos no meio ambiente e essencialmente na saúde, permitindo observação detalhada dos efeitos tóxicos a longo prazo e da realização do tratamento, conscientização sobre a fiscalização dos objetivos sustentáveis propostos pela ONU, principalmente o objetivo 12 que enfatiza a importância de uma gestão mais eficiente dos recursos naturais e da deposição de contaminantes e o objetivo 3 que reitera que a boa saúde é essencial para o desenvolvimento sustentável como um todo e vice versa. Por fim, destacando a relevância de compreender a saúde como única.

FERRO	ZINCO	COBRE	CHUMBO	ARSÊNIO	SELÊNIO	MANGANÊS	MERCÚRIO	ALUMÍNIO
No rio Doce, amostra da porção estuária com valores de ferro 236 vezes acima do limite (Bastos <i>et al</i> , 2017)	Usina Mascarenhas abastecida pelo rio Doce, apontou em laudo, valor de zinco 2,5 vezes maior que o limite de segurança (Carvalho <i>et al</i> , 2017)	Na bacia do rio Doce, em três pontos de coleta, obteve-se valor 86 vezes maior que o valor máximo permitido por lei (Carvalho <i>et al</i> , 2017)	Análise técnica a respeito da qualidade da água local, determinou valores superiores aquelas estabelecidas por lei (GIAIA, 2015)	No rio Doce com altos níveis de arsênio associados a atividade mineradora (Oliveira <i>et al</i> , 2021)	No rio Doce, altas concentrações de selênio foram detectadas nas águas estuárias (Fernandes <i>et al</i> , 2016).	No rio Doce, foi detectado altas concentrações (Marinha Brasileira, IGAM, 2016)	Na bacia do rio Doce com alta contaminação por mercúrio, excedendo o limite das diretrizes da qualidade de água (Faria, 2019)	No rio <u>Gualaxo do Norte</u> , foi encontrado valor considerado mil vezes maior que o aceitável (Maia; Pereira, 2017)
Amostra de solo apresentou altas concentrações de ferro (Silva <i>et al</i> , 2015)				Análise de sedimentos retirados do rio <u>Gualaxo do Norte</u> , foi observado altos níveis de arsênio (Cavalho <i>et al</i> , 2017)				

Figura 1 - Levantamento dos valores dos contaminantes encontrados por análises de água e solo, pós rompimento da barragem de Fundão, Mariana, MG.

FERRO	ZINCO	COBRE	CHUMBO	ARSÊNIO	SELÊNIO	MANGANÊS	MERCÚRIO	ALUMÍNIO
Deteção de Ferro acima dos limites estabelecidos no rio Paraopeba, pela ANVISA (Miranda <i>et al</i> , 2021)	Altos níveis de zinco foram constatados acima do nível preconizado (Miranda <i>et al</i> , 2021).	Em 12 pontos de coleta no rio Paraopeba foi detectado nível 600 vezes acima do permitido (Silva <i>et al</i> , 2020).	Análise técnica do sedimento local, detectou-se valor 21 vezes maior que o valor máximo permitido (Silva <i>et al</i> , 2020)	Valores considerados insatisfatórios foram detectados em análise da margem do rio Paraopeba (Silva <i>et al</i> , 2020).	No rio Paraopeba foi detectado por análise técnica, níveis acima dos estabelecidos (Silva <i>et al</i> , 2020).	No rio Paraopeba foram encontrados valores até 7.365 vezes acima do limite seguro (Silva <i>et al</i> , 2020)	O nível de mercúrio no rio Paraopeba foi 720 vezes acima dos estabelecidos por lei (Silva <i>et al</i> , 2020).	No rio Paraopeba, amostras coletadas demonstraram aumento em até 10 vezes (Vegilio <i>et al</i> , 2020).
		Em coleta de sedimento da região, obteve-se aumento de 10% acima do limite (Silva <i>et al</i> , 2020).					Deteção de mercúrio no sedimento 21 vezes maior que o considerado seguro (Silva <i>et al</i> , 2020).	

Figura 2 - Levantamento dos valores dos contaminantes encontrados por análises de água e solo, pós rompimento da barragem em Brumadinho, MG.

## **6. Conclusão**

Conclui-se com esta revisão que ações políticas locais e mundiais são necessárias para a proteção das populações negligenciadas socialmente que se sujeitam aos impactos deletérios das empresas mineradoras no Brasil. Uma das possíveis ações seria a maior fiscalização e cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs) estabelecido pelas Nações Unidas em 2015, cujos 17 objetivos primam por políticas sustentáveis e pela importância do *onehealth*.

## 7. Referências

Alasfar, R. H.; Isaifan, R. J. Aluminum environmental pollution: the silent killer. **Environmental science and pollution research international**, v. 28, n. 33, p. 44587–44597, 2021.

Albuquerque, F.E.A. **Acumulação de mercúrio e outros elementos específicos áreas de exploração mineral e ecossistemas em ecossistemas na região Oeste do Estado do Pará.** (Tese). Universidade Federal do Oeste do Pará, 2020. Disponível em <<https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/355>> Acesso em 05 de maio 2022.

Alexandre, J.R. *et al.* Zinc and iron: micronutrientes to soil contaminants. **Natureza on line** 10 (1): 23-28. 2012. Disponível em <<https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/defesa/artigos/zinco%20e%20ferro%20de%20micronutrientes%20a%20contaminantes%20do%20solo.pdf>> Acesso em 17 de agosto de 2023.

Alves, R.H; Rietzler, A.C Efeitos tóxicos de arsênio em *Eisenia andrei* em exposição a solos do Entorno de Minerações de ouro. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 3, pág. 682-691, 2015.

Andrade, D.F; Rocha, M.S.D. A toxicidade do arsênio e sua natureza. **Revista Acadêmica Faculdades Oswaldo Cruz**. ano 3, n.10 abril-junho 2016.

Barcelos, T.D.J. **Cobre: Vital ou prejudicial?** (Tese). Universidade da Beira do Interior. 2008. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10400.6/747>> Acesso em: 12 de junho de 2023.

Barra, C.M. *et al.* Especificação de Arsênio - Uma revisão. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 58-70, fev. 2000.

Bastos, A.C.B *et al.* **Monitoramento da Influência da Pluma do Rio Doce após rompimento da Barragem de Rejeitos em Mariana/MG – novembro de 2015: Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. Disponível em: < <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/relatorio-consolidado-ufes-rio-doce-pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

Bremner, I. Manifestations of copper excess, **American Journal of Clinical Nutrition**, Vol. 67, pp.1069S-73S. 1998.

Calgaroto, N.S. **Efeitos fisiológicos do mercúrio em plantas de *Pfaffia glomerata*** (Tese)– Universidade Federal de Santa Maria, 2009. Disponível em <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/4995>> Acesso em: 11 de junho de 2023.

Carabantes, A.L.G. **Contaminação do ambiente com arsênio e seus efeitos na saúde humana: uma revisão** (Tese). - Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9141/tde-29012015-152354/>>. Acesso em 28 maio 2022.

Cardoso, J.G.R. *et al.* A indústria do alumínio: estrutura e tendências. **BNDES**, 33, p. 43-88. 2018.

Carlin, D.J. *et al.* Arsenic and Environmental Health: State of the Science and Future Research Opportunities. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 7, p. 890-899, julho, 2016.

Carneiro, G. S. G. **Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG** (Tese). Universidade Federal de Uberlândia. 2018. Disponível em <  
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22203/3/EstudoCausasImpacto.pdf>> Acesso em 12 de agosto de 2023.

Carneiro, L.A; Pettan-Brewer, C. One health conceito, história e questões relacionadas – revisão e reflexão: In: Pesquisa em Saúde & Ambiente na Amazônia: perspectivas para sustentabilidade humana e ambiental na região. **Editora Científica Digital**, 2020. p. 219-240.

Carvalho, M. S. DE *et al.* Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 37, 2017.

Chen, W. *et al.* Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. **Physiologia Plantarum**, v. 132, n. 1, p. 89-101, janeiro, 2008.

Choi, S. *et al.* Zinc in the Brain: Friend or Foe? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 23, p. 8941, 25 novembro, 2020.

Chowdhury, U.K. *et al.* Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. **Environ Health Perspect**, v.108, n.5, p. 393-7, 2000.

Correia, A.O.A. **Avaliação do impacto socioambiental e análise da contaminação no rio doce após o acidente de Mariana – MG.** (Tese). Universidade do Oeste Paulista. Disponível em <  
<http://bdtd.unoeste.br:8080/tede/bitstream/jspui/1446/5/ALESSANDRA%20CO>> Acesso em 12 de agosto de 2023.

Correia, L. O. *et al.* Bioacumulação de chumbo em plantas de cenoura (*Daucus carota*) e seus efeitos na saúde humana. **Gaia scientia**, v. 10, n. 4, p. 301–318, 2016.

Costa A.T. 2001. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do rio Gualaxo do Norte, leste – sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral.** (Tese). Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <  
<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3242> > Acesso em 17 de agosto de 2023.

Delbono, B. Os desastres de Mariana e Brumadinho e o comprometimento das metas do objetivo de desenvolvimento sustentável voltado a saúde de qualidade e bem-estar de todos. **j2**, p. 073-091, 30 junho, 2021.

Dias, C.A. *et al.* Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. **Revista espinhaço** v7 (1): 21-35, 2018.

Dobson, A. W. Erikson, K. M.; Aschner, M. Manganese neurotoxicity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1012, n. 1, p. 115–128, 2004.

Faria, M. P. Superintendência regional do trabalho em Minas Gerais. Mariana e Brumadinho: a repercussão dos desastres do setor de mineração na saúde ambiental. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 17, n. s1, p. 16–17, 2019.

Farina, M. *et al.* Metals, oxidative stress and neurodegeneration: A focus on iron, manganese and mercury. **Neurochemistry International**, v. 62, n. 5, p. 575-594, abril, 2013.

Farnese, F.S. *et al.* Uptake arsenic by plants: effects on mineral nutrition, growth and antioxidant capacity. **Idesia** (Arica) 32, 99–106, 2014.

Fernandes, G.W. *et al.* Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, julho, 2016.

Filho, J.F.A. *et al.* Avaliação de resíduos de metais pesados em tecidos de aves e suínos. **Arquivo brasileiro de medicina veterinária e zootecnia**, 66(2), 471–480 2014.

Foy, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In Adams, F. (Ed.), *Soil Acidity and Liming*, second ed. ASA-CSSA-SSA, WI, USA, **Agronomy Monograph**, No.12. pp.57-97, 1984.

Gabriel, F.A. *et al.* Contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. **PeerJ – Life e Environment**. 8(e10266), e10266. Disponível em <<https://peerj.com/articles/10266/>> Acesso em 17 de agosto de 2023.

Galvão, A.C.A. **Índices de poluição do solo por metais pesados e riscos ecológicos e a saúde humana em lixão semiárido**. (Tese) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46094/1/Indicesdepoluicao\\_Galvao\\_2022.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46094/1/Indicesdepoluicao_Galvao_2022.pdf)> Acesso em: 24 de julho de 2023.

GIAIA – Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental. **Relatório de expedição rio Doce**. 2015. Disponível em <[http://giaia.eco.br/wpcontent/uploads/2015/12/Resultados-11\\_12-Agua-GIAIA.pdf](http://giaia.eco.br/wpcontent/uploads/2015/12/Resultados-11_12-Agua-GIAIA.pdf)> Acesso em: 30 de maio 2022.

Gil, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: **Atlas**, 2008.

Gois, B. B. *et al.* Suplementação e alimentação adequada no contexto atual da pandemia causada pela covid-19. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, 7(Especial-3), 89–96. 2020.

Gomes, M.A. *et al.* Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 2, p. 233-236, junho, 2011.

Gonçalves, M. A. **Aspectos clinicopatológicos da intoxicação por arsênio em bovinos.** (Tese) - Instituto Federal do Rio Grande do Sul. 2015 Disponível em < <http://hdl.handle.net/10183/133182>> Acesso em: 09 de junho de 2023.

Gouveia, G.C.C. **Caracterização de sintomas fitotóxicos de selênio e biofortificação agrônômica com Se e Zn em arroz de terras altas.** 2020. (Tese) – Universidade Estadual Paulista, 2020. Disponível em <<http://hdl.handle.net/11449/202366>> Acesso em: 11 de junho de 2023.

Grotto, H. Z. W. Fisiologia e metabolismo do ferro. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, 32, 08–17. 2010.

Grotto,H.Z.W. Diagnóstico laboratorial da deficiência de ferro. **Rev. Bras. Hematol.** Hemoter;32(Supl. 2):22-28. 2010

Igbokwe, I. O. *et al.* Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. **Interdisciplinary Toxicology**. 2019; Vol. 12(2): 45–70. 2019.

Jucoski, G. O. **Iron toxicity and oxidative metabolism in *Eugenia uniflora* L.** (Tese) - Universidade Federal de Viçosa, 2011. Disponível em <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/987>> Acesso em: 09 de junho 2023.

Jungbluth, C. **Surto de osteoporose em suínos.** Disponível em: <[https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/207935/Resumo\\_62864.pdf?sequence=1](https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/207935/Resumo_62864.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 5 jun. 2022.

Kang, X. *et al.* The Status of Selenium and Zinc in the Urine of Children From Endemic Areas of Kashin-Beck Disease Over Three Consecutive Years. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 8 abril, 2022.

Kolipinski, M. *et al.* Sources and toxicity of mercury in the San Francisco Bay Area, spanning California and beyond. **Journal of environmental and public health**, v. 2020, p. 8184614, 2020.

Kuki K.N; Oliva M.A; Costa A.C. The simulated effects of iron dust and acidity during the early stages of establishment of two coastal plant Species. **Water Air Soil Pollution** 196: 287–295. 2009.

Lacerda, L.D; Malm, O. Mercury Contamination in Aquatic Ecosystems: an Analysis of the Critical Areas. **Estudos avançados**. 22 (63), 2008. Disponível em < <https://www.scielo.br/j/ea/a/vthNd8dXPhDfT73TQV3kPYJ/?format=pdf&lan> > Acesso em 17 de agosto de 2023.

Lamoso, L. P. **A geografia econômica da exploração de minério de ferro no Brasil.** **Boletim Gaúcho de Geografia**, 27: 128-138, dezembro, 2001.

Lemos, S. B. *et al.* Biodisponibilidade de ferro e a anemia ferropriva na infância: revisão sistemática. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 16, n. 4, 2012.

Lessa, I. Níveis séricos de creatinina: hipercreatininemia em segmento da população adulta de Salvador, Brasil. **Rev. Bras. Epidemiol.** Vol. 7, Nº 2, 2004

Lima, J.F.S. **Uso do cobre no preparo de alimentos e sua importância para a saúde humana.** (Tese). Universidade Federal da Paraíba. 2022. Disponível



em

<<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/24345/1/JFSL15062022.pdf>> Acesso em 17 de agosto de 2023.

Lobo, A.S; Tramonte, V.L.C Efeitos da suplementação e da fortificação de alimentos sobre a biodisponibilidade de minerais. **Revista de Nutrição**. v. 17, n. 1, pág. 107-113, 2004.

Lopes, L.M.N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1, 14 Julho, 2016.

Macfarquhar, J. K. Acute Selenium Toxicity Associated With a Dietary Supplement. **Archives of Internal Medicine**, v. 170, n. 3, p. 256, 8 fevereiro, 2010.

Maia, L.C; Pereira, A.R. **Impactos no abastecimento de água decorrentes do rompimento da barragem de fundão: estudo de caso de Governador Valadares** – Congresso Abes, Fenasan, pp.1-6, 2017.

Marinha Brasileira, 2016. **Relatório de levantamento hidroceanográfico da Marinha do Brasil**, Navio de pesquisa hidroceanográfico “Vital de Oliveita”, disponível em <[agenciabrasil2013/files/files/Levantamento Ambiental Marinha.pdf](#)> Acesso em: 30 de maio de 2022

Marshall, A. T. *et al.* Risk of lead exposure, subcortical brain structure, and cognition in a large cohort of 9- to 10-year-old children. **PloS one**, v. 16, n. 10, p. e0258469, 2021.

Melo, G. W. B *et al.* Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras. Bento Gonçalves, RS: **Embrapa uva e vinho**, p. 91-110, 2016.

Miah, M. R. *et al.* The effects of manganese overexposure on brain health. **Neurochemistry international**, v. 135, n. 104688, p. 104688, 2020.

Micaroni, R.C.C.M. *et al.* **Compostos de mercúrio. revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/vKLKy7qPxZnKfKhY83FbLTq/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 maio. 2022.

Miguel, P.S.B *et al.* Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos – **Revista CES**, Juiz de Fora, v. 24. 2010

Ministério da saúde. **Cartilha – Intoxicação por mercúrio**. Disponível em <[https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/cartilhas/2021/cartilha\\_notificacao\\_mercurio\\_11\\_2021-subir.pdf/view](https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/cartilhas/2021/cartilha_notificacao_mercurio_11_2021-subir.pdf/view)> Acesso dia 28 de junho de 2023.

Miranda, D. M. DE *et al.* Impactos físicos e psicológicos na população de Brumadinho após rompimento da barragem de rejeitos. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 31, 2021.

Moreira, F. R.; Moreira, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciência & saúde coletiva**, v. 9, n. 1, p. 167–181, 2004.

Munhoz, P.M. **Monitoramento ambiental em região contaminada por chumbo**. 2010. 107 f. (Tese) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101274>> Acesso em 11 de junho de 2023.

Muniz, D.H.F., Filho, E.C.O., Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitárias Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006

Nascimento, T.F.V.O.; González, F.G. Impactos do manganês na saúde pública. **Revista Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, v. 11, n. 3, 2018.

Nevitt, T.; Ohrvik, H.; Thiele, DJ, Charting the travels of copper in eukaryotes from yeast to mammals. **Biochimica et biophysica acta**, v. 1823, n. 9, p. 1580–1593, 2012.

Nóbrega, P.T. **Selênio e a importância para o organismo humano - benefícios e controvérsias**. (Tese) – Universidade Fernando Pessoa, 2015. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10284/5418>> Acesso em: 11 de junho de 2023.

Oliveira, F.E.C; Muniz, D. H.F. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitárias Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1, p. 83-100, 29 abril. 2008.

Oliveira, L. L. F. *et al.* Efeitos tóxicos à saúde humana e ao ambiente causados pelo derramamento de rejeitos de minério da barragem de fundão. **Journal of Health & Biological Sciences**, v. 9, n. 1, p. 1, 2021.

Organização das Nações Unidas, Brasil. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> > Acesso em 17 de agosto de 2023.

Ortolani, E.L. *et al.* Macro e microelementos. **Farmacologia aplicada à Medicina Veterinária**, p.641-651, 2002.

Pereira, L.F.; Cruz, G. B.; Guimarães, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 122-129, 19 fevereiro, 2019.

Pereira, S. F. P. *et al.* Determinação espectrofotométrica do arsênio em solo da cidade de Santana-AP usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado. **Acta amazônica**, 39(4), 953–960. 2009.

Pissinin, D.; Ferro para leitões: uma revisão de literatura. **Nutritime revista eletrônica on-line**, Viçosa, v.13, n.6, p.4874-4882, novembro/dezembro, 2016.

Polignano, M. V.; Lemos, R. S. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. **Ciência e Cultura**, v. 72, n. 2, p. 37–43, 2020.

Rabelo, R. DE S. **Toxicidade do mercúrio e seus efeitos neurodegenerativos**. (Tese) - Instituto Superior de Ciências da Saúde, Egas

Moniz. 2016. Disponível em < <http://hdl.handle.net/10400.26/17579> > Acesso em: 30 de maio 2022.

Reidler, N.M.V.L.; Günther, W.M.R. **Impactos sanitários e ambientais devido aos resíduos gerados por pilhas e baterias usadas**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental. 2002.

Rocha, R.; Pezzini, M. F.; Poeta, J. Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional. **Ciência em Movimento**, v. 19, n. 39, p. 23, 2018.

Rodrigues, A. S. L.; Malafaia, G. – **Efeitos da Exposição ao Arsênio na Saúde Humana. Minas Gerais, Ver. Saúde**. (Tese). 2008. Disponível em: < <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CEcQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.uesb.br%2Frevista%2Fpsc%2Fv4%2Fv4n2a06.pdf&ei=Yr7fUpY0NpbKsQT6rYDICg&usg=AFQjCNG24z0nOzNNsD-nOGwDXGJOM1Encw> > Acesso em: 17 de agosto, 2023.

Roemhild, K. *et al.* Iron metabolism: pathophysiology and pharmacology. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 42, n. 8, p. 640-656, agosto. 2021.

Saadi, A.; Campos, J. C. F. Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequência da ruptura da Barragem de Fundão. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**. v. 24. n.1/2, 2015.

Sarker, A., *et al.* Heavy metals contamination and associated health risks in food webs a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 3, p. 3230-3245, 5 novembro, 2021.

Schifer, T.S. *et al.* Aspectos toxicológicos do Chumbo. **Infarma**, v.17, nº 5/6, 2005

Segantini, E. **Aspectos toxicológicos da contaminação por metais pesados no ser humano**. Disponível em: <[https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v8n5/v8n5\\_artigo4.pdf](https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v8n5/v8n5_artigo4.pdf)>. Acesso em: 30 maio. 2022.

Seixas, T.G.; Kehrig, H.A. O selênio no meio ambiente. **Ecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 264-276, 2007.

Silva, D.L *et al.* O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico** v. 24, n. 1/2, 2015

Silva, E.; Santos, P., Guilherme. M. DE F S. Lead, in plants: A brief review of its effects, mechanisms toxicological and remediation. **Agrarian Academy**, v. 2, n. 3, p. 1–20, 2015.

Silva, G. A. DA; Boava, D. L. T.; Macedo, F. M. F. Refugiados de Bento Rodrigues: o desastre de Mariana, MG. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 11, n. 2, p. 63, 2017.

Silva, M. A. DA *et al.* Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho. **Ciência e cultura**, v. 72, n. 2, p. 21–28, 2020.

Silva, M. L.S.; Vitti, GC; Trevizam, AR. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, pág. 527–535, 2007.

Song, Y. *et al.* Iron overload impairs renal function and is associated with vascular calcification in rat aorta. *Biometals: an International journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, v. 35, n. 6, p. 1325–1339, 2022.

Souza, A. P. F; *et al.* **Rompimento da Barragem de Fundão: Estimativas da Perda Acumulada do PIB para os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo — Recuperação Econômica do Desastre em 2028**. Projeto rio Doce. Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2021. Disponível em < [https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/2022-1/fgv\\_recuperacao-economica-do-desastre-em-2028.pdf](https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/2022-1/fgv_recuperacao-economica-do-desastre-em-2028.pdf) > Acesso em 17 de agosto de 2023.

Souza, A.M; Tavares, C.F.F. Lead and anemia. **Revista de Ciência da Informação e Documentação**. v. 42, n. 3, p. 337-340, 2009.

Stark, A. A. P. *et al.* Intoxicação por chumbo: conflitos ambientais na América do Sul e perspectiva sob a conservação de aves silvestres. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e42510212701, 2021.

Thakur, M. *et al.* Molecular Mechanism of Arsenic-Induced Neurotoxicity including Neuronal Dysfunctions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 18, p. 10077, 17 setembro, 2021.

Torti, S.V. *et al.* Iron and Cancer. **Annual Review of Nutrition**, v. 38, n. 1, p. 97-125, 21 agosto, 2018.

Valadão, L. Abordagem prática de pesquisa em ecossáude: teoria, métodos e aplicações. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 9, 21 setembro, 2018.

Vergilio, C.S. *et al.* Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 3 abril, 2020.

Viaro, R.S. *et al.* The biochemical importance of selenium to the human organism. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciên. Biol. e da Saúde, Santa Maria, v.2, n.1, p.17-21, 2001.

Wang, M. *et al.* Dietary lead exposure and associated health risks in Guangzhou, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 8, p. 1417, 2019.

Weinhouse, C. *et al.* A population-based mercury exposure assessment near an artisanal and small-scale gold mining site in the Peruvian Amazon. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, v. 31, n. 1, p. 126–136, 2020.

Wolff, G. *et al.* Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p.133-137, 2009.

World Health Organization. **Exposição ao mercúrio: um grave problema de saúde pública**, segunda edição. Geneva. 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/pt/publications/i/item/9789240023567>>. Acesso em: 30 de maio 2022.

Zwolak, I. The Role of Selenium in Arsenic and Cadmium Toxicity: an Updated **Review of Scientific Literature**. **Biological Trace Element Research**, v. 193, n. 1, p. 44-63, 15 março, 2019.