



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO

Escola de Farmácia



JOSIELDA GOMES PEREIRA

**LEVANTAMENTO DOS NÍVEIS DE METAIS PESADOS
EM ÁGUAS BRASILEIRAS – UMA VISÃO TOXICOLÓGICA**

OURO PRETO

AGOSTO DE 2021

JOSIELDA GOMES PEREIRA

**LEVANTAMENTO DOS NÍVEIS DE METAIS PESADOS EM ÁGUAS
BRASILEIRAS – UMA VISÃO TOXICOLÓGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
da Escola de Farmácia da Universidade
Federal de Ouro Preto como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em
Farmácia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Camila
Machado Carrião Garcia

OURO PRETO

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P436l Pereira, Josiêlda Gomes .
Levantamentos dos níveis de metais pesados em águas brasileiras
[manuscrito]: uma visão toxicológica. / Josiêlda Gomes Pereira. - 2021.
65 f.: il.: tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Machado Carrião Garcia.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Farmácia. Graduação em Farmácia .

1. Mineração. 2. Metais pesados. 3. Água - Contaminação. 4. Água-
Qualidade. 5. Toxicologia. I. Garcia, Camila Machado Carrião. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 54

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Josieda Gomes Pereira

Levantamento dos níveis de metais pesados em águas brasileiras - uma visão toxicológica

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Farmácia

Aprovada em 02 de setembro de 2021

Membros da banca

Dra. Camila Carrião Machado Garcia - Orientadora - Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Angélica Bianchini Sanchez - Programa de Pós Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Carolina Souza Andrade Licio - Instituto Federal Sul de Minas

Camila Carrião Machado Garcia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27 de Outubro de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Camila Carrião Machado Garcia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/10/2021, às 18:05, 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, informando o código verificador **0238370** e o código CRC **636A3168**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.011397/2021-95

SEI nº 0238370

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: 3135591672 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

A realização dessa conquista só foi possível devido à valiosa contribuição de diversas pessoas, como dizia Guimarães Rosa — **“É junto dos bão que a gente fica mió”**. Portanto, agradeço:

À Universidade Federal de Ouro Preto, em especial à gloriosa Escola de Farmácia por me proporcionar os mais diversos sentimentos, foram algumas lágrimas, muitos sorrisos, alegrias, aprendizado, conquistas e muito desespero e estresse, mas com certeza deixará saudade.

Agradeço aos tantos professores que tive, por servirem como referência para a minha formação: Tânia S., Thiago B., Renata N., Vanessa C. e Nancy B., levarei todos sempre no meu coração, é difícil agradecer em palavras tanta gratidão pelos ensinamentos.

A minha orientadora Camila Carrião, pela atenção, orientação e por todas as trocas de conhecimento ao longo da graduação. — **“Se eu vi mais longe foi por estar nos ombros de gigante”**. (Isaac Newton)

Aos meus amigos que me proporcionaram momentos inesquecíveis e extremamente preciosos: Paulo, Paula, Matheus, Marcelo, Vane, Iza, Luiza, Karol e Camila. Sinto saudades de vocês todos os dias.

Aos meus avós e pai Francisco e Antônia, por todo apoio, amor e por me darem condições de chegar até aqui.

Ao meu esposo e melhor amigo Alan, pela paciência, carinho, dedicação e amor, você também faz parte dessa conquista. Gratidão por caminhar comigo todos os dias e não me deixar desanimar. Amo você!

Aos amigos dos laboratórios LabGIBA e LabDNA, pelos 5 anos de aprendizado e companheirismo, obrigado por compartilhar sabedoria e ensinar-me a perseverar na busca de conhecimentos e a chegar até aqui.

Ao #somostodosrôbos, Camila, Natália, Thales, Mônica e Keila (in memoriam). Gratidão pela acolhida em Ouro Preto e companheirismo todos esses anos. Amo vocês

Por fim, a banca examinadora pela disponibilidade e contribuições com o trabalho

RESUMO

A mineração é uma prática antiga, sendo essencial para a base econômica mundial. No entanto, essa prática gera muitos danos ao meio ambiente, aos animais e vegetais, seja pela crescente degradação de áreas naturais, pela poluição da água e do ar ou até mesmo pela geração de resíduos, que possuem muitos metais tóxicos. Sendo eles depositados, muitas vezes, em locais inapropriados e sem o tratamento adequado. O Brasil é uma das reservas mais importantes de minérios do mundo, realizando extração de vários minérios como Ferro (Fe), Ouro (Au), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Alumínio (Al) e Chumbo (Pb). Sendo o Estado de Minas Gerais e Pará um dos maiores produtores. Com isso, este trabalho tem como objetivo, realizar uma busca na literatura de dados sobre a presença e concentrações dos metais Pb, Cd, Cu, Mn, Ni, Zn, Fe, Al e Hg acima dos limites estabelecidos pela CONAMA nº357/2005 em água. Para isto, foi utilizado algumas bases de dados como Pubmed, Google Scholar, Scielo, dentre outros. Os dados obtidos pela literatura, foram selecionados, tendo como pré-requisito concentrações acima dos valores máximos permitidos pela legislação. Os mesmos, foram compilados em tabelas a fim de discutir seus efeitos toxicológicos para população e meio ambiente. Dessa forma, os dados apresentados são preocupantes, uma vez que foram encontrados na literatura níveis acima dos regulamentos para todos os metais estudados e em muitas localidades. Com isso, a partir de todo conhecimento acerca das consequências da exposição aguda e crônica para os seres vivos, medidas a fim de monitorar os níveis de metais das águas e controle desses impactos socio-ambientais são necessárias e urgentes.

Palavras-chaves: Mineração, Contaminação de água, Metais pesados.

ABSTRACT

Mining is an ancient practice, being essential to the world's economic base. However, this practice generates several damages to the environment, animals, and plants, either by the increasing degradation of natural areas, water, and air pollution or even by the generation of residues, which contain many toxic metals. They are often deposited in inappropriate places and without proper treatment. Brazil is one of the most important reserves of minerals in the world, extracting various ores such as Iron (Fe), Gold (Au), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Copper (Cu), Aluminum (Al), and Lead (Pb). Being the state of Minas Gerais and Pará one of the biggest producers. Thus, this work aims to perform a review for published data focusing on the presence and concentrations of metals Pb, Cd, Cu, Mn, Ni, Zn, Fe, Al, and Hg above the limits established by CONAMA nº357/2005 in water. For this, we used some databases such as Pubmed, Google Scholar, Scielo, among others. The data obtained from the literature were selected, having as a prerequisite concentrations above the maximum values allowed by legislation. They were compiled into tables to discuss their toxicological effects on the population and the environment. Thus, the data presented are worrisome, since levels above the regulations were found in the literature for all metals studied and in many locations. Thus, based on all knowledge about the consequences of acute and chronic exposure to living beings, measures to monitor the levels of metals in the waters, and control these socio-environmental impacts are necessary and urgent.

Keywords: Mining, Contamination, Heavy metals, water, toxicology

LISTA DE TABELA

Tabela 01: Valores de metais pesados permitidos para as classes 1 e 2. Resolução nº357/2005 do CONAMA. 28

Tabela 02: Valores encontrados para Chumbo (Pb) (mg/L).....28

Tabela 03: Valores encontrados para Cádmio (Cd) (mg/L).....31

Tabela 04: Valores encontrados para Cobre (Cu) (mg/L)33

Tabela 05: Valores encontrados para Alumínio (Al) (mg/L).35

Tabela 06: Valores encontrados para Manganês (Mn) (mg/L).....37

Tabela 07: Valores encontrados para Zinco (Zn) (mg/L).....39

Tabela 08: Valores encontrados para Ferro (Fe) (mg/L)41

Tabela 09: Valores encontrados para Níquel (Ni) (mg/L).....42

Tabela 10: Valores encontrados para Mercúrio (Hg) (mg/L) 44

LISTA DE FIGURA

Figura 1:Esquema de busca por periódicos, através de palavras chaves.....32

Figura 2: Mapa do Brasil, destacando as regiões com contaminação da água por metais.....55

LISTA DE ABREVIATURAS

Ag - Prata

Al –Alumínio

ANM - Agência Nacional de Mineração

As – Arsênio

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cd - Cádmio

Co - Cobalto

Cr – Crômio

Cu – Cobre

Fe - Ferro

Au - Ouro

Hg - Mercúrio

Mn – Manganês

Ni – Níquel

Pb - Chumbo

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

MG – Minas Gerais

Zn– Zinco

CLs 50 - Concentração letal média

CRI - Categoria de Risco

DPA - Dano Potencial Associado

VMP - Valores Máximos Permitidos

mg Miligrama

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 METAIS	14
2.2 METAIS PESADOS.....	14
2.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE	15
2.4 LEGISLAÇÃO.....	16
2.5 TOXICOLOGIA.....	19
2.6 MERCÚRIO (Hg)	21
2.7 ALUMÍNIO (Al).....	23
2.8 CHUMBO (Pb).....	24
2.9 FERRO (Fe).....	25
2.10 MANGANÊS (Mn).....	27
2.11 COBRE (Cu).....	28
2.12 ZINCO (Zn).....	29
2.13 NÍQUEL(Ni).....	30
2.14 CÁDMIO (Cd)	31
3. JUSTIFICATIVA.....	34
4. OBJETIVO.....	35
4.1 OBJETIVO GERAL.....	35
4.2 . OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
5. METODOLOGIA	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
- CHUMBO (Pb).....	38

- CÁDMIO (Cd)	40
- COBRE (Cu).....	43
- ALUMÍNIO (Al).....	44
- MANGANÊS (Mn).....	46
- ZINCO (Zn).....	48
- FERRO (FE).....	49
- NÍQUEL (Ni)	51
- MERCÚRIO (Hg)	52
- MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS EM ÁGUA NO BRASIL.....	54
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
8. REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para todos os seres vivos, por isso é muito importante o controle de qualidade de água, para que seja possível identificar os impactos ambientais decorrente das ações antrópicas. Com isso, a medida que há um crescimento demográfico, socioeconômico e industrial, existe também uma progressão na degradação do meio ambiente, que inclui a poluição das águas oriundos dos fatores antrópicos. A partir da poluição da água, sua qualidade e quantidade diminuem, impactando na vida dos seres aquáticos e também da população em geral. Como é de conhecimento que, água é de suma importância para o consumo doméstico, industrial e agrícola. Contudo a diminuição de sua quantidade e qualidade, causam impactos diretos na economia e na qualidade da vida dos indivíduos (JAKUBOSKI *et al.*, 2014).

Um dos fatores antrópicos que impactam negativamente na qualidade da água é a atividade das mineradoras, que em escala industrial ou artesanal, promovem a contaminação da água por metais pesados (DE FREITAS MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006) No mundo, a extração de minérios é uma atividade que movimenta grande volume de capital e no Brasil, a mineração de alguns metais como: Ferro (Fe), Ouro (Au), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Alumínio (Al) e Chumbo (Pb), é expressiva tanto em volume de capital empregado, como na quantidade de minério extraído e beneficiado. No entanto, a atividade gera grandes quantidades de rejeitos, que consistem como uma das principais formas de contaminação da água e do solo por metais pesados. Dessa forma, o acúmulo desses rejeitos no solo e posteriormente nos rios e lagos próximos aos locais de mineração, podem alterar o ambiente aquático e intoxicar os indivíduos (GUILHERME *et al.*, 2005).

Portanto, é possível verificar que há contaminação por metais nos corpos hídricos de diversas regiões no Brasil e através das buscas na literatura, podemos observar que a principal região é a de Minas Gerais. Isto é possível através de programas de monitoramento da qualidade da água, que estão sendo realizados ao longo dos anos por diversos órgãos ambientais, como os realizados pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas; pelo IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; pela ANA - Agência Nacional de Águas, além de pesquisas e acompanhamentos realizados pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, além de diversos periódicos presentes na literatura ao longo dos anos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 METAIS

Os minérios são um agregado de minerais rico em um determinado mineral ou elemento químico que é economicamente e tecnologicamente viável para extração. Como o cobre, que acontece naturalmente em algumas categorias de rochas, mas só é possível tornar-se um minério quando se concentra em quantidades elevadas e é possível de ser extraído da natureza (VALE, 2018). Já os metais são elementos extraídos de alguns minérios encontrados em solos e rochas — o ferro e o cobre são extraídos dos minérios já na forma adequada para serem utilizados. Porém, o aço e o bronze, por exemplo, precisam ser associados a outras substâncias. Sendo os metais separados em dois grupos: os ferrosos nos quais são compostos por ferro, como ferro e aço. Os não-ferrosos, como alumínio, cobre e metais pesados como: chumbo, níquel, zinco, mercúrio dentre outros (VALE, 2018).

2.2 METAIS PESADOS

A definição de metais pesados por muitos autores é: um grupo de metais e semimetais relacionados às contaminações, com potencial toxicidade e ecotoxicidade, sendo consequência dos efluentes despejados no solo, água e ar, provenientes de atividades antrópicas, como a mineração (LIMA *et al.*, 2011). As partículas dos metais pesados, podem ser distribuídas no meio ambiente e causarem intoxicação em todos os níveis da cadeia alimentar, pois são elementos com alto nível de reatividade e bioacumulação. Sendo assim, a presença destes elementos no ambiente é de grande importância pelos seus múltiplos efeitos nos organismos, seja em níveis letais e subletais (PEREIRA, 2004). Elementos como chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), ferro (Fe), zinco (Zn), crômio (Cr), arsênio (As) e prata (Ag) são exemplos de metais pesados. Sendo, cádmio, cromo, mercúrio, níquel, chumbo, arsênico, bário, cobre e zinco, os classificados com alto grau de toxicidade. Dentre os mecanismos resultantes da toxicidade destes elementos, destacam-se reações diretas e indiretas com proteínas, lipídeos e DNA. A ligação de metais com grupos sulfídrica das proteínas inibe a atividade ou induz a quebra de ligações peptídicas, ou ainda desloca um elemento essencial (HALL, 2002). Outro problema, é a geração de radicais livres e espécies reativas oxigênio (ERO), que atacam diretamente biomoléculas, como DNA, lipídeos e proteínas, resultando em eventos

mutagênicos ou citotóxicos, que por sua vez podem desencadear mecanismos de morte celular, senescência ou tumorigênese (SOUZA; MORASSUTI, 2018)

Diante disso, é de fundamental importância estudar formas de reduzir a concentração de metais pesados no meio ambiente, diminuindo assim sua toxicidade induzida pela bioacumulação ao longo da cadeia alimentar, podendo também reduzir a biomagnificação, em decorrência do aumento da concentração desses elementos à medida que se avança na cadeia alimentar, reduzindo assim, danos a todo um ecossistema (BRAGA *et al.*, 2003).

2.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

A mineração é o método de extração de minerais que se concentram naturalmente na crosta terrestre. É uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração, lavra (extração) e melhoria de minérios presentes no subsolo (JAZIDA, 2019). O primeiro processo que consiste a mineração é a pesquisa, que ocorre em 3 (três) etapas: exploração geológica, avaliação de depósitos através de furos de sonda e a prospecção superficial, a partir de amostragens de poços, trincheiras, afloramentos, trabalhos geofísicos ou geoquímicos. O segundo processo é a exploração mineral que ocorre em superfície ou a céu aberto, em subsuperfície ou subterrânea. Em superfície possui baixo custo, mas é o mais destrutivo pois remove-se a camada superficial do solo, perfura-se e há a remoção de resíduos, explosão, escavação do minério, por fim o transporte e beneficiamento. Nesse processo, a perfuração é a técnica mais utilizada, em que se confirma ou nega a existência de minérios na região estudada (BOMFIM, 2017).

Apesar de ser benéfico economicamente, a exploração em superfície ocasiona diversos danos ambientais como: erosão do solo, interferindo no seu uso para agricultura; destruição das paisagens e florestas que impactam na vida dos animais; perda da mata ciliar; emissão de partículas para atmosfera. Alterando-se a qualidade de vida da população e contaminação do solo e lençol freático por metais pesados (BOMFIM, 2017). A exploração subsuperfície causa também danos ambientais, pois se dá pela escavação de túneis e poços para alcançar a rocha mineralizada, provocando alterações no fluxo da água subterrânea, lançando resíduos na superfície e contaminação da água e ar por metais pesados. O último processo é o beneficiamento, no qual concentra, trata e purifica o minério de interesse, responsável pela geração de

grande parte dos resíduos e conseqüentemente os impactos ambientais (BOMFIM, 2017).

2.4 LEGISLAÇÃO

O Brasil possui uma das mais importantes reservas de minérios do mundo, sendo distribuídas regionalmente em 4% no norte, 8% no centro-oeste, 13% no nordeste, 21% no sul e 54% no sudeste. De modo geral, a mineração está submetida a um conjunto de regulamentações, onde os três níveis de poder estatal possuem atribuições com relação à mineração e o meio ambiente (FARIAS *et al.*, 2002). Porém, existem inúmeras mineradoras que realizam essa extração de maneira informal ou irregular às legislações vigentes. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável por formular políticas ambientais, na qual as resoluções têm poder normativo, com força de lei, desde que o Poder Legislativo não tenha aprovada legislação específica, cabendo aos Estados e Municípios fixarem procedimentos de seu interesse, bem como licenciar, controlar e fiscalizar as atividades (FARIAS *et al.*, 2002). Dentre as principais resoluções, firmadas pelo CONAMA, está o seguinte artigo:

Art. 5º Para os fins deste Anexo são adotadas as seguintes definições (BRASIL, 2021):

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem; (por que escolheu classe I e II CONAMA)

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano, conforme definido neste Anexo;

IV - padrão organoléptico: conjunto de valores permitidos para os parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde;

V - sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA): instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;

VI - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC): modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição;

VII - solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI): modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares;

O conjunto das consequências provenientes da mineração é chamado de externalidades (BITAR, 1997). As externalidades incluem: processos erosivos em decorrência do desmatamento, mortalidade da ictiofauna e fuga de animais silvestres. Como mencionado anteriormente, o pós beneficiamento do minério gera grande volume de rejeitos, sendo consequência dos processos anteriores como a extração, concentração e localização das jazidas. Os rejeitos são dispersos em áreas da mineradora, locais públicos, ou depositados no solo (BOMFIM, 2017). Esses resíduos são alocados em reservatórios de contenção como as barragens, as quais devem ser construídas com todas as normas de segurança, para que não haja infiltrações e posteriormente ruptura, evitando assim danos ambientais (IBRAM, 2016).

A Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 sobre segurança de barragens. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967- Código de Mineração, (BRASIL, 2020). Vale ressaltar, que os rejeitos em contenção são ricos em substâncias tóxicas, com isso, devem passar por tratamento a fim de reduzir sua toxicidade. Algumas alternativas para tratamento é a lagoa de rejeitos, desidratação e eliminação de rejeitos secos. De modo que, várias empresas de mineração tem desenvolvido planos de gerenciamento e utilização de técnicas de tratamento e monitoramento da qualidade da água, para que a água utilizada na mineração não impacte o meio ambiente. As técnicas usadas são: interceptar e desviar água superficial; reciclar a água utilizada no processamento; capturar água de drenagem; permitir evaporação das águas em lagoas e instalar revestimentos e coberturas sobre rochas de resíduos e pilhas de minério, reduzindo o contato com água subterrânea. Outro meio de reduzir os impactos dos resíduos é o seu reuso, porém, sabe-se que tanto o tratamento quanto o reuso desses rejeitos são

pouco optados por terem um custo adicional ou até mesmo pela falta de planejamento da empresa (BOMFIM, 2017).

O impacto do uso dessas barragens pode ser exemplificado pelo desastre da barragem de “Fundão”, localizada em Mariana - MG que se rompeu em 2015, liberando cerca de 56,6 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração. Esses rejeitos, pioram a qualidade da água dos mananciais atingidos; destroem matas ciliares e pesqueiros essenciais à pesca artesanal; asfixiam espécies aquáticas e eliminam microrganismos do fundo do rio; comprometem faixas de terras nas margens. Dessa forma, alteram irreversivelmente biomas, fauna, flora e recursos hídricos da bacia do Rio Doce (MARQUES *et al.*, 2017). O desastre da barragem de “Fundão”, também provocou a morte de 19 pessoas, visto que a lama liberada era composta de água, areia, ferro, resíduos de alumínio, manganês, além de suspeita de presença de mercúrio (PINTO-COELHO, 2015). Outro exemplo recente no Brasil, é o rompimento da barragem de rejeitos da mina de “Córrego de feijão”, no município de Brumadinho — MG. Onde foram despejados 13 milhões m³ de rejeitos, soterrando mais de 270 pessoas. O desastre destruiu casas, matou fauna e flora, afetou plantações e zonas de criação de animais, além de poluir o rio Paraopeba, dificultando o acesso à água de várias comunidades do entorno (NEVES-SILVA; HELLER, 2020).

Há legislações que prevê a proteção do meio ambiente, sendo elas a Categoria de Risco - CRI que prevê aspectos da própria barragem que possam influenciar na probabilidade de um acidente: aspectos de projeto, integridade da estrutura, estado de conservação, operação e manutenção e atendimento ao Plano de Segurança. E o Dano Potencial Associado – DPA, dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência. Podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais (FURTADO, 2018).

Dessa forma, embora, exista uma legislação vigente que prevê a proteção do meio ambiente contra os impactos ambientais em decorrência da mineração, a água é um dos recursos naturais mais impactados, uma vez que a atividade de mineração utiliza grandes volumes de água na pesquisa, lavra, beneficiamento, transporte e infraestrutura da mina. Desse modo, existem consequências como: aumento da turbidez e consequente variação na qualidade da água e na penetração da luz solar no interior do corpo hídrico; alteração do pH da água, tornando-a mais ácida; derrame de óleos, graxas; redução do oxigênio dissolvido dos ecossistemas aquáticos;

assoreamento de rios; poluição do ar; perdas de áreas de ecossistemas nativos ou de uso; bioacumulação de metais na cadeia alimentar, extinção de espécies e produtividade reduzida. Com isso, muitas formas de vida aquática são prejudicadas ou até mesmo dizimadas, além de afetar diretamente a saúde humana e de animais que consomem a água diretamente ou se alimentam de produtos criados, cultivados ou coletados desses rios ou pelo uso da água (PORTELLA, 2015).

Por fim, a poluição dos rios e lagos em regiões de mineração, são resultados da contaminação da água por rejeitos gerados pela de mineração. Os poluentes são transportados para os rios, contaminando esses ambientes e afetando os organismos aquáticos (FRANÇA; OLIVEIRA; ROCHA, 2015). Com isso, a exploração mineral e beneficiamento, eleva os níveis de metal na água. Diversos metais como Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Al, Ni e Fe foram analisados em águas de várias regiões do Brasil, e os resultados demonstram concentrações acima do valor máximo permitidos pela resolução CONAMA. Dessa forma, implica em alterações do meio ambiente e na qualidade das águas. Causando riscos para as populações ribeirinhas, e à população que residem entorno das mineradoras, devido ao consumo da água e peixes contaminados. Trabalhos na literatura, já elucida os riscos toxicológicos desses metais em água. Uma vez que, surge a necessidade da análise da concentração de metais potencialmente tóxicos em água. Devido à utilização desses corpos hídricos para captação de água para consumo humano (SILVA, 2017). Portanto, com base em revisão bibliográfica, o presente trabalho, realiza um levantamento dos níveis de metais em diversas regiões do Brasil, e discute aspectos a cerca do perfil de contaminação em diferentes regiões e suas consequências toxicológicas a saúde humana.

2.5 TOXICOLOGIA

Todas as substâncias, naturais ou sintéticas são potencialmente tóxicas, dependendo assim da condição de exposição e a dose (FRANK; OTTOBONI, 2011). Há uma relação direta entre a periodicidade e a duração da exposição na toxicidade dos agentes tóxicos (FIOCRUZ). Para isso é necessário conhecer: que categoria de efeito ela produz, a dose para produzir o efeito, dados sobre as características da substância, e informações sobre a exposição e o indivíduo (DUX; STALZER, 1988). Quando a dose de uma substância for muito alta poderá ser perigosa para qualquer ser vivo, assim como também se a dose de uma substância muito tóxica for baixa não produzirá efeito adverso nenhum (OMS, 2000). Dessa forma, o período em que uma dose é administrada e a frequência são fatores que influenciam na resposta a intoxicação (FIOCRUZ).

Para que uma determinada substância possa causar um efeito, é necessário a exposição, ou seja, o contato. Sendo que, as exposições podem acontecer de três formas principais: digestiva; respiratória e cutânea. A partir da exposição, a substância pode ser absorvida e passar para o sangue, serem distribuídas no organismo todo, chegar a determinados órgãos onde são biotransformados, produzir efeitos tóxicos e ser posteriormente eliminadas do organismo (CETESB). Vários metais possuem a capacidade organocumulativa. Podendo, após a distribuição do metal no corpo, serem acumulados no sangue, como, por exemplo, o chumbo (Pb), no qual acumula-se nos ossos. E o cádmio (Cd) ligando-se a proteínas sendo acumulado nos rins (CETESB). No entanto, diante dos riscos à saúde humana pelos contaminantes, as autoridades em países industrializados criaram procedimentos de avaliação que dimensiona o risco (SAÚDE, 2003). E determinam recomendações para eliminação da exposição humana, ações de saúde direcionadas às populações expostas, assim como ações de diminuição das fontes de exposição (BRASIL, 2010). A avaliação de risco à saúde das populações expostas a contaminantes ambientais é importante para a tomada de decisões (FREITAS, 2002). Assim como, implementação, de articulações e de ações intra e intersetoriais visando à promoção e proteção da saúde, melhorando as condições sociais e de vida (BRASIL, 2010).

Nos EUA, assim como outros países, há procedimentos de avaliação de risco à saúde humana por resíduos perigosos, nos quais fazem parte de uma legislação com recursos, poderes e deveres institucionais determinados para todas as etapas do processo de inspeção da área de risco, da avaliação do risco à saúde das populações expostas, das medidas de inibição da exposição humana, das ações de acompanhamento de saúde destas populações, bem como dos procedimentos de eliminação das fontes emissoras de resíduos perigosos (BRASIL, 2010). Sendo a Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Controle de Doenças – ATSDR/CDC (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), que por meio da legislação, tem o papel de desenvolver atividades de saúde pública associadas com a exposição, real ou potencial, a contaminantes emitidos ao ambiente (PARISH, 2013). Assim, esta Agência contribui para a composição de uma lista nacional de locais prioritários para avaliação de risco (BRASIL, 2010). Com esta avaliação, a ATSDR notifica a Agência de Proteção Ambiental (United States Environmental Protection Agency – USEPA) sobre a presença de ameaça para a saúde pública nos locais sob risco, para permitir que a USEPA realize uma ação para mitigação, prevenção ou eliminação da exposição e dos efeitos à saúde (BRASIL, 2010); (MAGALHÃES, 2000).

No Brasil, a de avaliação de risco à saúde humana por resíduos perigosos, é uma atividade recente. Na década de 90, a Organização PanAmericana da Saúde – OPAS difundiu a metodologia da ATSDR e, a partir do ano 2002, o Ministério da Saúde começou sua aplicação. No entanto, diferente de outros países, o Brasil ainda não existe um arcabouço jurídico-institucional que imponha uma sequência natural aos resultados dos estudos de avaliação de risco. Portanto, a presente metodologia de avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas baseia-se na experiência adquirida com os estudos já realizados no nosso país, a partir da aplicação da metodologia da ATSDR, com as devidas e progressivas adaptações consoantes com a realidade(BRASIL, 2010).

2.6 MERCÚRIO (Hg)

A mineração de ouro no Brasil vem desde o século 17 e as principais consequências dessa atividade são: desmatamento, queimadas, alterações no curso da água, alteração dos seres aquáticos, contaminação da água, solo e ar por metais pesados, além da mudança territorial dos animais que antes viviam nesses locais onde acontece a extração (FARIAS *et al.*, 2002). Dentre os contaminantes metálicos associados à exploração do ouro, destaca-se o mercúrio (Hg). O mercúrio é um elemento raro, sua concentração na crosta terrestre é de 0,08 ppm, é bastante utilizado na fabricação de lâmpadas fluorescentes, amálgamas, pilhas, termostato e em células eletrolíticas. Porém, é um dos metais pesados que possuem o maior potencial tóxico, pois tem capacidade de bioacumulação no organismo e biomagnificação. As atividades antrópicas, como a extração do ouro, têm aumentado os níveis de mercúrio biodisponível no meio ambiente, expondo a população, plantas e animais terrestres e aquáticos (COSTA *et al.*, 2014).

A contaminação por mercúrio está sempre associado a mineração de ouro. É comum os mineiros despejarem mercúrio em sua forma líquida à mistura de areia e cascalho extraída dos rios para atrair o metal precioso. Ao fazerem isso, liberam grandes quantidades de mercúrio no ambiente. Ao ser liberado no meio ambiente, o metal é absorvido por algas, logo alcança as cadeias alimentares como peixes, posteriormente aves, mamíferos e seres humanos, seja pelo consumo de água, seja pelo consumo de peixe (ANDRADE, 2018); (JEFFERY, 2001).

Os compostos orgânicos do mercúrio são mais tóxicos, sendo sua toxicidade afetada por temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e dureza da água.

Grande variedade de anomalias fisiológicas e bioquímicas já foram relatadas após a exposição dos peixes a concentrações subletais do mercúrio (RODRIGUES, 2021). Assim como o mercúrio inorgânico, em que testes demonstraram que as CLs50 variaram entre 33 e 400 µg/L para peixes de água doce e que esses valores foram mais elevados para peixes de água salgada. Sendo o composto inorgânico mais tóxico que o orgânico (EHC 1, 1976).

A intoxicação aguda em mamífero provocam sintomas como: choques, colapso cardiovascular, falha renal e danos gastrointestinais severos (DALLEGRAVE; SEBBEN, 2008). Os danos causados aos seres humanos pela intoxicação por mercúrio são dependentes de tempo de exposição e concentração dos compostos de mercúrio expostos. Existem alguns sintomas característicos como: da exposição ao vapor de mercúrio: excitabilidade, irritabilidade, perda da memória, insônia, tremor e gengivites. Os da exposição ao metilmercúrio são: parestesia, redução do campo visual, dificuldade auditiva e ataxia (EHC 1, 1976).

Dados da Organização mundial da saúde apontam que as populações tropicais que moram próximas às áreas de mineradoras industriais e artesanal apresentam a maior ingestão de mercúrio entre todas as populações vulneráveis do mundo (WHO, 2008). Isso acontece, pois, uma das principais vias de exposição é através de ingestão de alimentos contaminados, principalmente quando se trata de uma população ribeirinha, onde o pescado é o principal alimento (BRABO *et al.*, 1999). Na literatura, muitos estudos sobre contaminação de comunidades indígenas que estão relacionados com a atividade de extração do ouro já foram reportados. Um exemplo é o estudo da FIOCRUZ no médio Rio Tapajós, nas cidades de Itaituba e Trairão, no Pará, onde o povo indígena munduruku vem sofrendo com o impacto do mercúrio usado largamente em atividade de garimpo.

Um estudo realizado pela Fiocruz em 2019, em parceria com o WWF- Brasil indica que todos os participantes da pesquisa estão afetados por este contaminante. Para cada dez participantes, seis apresentaram níveis de mercúrio acima de limites seguros, ou seja, cerca de 57,9% dos participantes apresentaram níveis de mercúrio acima de 6 µg/g — sendo o limite máximo de segurança estabelecido por agências de saúde (BASTA; HACON, 2020).

2.7 ALUMÍNIO (Al)

O Alumínio (Al) é o elemento metálico com número atômico 13 e massa 27 e classificado como metal de pós transição (USGS 2018). O alumínio é o segundo metal mais consumido no mundo, depois do ferro. Proveniente da bauxita, é um elemento muito reativo, nunca é encontrado livre na natureza, encontrando-se combinado sob a forma de hidróxidos, silicatos, fosfatos ou sulfatos (GRAY, 2012). É também muito abundante na crosta da terra e por ser um bom condutor elétrico, é muito utilizado em linhas de transmissão de eletricidade, na construção civil e pela indústria automobilística, sendo no Brasil uma das principais reservas desse minério, especificamente no estado de Minas Gerais (PEIXOTO, 2001).

O produto final da mineração da bauxita é o Alumínio, esse processo provoca impactos ambientais nos corpos hídricos desde o início da sua extração, pois é necessário desmatar toda a vegetação superior do solo. Havendo assim, a erosão dessa região e também a contaminação das águas superficiais próximas a mineradora. Um exemplo das consequências da mineração é o “caso Hydro Alunorte”, no Pará, onde ocorreu o vazamento de rejeitos ricos em Al e Pb, nos quais contaminaram a água e o solo dessa região (CARDOSO et al., 2018). A consequência da intoxicação por Al se dá em decorrência pela absorvidade na pele, pulmões e do trato intestinal. Segundo estudos, sua toxicidade afeta os ossos causando fragilidade ou osteoporose por deslocar cálcio e magnésio. Além de afetar também rins, estômago e cérebro (KREWSKI et al., 2007). Estudos recentes que investigaram se existe uma ligação entre concentração de alumínio na água potável e a doença de Alzheimer mostraram resultados inconclusivos (OLSZEWER, 2008).

Com o intuito de evitar que a presença de metais com potencial toxicológico, seja consumida pela população. Em 04 de maio de 2021, foi publicada a Portaria GM/MS nº 888 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dentre as alterações, as principais foram: as mudanças nos textos das definições, alterações nas responsabilidades das autoridades públicas e dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água, conformidades nos escopos analíticos de controle e seus VMPs (Valor Máximo Permitido) e mudanças nos Planos de Amostragem (BRASIL, 2021). Dessa forma, esta portaria preconiza que ao serem identificadas situações de risco à saúde, no caso o rompimento de uma barragem e rejeitos. Os responsáveis pelo SAA (sistema de abastecimento de água) ou SAC e as autoridades de saúde pública devem, em conjunto, elaborar um plano de

ação e tomar as medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção das não conformidades (BRASIL, 2021).

2.8 CHUMBO (Pb)

O Chumbo é o quinto metal mais utilizado na indústria. Extraído de minas, e transformado por diversos processos, o chumbo é usado para diversos fins sendo que nos últimos 100 anos a produção e o consumo praticamente quadruplicaram. O Brasil é um pequeno produtor deste elemento, contribuindo com cerca de 0,2% do que se consome mundialmente. No Estado de Minas Gerais encontram-se as maiores jazidas do País (PANTAROTO et al., 2006).

A contaminação da água ocorre principalmente por efluentes industriais, sobretudo de siderúrgicas. O Pb pode estar presente na água de torneira como resultado de sua dissolução a partir de fontes naturais, principalmente por tubulações, soldas, acessórios e conexões contendo chumbo. A quantidade de Pb dissolvido a partir de encanamentos depende de vários fatores, como presença de cloro e oxigênio dissolvido, pH, temperatura, dureza da água, tempo de permanência da água na tubulação (CETESB, 2012). Ao ser disperso causa consequências desastrosas para o meio ambiente e para a saúde dos indivíduos contaminados. Podendo ser classificado em orgânico e inorgânico (HOLZBACH *et al.*, 2012). O chumbo pode afetar quase todos os órgãos e sistemas do corpo, mas o mais sensível é o sistema nervoso, tanto em adultos como em crianças. A exposição aguda causa sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrintestinal, vômitos e diarreias. Na exposição prolongada são observados efeitos renais, cardiovasculares, neurológicos e nos músculos e ossos, entre outros. É um composto cumulativo provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo (CETESB, 2019). O padrão de potabilidade para o chumbo estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde é de 0,01 mg/L (BRASIL, 2011)

O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são considerados órgãos críticos para o chumbo. Esse elemento interfere nos processos genéticos ou cromossômicos, produzindo alterações na estabilidade da cromatina em cobaias, inibindo reparo de DNA e agindo como promotor do câncer (NAVA, 2008). Por isso, está associado ao aparecimento de câncer de pele e pulmão. Sua toxicidade no

Sistema nervoso central (SNC) depende do tempo de exposição e quantidade absorvida. Dessa forma, as principais síndromes ligadas ao chumbo são: síndrome encéfalo-polineurítica com alterações sensoriais, perceptuais, e psicomotoras; síndrome astênica com fadiga, dor de cabeça, insônia, distúrbios durante o sono e dores musculares; síndrome hematológica com anemia hipocrômica moderada e aumento de pontuações basófilas nos eritrócitos; síndrome renal com nefropatia não específica, proteinúria, aminoacidúria, uricacidúria, diminuição da depuração da ureia e do ácido úrico; síndrome do trato gastrointestinal com cólicas, anorexia, desconforto gástrico, constipação ou diarreia; síndrome cardiovascular com miocardite crônica, alterações no eletrocardiograma, hipotonia ou hipertonia, palidez facial ou retinal, arteriosclerose precoce com alterações cerebrovasculares, hipertensão e síndrome hepática com interferência de biotransformação (PASCALICCHIO, 2002).

Por fim, um exemplo, de contaminação por metais pesados, foi o causado pela Companhia Brasileira de Chumbo-Cobrac, subsidiária da multinacional Penarroya, em Santo Amaro, BA. Foram encontrados, durante pesquisa realizada nessa região, concentrações de chumbo no meio ambiente, em pescadores dessa região e trabalhadores desta fábrica (ANDRADE; MORAES, 2013). Alguns autores como Guerra (2010), constatou a presença de metal pesado no sangue, o que indica ser um indicador de intoxicação aguda. Encontraram também, chumbo nos ossos de crianças de Santo Amaro, indicando exposição crônica a esse metal (GUERRA, 2010). Também, foram detectados níveis elevados de chumbo em águas superficiais, com a concentrações máximas de 37,2 mg/L, sendo acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA (SAÚDE, 2003). Em 2010, foi lançado o “Protocolo de Vigilância e Atenção à Saúde da População Exposta aos metais Chumbo, Cádmio, Cobre e Zinco em Santo Amaro, Bahia”, através de uma iniciativa da Secretaria da Saúde do Estado da Bahia, da Prefeitura Municipal de Santo Amaro e do MS. O protocolo orientava para as ações necessárias de acompanhamento das populações expostas no passado, no presente, ou potencialmente expostas nas áreas contaminadas em Santo Amaro (ANDRADE; MORAES, 2013).

2.9 FERRO (Fe)

O minério de ferro é o mais exportado no Brasil, responsável por 68% das exportações do setor mineral brasileiro (IBRAM,2020). Os principais estados responsáveis pela extração desse minério são os estados do Pará, principalmente na região de Carajás e o estado de Minas Gerais, na região do Quadrilátero Ferrífero

(GEOSCAN, 2020). O ferro (Fe) é um dos elementos mais abundante na crosta da terra sendo encontrado em jazidas em vários teores, fazendo parte de processos químicos e físicos nos sistemas biológicos e ambientais, podendo se apresentar na forma de íon Fe^{2+} ou íon Fe^{3+} . Nas condições físico- químicas encontradas na Terra, o ferro apresenta versatilidade, interagindo e formando compostos diferentes, participa em processos de mobilidade de íons no meio ambiente, forma sólidos e promove reações redox. Algumas dessas reações possuem grande influência na mobilidade de diversas espécies no meio ambiente. Processos naturais, frequentemente mediados por microrganismos, modulam a predominância de Fe^{3+} ou Fe^{2+} e, assim, favorecem a coprecipitação ou adsorção de espécies químicas, como o arsênio, por exemplo, em oxi-hidróxidos de ferro ou a sua dissolução ou dessorção, com conseqüente mobilização para o meio ambiente (DUARTE, 2020).

O organismo humano adulto contém de 3 a 5g de ferro, aproximadamente 2000mg como hemoglobina e 8mg como enzimas. Essas formas são muito importantes para a função ótima de um indivíduo. O ferro da dieta existe como ferro heme, encontrado na hemoglobina e na mioglobina e como ferro não heme (ANDRADE; ALVES; TAKASE, 2005). Em sistemas biológicos, o ferro tem papel em vários processos bioquímicos, como nas reações enzimáticas, no transporte de oxigênio e de elétrons (DUARTE, 2020). O ferro é encontrado nas águas subterrâneas a partir da dissolução do minério. Em águas superficiais na estação de chuvas, devido à lixiviação do solo, o elemento pode ser encontrado nas duas formas: íon Fe^{2+} ou íon Fe^{3+} , sendo o íon Fe^{2+} mais solúvel e com isso o mais frequente. Sendo assim, apesar do ferro não ser um elemento tóxico, o aumento da sua concentração acima dos limites aceitáveis, podem conferir cor e sabor à água. A poluição do solo e da água pelos rejeitos das mineradoras, podem causar interferência nos processos naturais, físicos e químicos do sistema aquático e, posteriormente, complicações aos indivíduos que consomem dessa água. Água com excesso de ferro, ao passar por uma estação de tratamento causa um custo adicional para sua remoção (PIVELI, 2000).

Água com elevados níveis de ferro, acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA, podem fazer com que seja armazenada em órgãos como fígado, coração e pâncreas, onde passa longos períodos despercebido até ocasionar doenças hepáticas graves. Em excesso por longo prazo ou por causas hereditárias, a hemocromatose, sendo a doença causada pelo excesso de ferro é potencialmente fatal, mas pode ser tratada. Os riscos são cirroses, câncer de fígado, diabetes, problemas cardíacos,

manchas na pele, artrite, infertilidade, impotência, hipotireoidismo e fadiga crônica. (SPDM, 2014).

2.10 MANGANÊS (Mn)

O manganês (Mn) é o 12º elemento mais abundante na crosta da terra (aproximadamente 1 g/kg). Na água do mar, a concentração é da ordem de 10 mg/L (AFONSO, 2020). Assim como o ferro na água, o manganês (Mn) possui aspectos muito semelhantes, porém sua ocorrência é menor. As principais jazidas de manganês ocorrem nos estados do Pará e do Mato Grosso do Sul, responsáveis por 90% da produção de manganês no Brasil. Além desses estados, o minério é extraído em Goiás, no Ceará e na Bahia. Sendo que, as principais minas são pertencentes à Vale, sendo a mina do Azul, no Pará a de maior destaque (GEOSCAN, 2020).

O Mn é quimicamente muito reativo, podendo transferir elétrons facilmente. Possui uma grande importância para os organismos, animais e vegetais e tem uma grande relevância na economia. Sua forma mais utilizada biologicamente é o íon Mn^{2+} onde nos vegetais auxiliam no crescimento das plantas e no organismo humano contribui para síntese de neurotransmissores e processos enzimáticos. Esse metal também é muito utilizado no setor siderúrgico para produção de ligas metálicas, possuindo um alto valor em indústrias siderúrgicas e na exportação (AFONSO, 2020).

No Brasil, concentra-se grandes depósitos desse metal, sendo classificado a partir do minério que está agregado, dependendo do seu método de extração, pode contribuir para o aumento da concentração de íon Mn^{2+} nas águas superficiais. Outro fator que contribui para a poluição, são os rejeitos das mineradoras que têm teores altos de metais pesados, inclusive do Mn, que apesar da sua importância fisiológica, em valores acima do máximo permitido tem um potencial tóxico. Dentre eles destacam-se: A intoxicação pelo manganês, também chamada de manganismo, habitualmente resulta de uma exposição ocupacional, sendo que o trato respiratório representa a principal porta de entrada. No entanto, este elemento também pode ser absorvido pelo trato intestinal quando presente na alimentação. No Chile, conhece-se um quadro denominado de “Loucura Mangânica”, caracterizado por: sinais e sintomas psiquiátricos: mania, agressividade, insônia, alucinações, quadro neurológico muito parecido com o do Parkinson. Os sintomas dos danos provocados pelo manganês no Sistema nervoso central (SNC) podem ser divididos em três estágios: 1º) subclínico

(astenia (fraqueza), distúrbios do sono, dores musculares, excitabilidade mental e movimentos desajeitados); 2º) início da fase clínica (transtorno da marcha, dificuldade na fala, reflexos exagerados e tremor); 3º) clínico (psicose maníaco-depressiva e a clássica síndrome que lembra o Parkinsonismo). Além dos efeitos neurotóxicos, há maior incidência de bronquite aguda, asma brônquica e pneumonia (QUEIROZ *et al.*, 2021;PASCALICCHIO, 2002).

2.11 COBRE (Cu)

O cobre existe na natureza na fórmula metálica em minérios e minerais, muitos deles utilizados pelo homem. É um metal de cor castanho-alaranjado, maleável, excelente condutor térmico e elétrico. O cobre é um dos metais mais antigos já trabalhados pelo homem, extraído de minerais em processos que utilizam altas fontes de calor para obtenção do metal livre (RODRIGUES *et al.*, 2012). Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (edição de 2018) publicado pela Agência Nacional de Mineração (ANM), as minas em que o minério de cobre é extraído no Brasil ocorrem apenas nos Estados do Pará, de Goiás e da Bahia (GEOSCAN, 2020).

Todos os organismos necessitam de cobre para a sua sobrevivência e desenvolvimento. Sendo um micronutriente essencial aos humanos, está envolvido em várias funções fisiológicas, sendo indispensável manter o seu equilíbrio homeostático. É encontrado na forma de Cu^{1+} ou Cu^{2+} e isso faz com que tenha capacidade de ser oxidado ou reduzido facilmente. Podendo ser um elemento preponderante nas reações de oxidação-redução, as quais podem dar origem a radicais livres e conseqüentemente danos celulares (GOMES, 2016). O cobre é muito utilizado na indústria automobilística, na produção de ligas metálicas, em obras de arte, moedas e tem sido usado contra microrganismos de plantas a partir de pulverização, dentre outras aplicações. O íon cobre (Cu^{2+}) no organismo humano, auxilia em atividades metabólicas e bioquímicas e atua na prevenção de anemia, danos celulares e doenças ósseas (RODRIGUES *et al.*, 2012).

Nas plantas é essencial, em pequenas quantidades, para o crescimento, pois faz parte das enzimas reguladoras de processos bioquímicos, participando da formação de sementes e clorofilas (DECHEN *et al.*, 2007). Nas águas superficiais o cobre é encontrado naturalmente em concentrações inferiores a 20 µg/L, porém quando a concentração ultrapassa esse limite pode causar intoxicações, como lesões no fígado. O papel do cobre no desenvolvimento de tumores tem sido alvo de muitos

estudos (PIVELI, 2000), pois, o excesso de cobre induz a formação de radicais livres, os quais contribuem para a proliferação celular. Além disso, é sabido que células tumorais precisam de altas concentrações de Cu para aumentarem seu metabolismo e posteriormente crescerem (KOURY *et al.*, 2007).

Altos níveis Cu já foram detectados no plasma e tecidos de vários tumores humanos, como: linfoma de Hodgkin's, linfoma, leucemia, sarcoma, tumores cerebrais, pulmão, peito e fígado. No ambiente aquático, a altas concentrações de cobre é nociva para peixes, levando a morte em concentrações a partir de 0,5 mg/L. Além disso, o Cu confere sabor à água ao ser consumido. Assim tanto organismo humano quanto os seres aquáticos sofrem os impactos pela poluição desse metal (PIVELI, 2000). Podendo haver então intoxicação aguda e crônica, sendo a aguda decorrente de exposição ambiental ou da ocupação profissional, principalmente. Tendo como sintomas: dor no estômago, náuseas, vômitos e diarreia (SCHÜMANN *et al.*, 2002).

Já a toxicidade crônica se dá temporalmente, com a acumulação de Cu principalmente no fígado. Os sintomas são menos evidentes e só aparecem quando a capacidade dos hepatócitos para capturar o Cu é excedida, provocando hepatite, cirrose, icterícia e, em casos mais raros, hemólise (GAETKE, *et al.*, 2014).

2.12 ZINCO (Zn)

O zinco (Zn) é um metal encontrado naturalmente no solo e água, é um elemento essencial para os seres humanos e muito utilizado na indústria, protegendo esses metais contra a *corrosão*. O Brasil é o décimo segundo maior produtor de minério de zinco, com produção aproximada de 199 mil toneladas de concentrado, representando 1,8% da produção mundial. Os principais produtores são os Estados de: Minas Gerais (82,9%), Rio Grande do Sul (8,7%), Mato Grosso do Sul (2,5%), Bahia (2,3%), Paraná (2,6%) e Pará (1%). Mais de 50% da aplicação do Zn é na formação do aço e para proteção de superfícies contra corrosão, a associação do Zn com oxigênio também é usado na produção de tintas, cosméticos e equipamentos eletrônicos (MEDEIROS *et al.*, 2012).

O Zn em quantidades ideais é um elemento essencial para o metabolismo e sistema imunológico dos seres humanos. Sua deficiência no organismo pode retardar o crescimento e interferir em processos enzimáticos no corpo. Concentrações

acima dos valores máximos permitidos na água promovem efeitos tóxicos em peixes e algas (PIVELI, 2000). As atividades de mineradoras contribuem para o aumento da concentração desse metal na água, a partir da lixiviação dos rejeitos da barragem que ao atingir as águas superficiais, provocam alterações no ambiente aquático das regiões próximas à mina e, conseqüentemente ao ecossistema aquático (MELO *et al.*, 2012).

A ingestão em excesso desse metal, leva a intoxicação e pode provocar até a morte do indivíduo, pois níveis elevados de Zn no organismo podem levar à saturação de proteínas e interferem na distribuição de outros metais, resultando assim, em no aumento de espécies reativas nas células e a morte neural (LEVY, 2001). O excesso de zinco também está ligado à supressão da resposta imune, diminuição da lipoproteína de alta densidade (HDL) e à redução das concentrações de cobre no plasma (JEN; YAN, 2010).

2.13 NÍQUEL (Ni)

O níquel (Ni), é um dos metais pesados mais comuns no solo, faz parte da composição do núcleo da Terra, dos meteoritos, vulcões, poeira do solo e dos incêndios florestais (LOZI, 2019). É um metal de transição que está geralmente associado ao ferro (Fe) ou enxofre (S). É obtido a partir de minérios lateríticos ou sulfetados e sua extração ocorre em vários países, inclusive no Brasil (DE SANTA RITA). No Brasil, a extração de níquel possui um grande interesse econômico e tem contribuído, assim como outros metais pesados, a partir da liberação de rejeitos, para poluição do solo e da água (GUILHERME *et al.*, 2005).

Os principais estados produtores de níquel são: Goiás; Pará; Minas Gerais; Piauí e Bahia. Segundo a ANM, a Anglo American é responsável por quase 60% da extração brasileira de níquel. Cerca de 65% do níquel consumido é empregado na fabricação de aço inoxidável e cerca 12% é empregado em superligas de níquel e 23% é na produção de outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, cunhagens de moedas, entre outras aplicações (GEOSCAN, 2020). Sua toxicidade, assim como de outros metais pesados, depende da via de exposição, dose, idade do organismo e da solubilidade dos compostos. As principais formas de contaminação por níquel são pela água, alimentação, inalação, exposição industrial e cigarros (LOZI, 2019).

Esse elemento causa toxicidade no fígado, pulmão, rins, testículos, sistemas imunológico e neural, além de induzir a formação de espécies reativas (DA

SILVA *et al.*, 2019). Estudos realizados com trabalhadores de refinaria indicam alta incidência de câncer nas vias respiratórias, induzido pela dose e tempo de exposição a esse metal (PEDERSEN *et al.*, 1973). Sendo bastante preocupante, visto que, o Ni consegue atravessar a barreira hematotesticular e a barreira placentária, importantes para fertilidade masculina e o desenvolvimento adequado dos embriões (ADJROUD, 2013). Além disso, há também os impactos socioambientais, em decorrência de sua extração por mineradoras, garimpos e siderúrgica. Com isso, contribuem para o assoreamento de recursos hídricos, queimadas, desmatamento, erosão do solo, poluição das águas e alteração na ocupação do território. Um exemplo foi a contaminação de Ni, no rio e Povo Xikrin no sudeste do Pará, a partir da mineração, onde foi relatado a poluição de grotas e igarapés pelos resíduos das barragens de contenção dos rejeitos e também alteração na cor e dor da água naquela região, tornando-a imprópria para consumo (DA SILVA GOMES, 2021). Outro exemplo, foi o caso do rompimento da barragem do Fundão, distrito de Bento Rodrigues, em Mariana, Minas Gerais. Onde se constatou elevados níveis de metais na água do rio, que podem estar provavelmente relacionadas ao desastre ambiental de Mariana, Minas Gerais, com rejeitos de minas. Nas análises, um dos metais que apresentaram discrepância em relação aos valores máximos permitidos pela CONAMA, foi o Níquel (CARVALHO *et al.*, 2017).

2.14 CÁDMIO (Cd)

O cádmio é um metal de transição, considerado um metal pesado, cinza-claro, dúctil e mole à temperatura ambiente (TAN, 2000). É um elemento raro e não ocorre na natureza na forma pura. A concentração comum deste elemento na crosta da terra é de cerca de 0,2 mg/kg (NIEWINSKI, 2017). É considerado como uma das substâncias potencialmente perigosas ao planeta pelo IRPTC – International Register of Potentially Toxic Chemical of United Nations Environment Program. Seu uso é variado como em: baterias, pigmentos, estabilizadores e revestimentos (CARDOSO *et al.*, 2001). Na indústria, o cádmio está presente no revestimento de metais, na fabricação de plásticos e nas tintas para pintar plásticos. Contudo, apesar de suas diversas aplicações industriais e na vida do ser humano, a sua elevada quantidade pode ocasionar diversos danos ambientais, visto que é um metal organocumulativo (BAIRD, 2002).

Na extração e no beneficiamento do caulim, uma categoria de argila usado na fabricação de vários produtos comerciais, por exemplo, ocorre produção de rejeitos

líquidos nos quais são lançados nos rios, e sólidos, geralmente aterrados. Esses rejeitos podem conter, contaminantes como o cádmio (Cd), acima do permitido pela legislação (SILVA *et al.*, 2001).

Com isso, sua contaminação extravasa as regiões de extração, dessa forma causando danos na flora, fauna, além do sistema hídrico e morfologia do solo. A contaminação do solo pode ocorrer por precipitação e deposição do cádmio presente na atmosfera, assim como no aterramento de rejeitos contendo esse metal. A água potável possui baixos teores de cádmio (cerca de 1 mg/L), o que é representativo para cada localidade. Já no organismo, o Cd é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano (MACHADO, 2011). A exposição ao cádmio nos humanos ocorre através de duas fontes principais: a primeira é por via oral pela água e ingestão de alimentos contaminados e a segunda por inalação. O órgão alvo primário nas exposições ao cádmio a longo prazo é o rim, sendo a principal forma de contaminação é a inalação. A inalação de doses elevadas produz intoxicação aguda, caracterizada por pneumonite e edema pulmonar. Seus outros efeitos tóxicos são principalmente distúrbios gastrointestinais, hepáticos, diminuição da absorção de cálcio, aumento da excreção do cálcio e depleção de zinco (PASCALICCHIO, 2002).

O cádmio também parece contribuir para a doença autoimune da tireóide e causa também toxicidade aos peixes de água doce (BIANCHINI, 2016). Segundo vários estudos científicos, a concentração de Cd é influenciado pelo aumento da temperatura, com o aumento da temperatura, aumenta também a concentração de Cádmio na água. Peixes da família salmonídeos parecem ser mais suscetíveis ao metal. Vários efeitos de menor letalidade foram observados, incluindo significativa presença de malformações na espinha dorsal (THE INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY, 1992b). Portanto, devido a ampla utilização do Cd, seus efeitos adversos são amplamente estudados. Na literatura, muitos estudos observacionais e clínicos, têm sido realizados na população japonesa, moradoras de áreas contaminadas. A exposição aguda de seres humanos, os efeitos mais relatados estão na inalação, que afeta os pulmões, e ocasionam danos crônicos aos rins, que depois da exposição prolongada, são considerados órgãos críticos, resultando na disfunção tubular renal, gerando distúrbio do metabolismo do cálcio e da vitamina D. Isso pode levar então em osteoporose, efeito esse ainda não tão elucidado, contudo danos na calcificação óssea não podem ser descartados (DE FREITAS MUNIZ *et al.*, 2006). Portanto, em razão dos efeitos toxicológicos dos metais pesados na água, em decorrência das atividades locais de mineração e em relação aos despejos incorretos

de rejeitos com substâncias tóxicas. Nesta revisão bibliográfica, buscou-se analisar as concentrações de Pb, Cu, Zn, Al, Hg, Ni, Mn, Fe e Cd na águas em várias áreas de estudos no Brasil.

3. JUSTIFICATIVA

Como destacado acima, a mineração é uma atividade de suma importância econômica no mundo, inclusive no Brasil. Contudo, os danos ambientais e à saúde humana resultantes dessa atividade já foram amplamente reportados. Na literatura existem muitos estudos relatando a toxicidade de metais pesados, com foco na contaminação de solo e peixes. Sendo assim, entender os níveis de metais pesados presentes nos recursos hídricos é de suma importância e nos permite entender melhor os possíveis impactos dessa contaminação para a flora, fauna e população expostas. Posteriormente, levar a população essas informações em forma de educação e saúde e conscientizar estes, sobre os perigos causados pela exposição. Visto que, é notório que os mais impactados são as populações nas quais habitam aos redores das mineradoras, sendo os que são os primeiros a serem atingidos quando acontece o rompimento de barragens de rejeitos de mineração.

4. OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GERAL

Levantamento a partir de dados na literatura o nível de contaminação por metais pesados e de outros metais na água, que recebem influência da atividade garimpeira e de mineração no Brasil.

4.2 . OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Levantamento dos níveis de concentração de metais pesados na água, como: Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Alumínio (Al).
- ii. Comparar os níveis encontrados com os valores de referencia regulamentados pela CONAMA nº357/005.
- iii. Mapear e discutir regiões com altos níveis de metais e o risco à saúde humana e animal.

5. METODOLOGIA

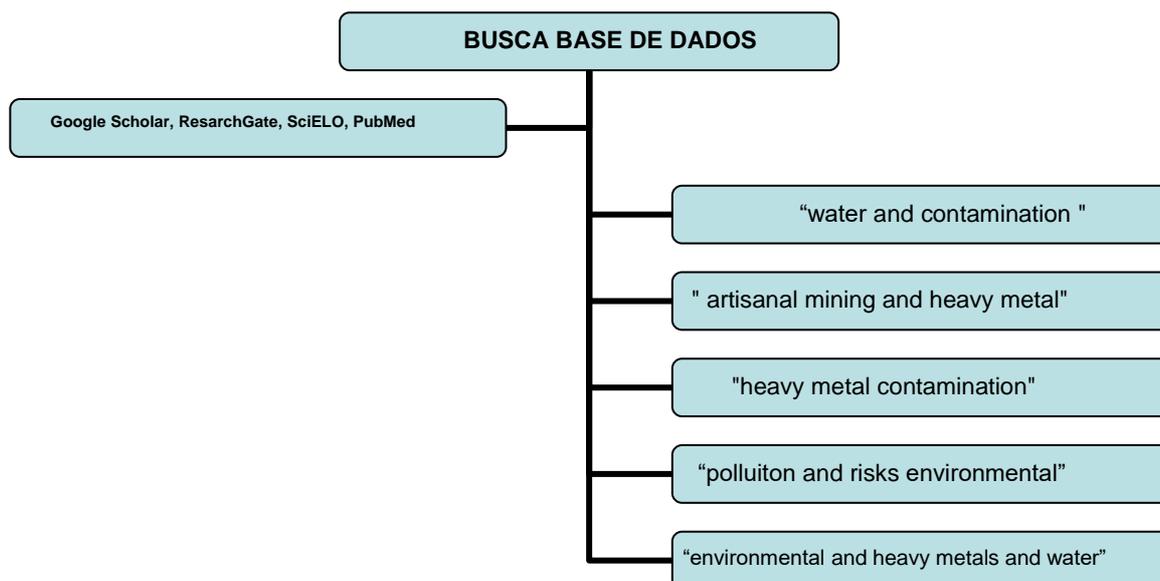


Figura 1: Esquema de busca por periódicos, através de palavras chaves.

Esta pesquisa foi realizada por consultas em várias bases de dados como: Google Scholar, ResarchGate, SciELO, PubMed, entre outros. As pesquisas foram realizadas inicialmente fazendo o uso de palavras chaves como: “water and contamination ”, " artisanal mining and heavy metal", "heavy metal contamination", “heavy metal and water and mine”, “heavy metals”, “polluiton and risks environmental”, “environmental and heavy metals and water”, “human health and contamination and heavy metals and risks”. O objetivo da busca foi selecionar 10 artigos relacionados a estas palavras chaves e a cada metal previsto neste levantamento. Após isso, caso não foram achados 10 artigos, foram realizadas outras buscas, em que se incluía o nome de cada metal na busca. De modo a conseguir fazer o levantamento de 10 periódicos para cada metal de interesse do estudo. Os dados foram compilados para a construção das tabelas de 1–9, no período de 01 a 20 de julho de 2021.

Para isso, foram coletados os diferentes dados encontrados na literatura e selecionados o número de no máximo 10 (dez) artigos para cada metal. O pré-requisito para escolha do periódico, é que o mesmo possui uma análise da concentração de metais e metais pesados na água, em que a concentração estivesse acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA. Ou seja, 10 (dez) periódicos com análise de contaminação por metais e metais pesados na água foram selecionados, para Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Cádmiio (Cd), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Alumínio (Al), respectivamente. Para cada periódico selecionado foi coletado os valores mínimos e máximos de concentração dos metais na água e posteriormente o local da amostragem. Os periódicos

selecionados, são associados a contaminação de metais e metais pesados em decorrência da mineração; impactos ambientais; riscos à saúde humana por intoxicação com metais e contaminação da água das regiões de mineração.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os metais pesados constituem contaminantes químicos nas águas, pois em pequenas concentrações trazem efeitos adversos à saúde. Alguns metais pesados como o Cobre, Zinco, Manganês e Ferro, possuem papéis fundamentais em processos bioquímicos no corpo humano e para o crescimento das plantas. Entretanto, a exposição excessiva a esses íons metálicos pode resultar em impactos ambientais e danos à saúde. Os riscos associados aos metais pesados no ambiente se dão pois estes se acumulam nos tecidos dos organismos, como nas plantas e animais, entrando assim na cadeia alimentar.

A contaminação da água por metais pesados é foco de grande preocupação por provocar sérios danos ao meio ambiente e à saúde de quem a consome. Mesmo em baixas concentrações, os efeitos toxicológicos e fisiológicos são severos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005). A exposição a altas concentrações de metais pesados, em longo período, pode causar doenças crônicas, como câncer, doenças de pele e doenças cardíacas; com riscos ao bem-estar e à vida humana (PASCALICCHIO, 2002).

Para Souza e colaboradores (2015), a principal fonte natural dos metais pesados é o intemperismo, que os libera nas formas dissolvida ou particulada, além da queima de florestas e a atividade biogênica. No entanto, as atividades antrópicas têm contribuído para aumentar significativamente a concentração desses elementos no meio, principalmente a mineração e o uso de agrotóxicos e pesticidas em culturas (MAHAR *et al.*, 2016). A análise de todos os metais é realizada através da criação de um Índice de Contaminação. Esse índice é calculado tendo como referência os Limites da Resolução CONAMA/357, apresentados na tabela 1.

A partir disso, avaliou-se dados da literatura, nos quais os autores detectaram elevados níveis de metais pesados em água acima dos valores máximos permitidos pela legislação brasileira (CONAMA 357/05). O aumento nos níveis de metais pesados em água é consequência, principalmente, da atividade mineradora em todo Brasil. Os periódicos com as concentrações de metais pesados em água acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA foram compilados em tabelas, separadas por metais.

Tabela 01: Valores de metais pesados permitidos para as classes 1 e 2.

Chumbo (Pb)	0,01 mg/L
Cádmio (Cd)	0,001 mg/L
Cobre (Cu)	0,009 mg/L
Níquel (Ni)	0,025 mg/L
Alumínio (Al)	0,1 mg/L
Zinco (Zn)	0,18 mg/L
Mercúrio (Hg)	0,01 mg/L
Manganês (Mn)	0,1 mg/L
Ferro (Fe)	0,03 mg/L

Fonte: Resolução nº357/2005 do CONAMA.

Abaixo destacamos os valores encontrados para cada um dos metais destacados na tabela 1.

- CHUMBO (Pb)

A tabela 2 apresenta, inicialmente, os resultados das concentrações de Chumbo, encontrados na água. Todos os dados tabelados apresentaram valores acima do recomendado pela CONAMA, que é de 0,01 mg/L. Portanto, estão em desacordo com esta resolução.

Tabela 02: Valores encontrados para Chumbo (Pb) (mg/L).

Chumbo			
	Locais	Valor Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa –Goiás	0,02 - 0,03	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,01 - 0,308	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)

Tabela 02: Valores encontrados para Chumbo (Pb) (mg/L) – Continuação.

3	Rio Jacaré e Contas	0,015 - 0,019	(SANTANA <i>et al.</i> , 2020)
4	Água empoçadas, próximas ao Rio Ribeira	0,140 - 0,260	(KASEMODEL, 2018)
5	Rio Piranga e Rio Doce	0,022 - 0,0504	(WEBER <i>et al.</i> , 2020)
6	Rio Doce, Colatina - ES	0,433 - 2,16	(GOMES <i>et al.</i> , 2018)
7	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	0,051 - 0,129	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
8	Rio Ribeira	0,489 - 0,638	(MELO, <i>et al.</i> , 2012)
9	Mananciais mina Cerro Rico- RS	0,0117 - 0,0139	(SILVA, <i>et al.</i> , 2017)
10	Rio Sergipe	0,23 - 0,51	(COSTA, 2018)

O chumbo (Pb) é liberado ao ambiente por atividade antropogênica, principalmente emissão de fundições e fábricas de baterias. A contaminação da água ocorre principalmente por efluentes industriais, sobretudo de siderúrgicas (PANTALEÃO; CHASIN). Os valores de chumbo (Pb), ultrapassaram o limite máximo permitido em todos os locais listados na tabela 02. Entre esses locais citados, destacam-se o Rio Ribeira, no município de Adrianópolis, estado do Paraná onde foram desenvolvidas durante 50 anos as atividades de mineração da galena (PbS) e de primeira fusão de Pb (MELO; ANDRADE; BATISTA; FAVARETTO *et al.*, 2012). Sendo uma área sob influência direta das atividades de mineração e metalurgia.

O item 8 da tabela 02, apresentou a concentração de 0,489 - 0,638 mg/L de chumbo total na água de lavagem da fábrica, que fica cerca de 5 metros do Rio. Com isso, a água pluvial passa pela fábrica, solubiliza e transporta partículas ricas em metais traços para o Rio Ribeira. Justificando-se a elevadíssima concentração de chumbo nessa amostragem. Dessa forma, esses dados corroboram com (COTTA; REZENDE; PIOVANI, 2006) que observaram intensa contaminação no rio Betari, no Alto Ribeira, em decorrência da mineração local. Outro local com concentrações acima do VMP é rio Doce no município de Colatina, ES. Onde foi atingido após o rompimento e derramamento de rejeitos dos desastres das Barragens de Fundão e Santarém em

Mariana, MG. Apresentando a concentração de 0,433 - 2,16 mg/L após a contaminação do Rio Doce. Em contrapartida, (ESCOBAR, 2015) relatava em seu trabalho que o rio Doce já estava poluído antes do desastre, mas o mesmo potencializou os efeitos toxicológicos para a biota.

O rio São Francisco no segmento Três Marias e Pirapora, apresentou valores mínimos e máximos entre 0,01 e 0,308 mg/L de chumbo. Isso porque a seção hidrográfica a jusante da represa de Três Marias até a montante da Foz do Rio das Velhas, no município de Pirapora sofreu com a influência de fatores antrópicos. Em Três Marias, pela usina de beneficiamento de zinco (Zn), onde por muito tempo lançou efluentes, direto no Córrego Consciência que é afluente direto do rio São Francisco. Outro local é o afluente do Rio Abaeté que apresenta intensa atividade de garimpo. Atividades nas quais possivelmente contribuem com o aumento da concentração de metais pesados na água, em especial o Chumbo (Pb). A elevada concentração desses metais pesados na água é potencialmente tóxica (RIBEIRO; JUNIOR; HORN; TRINDADE, 2012).

As altas concentrações de metais pesados encontradas próximo à cidade de Três Marias foram reportados em estudos realizados por Cetec (1980), Lundhamer (1991), Mozeto (2001) e Oliveira (2007). Variação nas concentrações de Mg, Mn e Ba também foram verificadas neste segmento do Rio São Francisco, mostrando a interferência das atividades antrópicas nos teores de metais e qualidade da água. O monitoramento da qualidade da água é de fundamental importância para o delineamento de estratégias que mantenham os níveis de potabilidade dentro da faixa de segurança aceitável pela legislação (FERRAZ; DOURADO; RODRIGUES; ROCHA, 2018).

Segundo a OMS (2011), a intoxicação aguda por chumbo ocorre quando os níveis do metal no sangue causam apatia, agitação, irritabilidade, falta de atenção, dores de cabeça, tremores musculares, cólicas abdominais, danos nos rins, alucinações, perda de memória e encefalopatia. Além disso, o chumbo pode também causar anemia (WHO, 2011).

- CÁDMIO (Cd)

A Tabela 03 apresenta os dados sobre concentração de Cádmio encontrados na literatura. Todos os valores estão acima do recomendado pela CONAMA, sendo 0,001 mg/L. Segundo os dados os valores de Cádmio (Cd) observados ao longo do Rio São Francisco e afluentes confirmam os níveis de contaminação próximos a Três Marias e Pirapora citados na Tabela 02.

Tabela 03: Valores encontrados para Cádmiio (Cd) (mg/L)

Cádmiio			
	Locais	Valor Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa – Goiás	0,002 - 0,01	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,001 - 0,0233	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
3	Rio Jacaré e Contas	0,0011 - 0,0013	(SANTANA, <i>et al.</i> , 2020)
4	Rio Tapajós, Itaituba - Pará	0,004 - 0,004	(FRANÇA <i>et al.</i> , 2015)
5	Rio Cassiporé, AP	0,027 - 0,813	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
6	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	0,003 - 0,24	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
7	Rio Sergipe	0,0014 - 0,03	(SILVA, <i>et al.</i> , 2017)
8	Arroio Das Lavras, Lavras Do Sul - RS	0,44 - 0,48	(TEIXEIRA, <i>et al.</i> , 2018)
9	Rio Siriri	0,003 - 0,005	(CARVALHO, <i>et al.</i> , 2012)
10	Rio do Carmo	0,002 - 0,010	(FOESCH, <i>et al.</i> , 2017)

O Cd é um metal de alta toxicidade, elemento não essencial de difícil excreção e está amplamente difundido no ambiente (CARDOSO; CHASIN, 2001). A Bacia do Rio Cassiporé no estado do Amapá, passa por impactos ambientais em decorrência da atividade garimpeira na região de São Lourenço. A liberação de rejeitos da exploração de ouro, são fontes de metais pesados para o ambiente aquático, como o Cádmiio (Cd). As concentrações listadas na tabela 03, estão todas acima dos VMP, em diversas regiões, destacando-se o item 5, com concentração de 0,027-0,813 mg/L de Cádmiio no curso d'água ao longo da Bacia do Rio Cassiporé composto pelos rios Reginá e Cassiporé. Provavelmente, esse nível de contaminação, seja reflexo da atividade garimpeira na região de São Lourenço, pois no processo de lavra e beneficiamento do ouro, os metais pesados retidos no solo são liberados

diretamente na água (CESAR, 2009). Fato esse, já evidenciado na região de Poconé – MT por (RODRIGUES-FILHO; MADDOCK, 1998); e no Rio Gelado, na região de Carajás – PA, em que a liberação do Cádmiu pela garimpagem, em rios foi observada.

Os rejeitos liberados a partir dessa atividade são apontados como a principal fonte de Cd no ambiente. O item 8, na tabela 03, também ressalta altas concentrações de Cádmiu na água. Dentre os itens listados na tabela, acima dos VMP pela CONAMA, Arrio das Lavras situado na região Sul do município de Lavras do Sul, apresentou a concentração de 0,44 – 0,48 mg/L de Cádmiu, possivelmente a influência de atividade de mineração na região (TEIXEIRA; DA SILVA; GOMES, 2018). O Rio Carmo, foi a primeira região a sofrer com exploração de ouro no Brasil (MMA, 2016). Os rios Gualaxo do Norte e do Carmo (item 10, tabela 03), foram os primeiros a receber a grande massa de rejeitos advindos da barragem de Fundão, Mariana – MG, em 2015 (FOESCH, 2017) .

Ocasionalmente alterações no leito e na qualidade das águas nesses corpos hídricos. Contribuindo assim para os valores mínimo e máximo, respectivamente: 0,002 e 0,010 de cádmio na água, encontrados após análise. Dessa forma, indicando alterações nos teores de elementos traços em diferentes trechos dos rios do Carmo e Doce, atingidos diretamente pelos rejeitos liberados pelo rompimento da barragem (ICMBio, 2016; GIAIA, 2016). Este evento liberou cerca de 40 milhões de m³ de rejeitos da mineração de ferro na bacia do Rio Doce. Primeiramente, os rejeitos fluíram pela sub-bacia local até alcançarem o Rio Gualaxo do Norte e posteriormente seguiram leito abaixo sentido Rio do Carmo (CPRM, 2015).

Vale ressaltar, que em todos os locais citados na tabela 03, a ocorrência de metais pesados são provenientes das atividades de mineração. Que mesmo em baixas concentrações, seus efeitos toxicológicos e fisiológicos são severos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005). Segundo Porto e colaboradores, (1991), em alguns casos, os efeitos do minério no sistema nervoso são difíceis de serem detectados no estágio inicial, e, além disso, alguns metais bioacumulam no organismo, podendo passar de estado crônico para agudo sem ser percebido. Quando o mineral é absorvido em excesso pelo organismo humano pode levar ao agravamento da anemia em uma população de maior risco podendo levar até a morte. Segundo a OMS (2011) a exposição crônica ao cádmio de 100 mg por dia, é afetada principalmente pelos rins. Para isso, seria necessária uma ingestão de 14 a 33 L desta água por dia, dependendo do ponto, para alcançar o nível de exposição crônica, no entanto, o consumo de água por adulto dificilmente atinge 14 L.

- COBRE (Cu)

Na tabela 4 são apresentados os dados para o Cobre. Os valores apresentados estão acima dos valores recomendados pela CONAMA, que é de 0,009 mg/L.

Tabela 04: Valores encontrados para Cobre (Cu) (mg/L)

Cobre			
	Local	Valor mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa – Goiás	0,01 - 0,14	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,009 - 0,0265	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
3	Rio Paraopeba - MG	0,014 - 0,079	(VERGILIO <i>et al.</i> , 2020)
4	Mananciais mina Cerro Rico - RS	0,1843 - 0,3536	(SILVA, <i>et al.</i> , 2017)
5	Riacho Ubari - CE	0,016 - 0,87	(PERLATTI <i>et al.</i> , 2021)
6	Reservatório da mina Serra do Ibiapaca, Ceará	0,2 - 2,3	(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019)
7	Sub-bacia do Arroio João Dias	0,015 - 0,021	(PALM, 2013)
8	Rio Cassiporé, Amapá	0,028 - 1,03	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
9	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MG	0,021 - 0,054	(CESAR, <i>et al.</i> , 2011)
10	Manancial Rio Camaquã	0,01 - 0,05	(SILVA, 2017)

A Mina Cerro Rico foi a área de estudo da análise do item 10, tabela 04, localizada no município de Lavras do Sul, na região de Vista Alegre. Nessa região, a ocorrência do Cobre (Cu), em vista de outros metais em estudo, é a mais frequente. Sua origem dá-se, principalmente, por meio da calcopirita, seguido da bornita, azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), cuprita e malaquita. Sendo a forma mais biodisponível, portanto, mais tóxica do cobre, o íon cúprico (Cu^{+2}) (SILVA, 2017).

Atualmente a maior parte das minas nessa região estão desativadas ou com suas reservas auríferas esgotadas (GRAZIA; PESTANA, 2008). Mas, quando ativas, essas mineradoras geravam resíduos, os quais possuíam rejeitos tóxicos contendo especialmente cobre (Cu). Com isso, possivelmente pode-se justificar a elevada concentração de cobre nos mananciais da região da mina Cerro Rico, onde o Rio Camaquã, é o principal manancial da região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul (SILVA, 2017). Nas análises constatou-se a concentração de 0,01 – 0,05 mg/L de Cu, sendo, esses valores, acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA.

O Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, até o ano de 1981, descreveu que o estéril e o rejeito da Companhia Brasileira do Cobre (CBC) eram depositados em locais impróprios, nas depressões circunvizinhas às minas e nas margens do Arroio João Dias, afluente do Rio Camaquã, o que contribui para a ocorrência de contaminações e que corrobora com as altas concentrações de metais pesados no manancial (FERNANDES; ALAMINO; ARAUJO, 2014). O item 1, tabela 04, é um exemplo da contribuição da mineração para o aumento das concentrações de metais pesados, 0,01-0,14 mg/L de Cobre foram detectados na água de lagos artificiais em área de mineração a céu aberto, localizada no município de Mara Rosa, estado de Goiás. As águas desses lagos de cavas costumam ser quimicamente alteradas, em consequência da drenagem ácida da mineração, tornando-se ricas em substâncias químicas contaminantes, adquirindo, assim, potencial de degradação ambiental.

Os lagos artificiais são formados a partir do esgotamento da região na extração do minério, posteriormente essas cavas são preenchidas com influxo hídricos de origem subterrânea e pluvial, formando lagos artificiais (HANCOCK; WRIGHT; DE SILVA, 2005). Diversos autores relatam que normalmente esses lagos artificiais formados pela extração mineral, são abandonados, pois, estudos sobre a qualidade dessas águas, o seu comportamento e riscos ao meio natural são escassos (PELLICORI; GAMMONS; POULSON, 2005).

- ALUMÍNIO (Al)

A tabela 05 apresenta os dados encontrados sobre a presença de Alumínio na água, nos quais estão acima do recomendado pela CONAMA. A presença do metal está relacionada à qualidade da água potável, assim como expõe os humanos por via oral e inalatória. Existe pouca indicação de que o alumínio é tóxico por via oral na exposição por curto prazo, apesar de sua ampla ocorrência em alimentos, água potável e muitas fórmulas antiácidas (CETESB, 2012). Os valores máximos de metais

pesados (mg/L) estão acima dos limites de concentração pela CONAMA(nº 357/05) sendo 0,1 mg/L.

Tabela 05: Valores encontrados para Alumínio (Al) (mg/L)

Alumínio			
	Local	Valor Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa – Goiás	0,21 - 1,21	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,0107 - 7,2985	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
3	Rio Paraopeba - MG	0,27 - 10,02	(VERGILIO <i>et al.</i> , 2020)
4	Rio Tapajós, Itaituba - Pará	0,3 - 0,6	(FRANÇA, 2015)
5	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	0,14 - 0,59	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
6	Rio Paraopeba, São Joaquim de Bicas, MG	0,2	(CYRNE <i>et al.</i> , 2020)
7	Cavas e poços rio Paraíba do Sul	3,93 - 32,68	(DINIZ, 2010)
8	Rio Laranjinha e Ribeirão das Pedras - PR	1317,5 - 2542	(GALHARDI, <i>et al.</i> , 2016)
9	Reservatório de Taiaçupeba - SP	0,26 - 14,32	(TERRELL, 2007)
10	Bacia Carbonífera do Sul - SC	13,84 - 37,83	(MARQUES, <i>et al.</i> , 2010)

Cyrne (2020), ao avaliar o nível de contaminação após o vazamento de rejeitos da mina de Córrego do Feijão, da Vale, em 2019, no estado de Minas Gerais. Constatou-se que os níveis de Alumínio dissolvidos na água estavam acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA, 0,2mg/L de Al (item 6, tabela 05) na amostra de água do Município de São Joaquim das Bicas. O caso do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, ocorrido em 25 janeiro de 2019 no Município de Brumadinho-

MG, dispensou 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, vitimou centenas de trabalhadores e moradores locais, além de ter levado a interrupção do consumo da água do Rio Paraopeba, e as concentrações encontradas de Al, assim como de outros metais investigados pelo autor, confirmam que os rejeitos de mineração contendo metais tóxicos, causaram a contaminação o Rio Paraopeba, prejudicando o abastecimento de água de várias pessoas (DE OLIVEIRA CYRNE; SALES; DE ARAUJO; DE ARAUJO, 2020).

Os mesmos teores de Al foram encontrados por Vergilio (2020), sendo 0,27-10,02 mg/L de Al na água, no Rio Paraopeba. Com isso, levantando preocupação sobre os possíveis efeitos à biota e a saúde humana, visto que alguns elementos como o Al, possui alta mobilidade dos rejeitos para água. Portanto, justificai-se as altas concentrações encontradas no leito do rio, e com potencial para induzir citotoxicidade e danos ao DNA, como já demonstrado para rejeitos de Fundão. Dessa forma, gerou impactos no abastecimento de água dos municípios abastecidos pelo Rio Paraopeba, principalmente para população que vive nas áreas afetadas (CPRM, 2019); (QUADRA; ROLAND; BARROS; MALM *et al.*, 2019);(SEGURA; NUNES; PANIZ; PAULELLI *et al.*, 2016); (DOS SANTOS VERGILIO; LACERDA; DE OLIVEIRA; SARTORI *et al.*, 2020).

- MANGANÊS (Mn)

Os dados encontrados sobre a presença de Manganês estão localizados na Tabela 06. Todos os valores estão acima do permitido pela CONAMA, de 0,1 mg/L.

Tabela 06: Valores encontrados para Manganês (Mn) (mg/L)

Manganês			
	Local	Valor Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa – Goiás	0,28 - 0,89	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,1 - 0,1138	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
3	Rio Nangaritzá	0,03 - 3,99	(GONZALEZ-MERIZALDE <i>et al.</i> , 2016)
4	Rio Paraopeba - MG	0,182 - 5,113	(VERGILIO <i>et al.</i> , 2020)

Tabela 06: Valores encontrados para Manganês (Mn) (mg/L) – Continuação.

5	Rio Paraopeba - MG	0,133 - 0,118	(WEBER <i>et al.</i> , 2020)
6	Rio Doce, Mariana - MG	0,265 - 0,2653	(GOMES <i>et al.</i> , 2018)
7	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	0,256 - 1,33	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
8	Rio da ponte, Ouro Preto - MG	4,911 - 6,126	(GUIMARÃES-SILVA, 2007)
9	Rio Paraopeba, São Joaquim de Bicas, MG	0 – 3,0	(CYRNE <i>et al.</i> , 2020)
10	Cavas e poços Rio Paraíba do Sul	0,24 - 0,81	(DINIZ, 2010)

Concentrações menores que 0,05 mg/L de Mn geralmente é aceitável em mananciais, por não resultarem em manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água (COSTA, 2018). Os valores, conforme a tabela 06, em todas as áreas de estudos estão acima da concentração máxima permitida pela CONAMA para este metal. Assim, como os autores Cyrne (2020), Vergilio (2020), Cesar (2020) e Ribeiro *et. al.*, (2012), destacaram o aumento dos metais de Cu, Pb, Cd e Al em suas análises, observaram também o aumento da concentração de manganês (Mn) na água nos Rio Paraopeba, Rio Teles Pires e Rio São Francisco. Com concentrações de 0,182-5,113 mg/L; 0,256 - 1,33 mg/L e 0,1 - 0,1138 mg/L de Mn respectivamente encontradas na amostragem.

As elevações das concentrações de manganês nessas áreas podem ser explicadas pela contaminação da água pelo lançamento de rejeitos contendo substâncias tóxicas, em decorrência da atividade de mineração. Outro exemplo de altas concentrações de Mn na água a partir da mineração é dado no item 8 da tabela 06, no Rio da ponte, município de Ouro Preto, Estado de Minas Gerais. Nessa região, existem muitos garimpos de topázio, os quais utilizam ainda técnicas rudimentares para extração mineral e não possuem controle de descarte dos rejeitos. Dessa forma, a geração de pilhas de rejeitos causam danos como o assoreamento dos cursos d'água. Guimarães-Silva (2007) determinou altas concentrações de 4,911-6,126 mg/L de Mn na área de estudo, esses valores podem ser justificados, pois, o local tem a presença de garimpos, com revolvimento de material e utilização de dragas, que aumentam

espécies metálicas no compartimento aquático. Sendo assim, uma área de potencial risco para a biota e a saúde humana.

- ZINCO (Zn)

Os dados sobre a presença de Zinco estão presentes na Tabela 07. Assim como todos os valores estão acima do permitido pela CONAMA, que é de 0,18 mg/L.

Tabela 07: Valores encontrados para Zinco (Zn) (mg/L)

Zinco			
	Local	Valor mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	3 lagos em Mara Rosa – Goiás	0,33 - 0,88	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
2	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,18 - 0,18	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
3	Ecorregião Aquática Xingu- Tapajós	0,201 -76,185	(CESAR <i>et al.</i> ,2011)
4	Rio Cassiporé, Amapá	0,029 - 0,195	(LIMA <i>et al.</i> , 2015)
5	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	16,578 - 76,185	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
6	Rio Ribeira de Iguape	0,672 - 0,958	(MELO, <i>et al.</i> , 2012)
7	Mananciais mina Cerro Rico - RS	0,2528 - 0,2660	(SILVA, <i>et al.</i> , 2017)
8	Reservatório de Taiapuêba - SP	5,5 – 5,14	(TERRELL, 2007)
9	Poço Planalto, Caldas – MG	15,38 - 18,6	(FERRARI <i>et al.</i> 2017)
10	ETA Vila Alegre, Ouro Preto - MG	0,2031- 0,3487	(RAMOS, <i>et al.</i> , 2018)

Durante o período chuvoso o Zinco, apresentou maiores valores dissolvidos, e, em outubro, algumas concentrações foram menores que o LD. As maiores concentrações localizam-se próximo a Três Marias. Na área próxima a três Marias, as concentrações estão entre 1,6 e 180 vezes o máximo permitido, revelando a forte influência dos efluentes industriais enriquecidos em Zn nessa área. Os pontos

localizados na área de influência das indústrias em Três Marias e Pirapora apresentaram níveis de contaminação em todas as amostragens.

Segundo Ribeiro (2012) em Três Marias foram considerados índices históricos de contaminação por metais, principalmente o zinco (Zn), originados da usina de beneficiamento localizada no município. Durante um longo período, essa usina lançou os efluentes diretamente no Córrego Consciência, afluente direto do Rio São Francisco (RIBEIRO; JUNIOR; HORN; TRINDADE, 2012). Outro ponto de destaque refere-se à entrada do afluente Rio Abaeté, onde existe intensa atividade de garimpo. Três Marias destacam-se pela presença da usina hidrelétrica da Companhia Hidrelétrica de Minas Gerais (CEMIG), cuja represa define uma nova dinâmica hidrológica ao Rio São Francisco. Outra característica importante é a presença da indústria de beneficiamento de Zn, que tem causado polêmica quanto à contaminação das águas do Rio São Francisco.

Os valores encontrados ao longo do segmento no Rio São Francisco não estão relacionados unicamente à indústria, dado que existe uma influência grande da agricultura e da pecuária (RIBEIRO; JUNIOR; HORN; TRINDADE, 2012). Os teores de zinco, segundo Cesar et al. (2011), em seu trabalho foi o metal de maior concentração em contaminação. No item 3, da tabela 07, observam-se os valores mínimos e máximos, sendo de 0,201 -76,185 mg/L, chegando a atingir concentrações cerca de 400 vezes superiores ao limite recomendado (0,18 mg/L), nas bacias do Rio Tapajós e Rio Xingu. É provável que estes altos teores de zinco estejam associados aos impactos ambientais em decorrência dos garimpos artesanais e mineradoras adjacentes as áreas de estudos. Nas quais despejam seus resíduos tóxicos, contaminando os recursos hídricos (CESAR; CASTILHOS; COLONESE; EGLER et al., 2011)

- FERRO (FE)

Os dados apresentados na tabela 08 referem-se à concentração de Ferro. Todos valores máximos estão acima do permitido pela CONAMA, de 0,03 mg/L.

Tabela 08: Valores encontrados para Ferro (Fe) (mg/L)

Ferro			
	Local	Valores Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora	0,3 - 5,1857	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
2	Rio Paraopeba - MG	04556 - 0,4582	(WEBER <i>et al.</i> , 2020)
3	Bacia do Rio Teles – Alta Floresta, MT	32,28 - 116,79	(CESAR <i>et al.</i> , 2011)
4	Rio Gualaxo do Norte	1,62 - 7,01	(FOESCH, <i>et al.</i> , 2017)
5	Laranjinha e Ribeirão das PR	988 - 2824	(GALHARDI <i>et al.</i> , 2016)
6	Caldas (Minas Gerais, Brasil) e em um reservatório (reservatório de Antas)	30,2 - 33,7	(RODGHER <i>et al.</i> , 2013)
7	Poço Planalto, Caldas –	0,247 - 1,508	(FERRARI <i>et al.</i> , 2017)
8	Rio Paraopeba, MG	36,94 - 41,26	(LEBRON, <i>et al.</i> , 2020)
9	Rio Siriri	0,507 - 2,619	(CARVALHO, <i>et al.</i> , 2017)
10	Bacia do Rio Guadamar	0,739 - 4,27	(ALONSO, <i>et al.</i> , 2004)

Dos locais citados na tabela 08, apesar de todos os valores estarem acima dos limites, determinados pela CONAMA. Destaca-se o trabalho do Galhardi (2016) que avaliou concentrações de alguns metais pesados no Rio Laranjinha e Ribeirão das Pedras na cidade de Figueira, estado do Paraná. Ao avaliar a concentração de Ferro em águas superficiais, encontrou valores de 988,00 - 2824,00 mg/L de Fe. Sendo que, a área de estudo é de uma mineração de carvão, uma atividade econômica de grande importância para a comunidade local. A exploração de carvão ocorre a céu aberto e sob poço subterrâneo. Atualmente, apenas uma mina subterrânea está operando. Porém, quando ativa os efluentes gerados nos rejeitos eram jogados diretamente nos córregos, atingindo assim os corpos hídricos. Dessa forma, modificando sua composição química, contribuindo com a contaminação da água, o que provavelmente justifica a alta concentração de Ferro na análise (GALHARDI; BONOTTO, 2016).

Outro dado que destacou-se, foi o item 08 da tabela, em que Lebron et al. (2020) ao avaliar água da superfície do rio Paraopeba, encontrou concentração de 36,94 - 41,26 mg/L de Fe²⁺. A elevada concentração de ferro na água é justificado pela contaminação dos rejeitos da mineração em Brumadinho, no estado de Minas Gerais. A maior parte dos rejeitos alcançaram o “corrêgo do feijão”, que é um efluente do rio Paraopebas. Vergilio e colaboradores, (2020) e Thompson e colaboradores, (2020) haviam relatados, que, após o rompimento da barragem, ocorreram aumento nos níveis de metais ao longo do rio Paraopeba e deterioração da qualidade da água da área es

- NÍQUEL (Ni)

Os dados apresentados na tabela 09 estão relacionados a concentração de Níquel presentes na água. Todos valores máximos estão acima do permitido pela CONAMA, de 0,025 mg/L.

Tabela 09: Valores encontrados para Níquel (Ni) (mg/L)

Níquel			
	Local	Valores Mínimo e Máximo (mg/L)	Referência
1	Rio Cateté – PA	0,026 - 0,04	(DA SILVA, <i>et al.</i> , 2021)
2	Cavas de mineração, Mara Rosa – Go	0,06 - 0,27	(BÁRBARA <i>et al.</i> , 2019)
3	Rio Sergipe - SE	0,17 - 0,43	(COSTA, 2018)
4	Lagoa Azul – SC	0,04 - 0,05	(SILVANO, 2003)
5	Rio São Francisco – MG	0,02 - 0,37	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2012)
6	Rio Paraopebas- MG	0,24 - 0,30	(LEBRON, <i>et al.</i> , 2020)
7	Córrego Água Limpa, Pratápolis/MG	0,02 - 0,04	(COSTA,2018;PIERONI, 2013)
8	Ecorregião Áquatica Xingu – Tapajós	0,025 - 0,027	(CESÁR, <i>et al.</i> , 2011)
9	Rio Vermelho, Pilar de Goiás - GO	0 - 0,036	(PALMA; GOLD;RIBEIRO)
10	Rio Paraopebas - MG	0,035 - 0,109	(RAMOS, <i>et al.</i> , 2020)

Nos rios, o níquel é transportado como partículas precipitadas com material orgânico; nos lagos, a forma iônica é predominante, associada com material orgânico. O níquel não é acumulado por organismos aquáticos em quantidades significativas. As atividades mais comuns que acarretam exposição ocupacional ao níquel são a mineração, a moagem e a fundição dos minérios, a partir de sulfetos e óxidos, e a utilização de produtos primários de níquel, tanto na produção de aço inoxidável e de ligas quanto em fundições (CETESB, 2012). Palma *et al.*, realizaram estudo de avaliação de risco ecológico no Rio Vermelho, município de Pilar de Goiás, para determinar o risco associado a atividade mineradora e exposição da fauna e flora. Em que apresentou concentrações de 0,036 mg/L de Níquel nas amostragens de água superficial. O nível elevado de níquel nessa amostra foi elevado possivelmente. Pois o ponto da coleta está localizado à jusante das pilhas de estéril dos Atalas e da pilha da Grota, portanto pode estar sendo influenciado diretamente por estas unidades operacionais.

Outro exemplo, citado na tabela 9, é os dados do Rio Cateté, localizado na região Sudeste do Pará, no Município de Ourilândia do Norte. Nessa região está localizada o projeto Onça-Puma de mineração, onde teve sua licença de operação suspensa em 2017, por descumprimento de condicionantes sócio ambientais. Com isso, pesquisadores como Silva-Gomes (2021) preocuparam-se com a saúde desse rio, encontrados vários locais de despejos clandestinos próximos ao rio.

Dessa forma, as análises constataram concentrações de 0,026 -0,04 mg/L de Níquel na água, indicando que o rio continua sofrendo descargas de efluentes carregados com metais pesados, como Ni. Vários metais também foram encontrados acima dos limites máximos permitidos pela CONAMA, como: ferro, cobre, cromo, zinco e manganês. Além da contaminação por esses efluentes, o rio sofre com o assoreamento pelos detritos carregados por água pluvial, nos quais são consequências do desmatamento na região. Portanto, contribuindo para diminuição da qualidade da água naquela região (DA SILVA GOMES; DO VALE; DE SOUSA; DE PAIVA, 2021).

- MERCÚRIO (Hg)

Os dados sobre concentrações de Mercúrio, estão localizados na tabela 10. Todos os valores máximos estão acima do permitido pela CONAMA, de 0,01 mg/ L.

Tabela 10: Valores encontrados para Mercúrio (Hg) (mg/L)

Mercúrio			
	Local da coleta	Valores Mínimos e Máximo (mg/L)	Referência
1	Rio Paraopeba - MG	0,00081- 0,00084	(RAMOS, <i>et al.</i> , 2020)
2	Ribeirão do Carmo - MG	0,0022 - 0,0057	(RAMOS, 2005)
3	Rio Cassiporé - AP	0,003 - 0,150	(LIMA, 2013)
4	Lagos Garimpo de Caxias - MA	0,00258 - 0,267	(GONÇALVES <i>et al.</i> , 2017)
5	Boca do Arapixunas Vila de Arapixunas PA	0,00125- 0,00515	(SOUSA, <i>et al.</i> , 2016)
6	Rio Ibicuí-Mirim	0,0002 - 0,0003	(BONUMÁ, <i>et al.</i> , 2006)
7	Garimpo de Caxias -MA	0,00258 - 0,267	(GONÇALVES <i>et al.</i> , 2017)
8	Rio Súcio Santos domingos	0,02112-0,17667	(VELÁSQUEZ, <i>et al.</i> , 2011)
9	Bacia do Ribeirão do Grama - MG	0,00093- 0,0021	(TINÔCO, <i>et al.</i> , 2010)
10	Região garimpeira (Vizeu-Pará)	0,00108- 0,00114	(VIEIRA <i>et al.</i> , 1996)

O Hg é considerado o mais tóxico dos metais pesados (CLARCKSON, 1990, 1997) por isso, é alvo de vários estudos, especialmente na região Amazônica, próximos às áreas de garimpos (BRABO *et al.*, 2003; CORDY *et al.*, 2011; HACON *et al.*, 2008; KEHRIG *et al.*, 2008). Para Lacerda & Malm (2008), amostras de água podem apresentar baixas concentrações de Hg, porque este metal tende a sedimentar, quando associado ao material particulado em suspensão; já o mercúrio dissolvido apresenta maior biodisponibilidade, podendo ser mais facilmente incorporado pela biota aquática. Dessa forma, a sedimentação do material particulado pode explicar os níveis reduzidos de mercúrio encontrados nesta revisão. A liberação de Hg nos cursos d'água da bacia do Rio Cassiporé (tabela 10), pelos garimpos já tem mais de um século, estando este metal presente no meio em abundância (DNPM, 1981, 1982a,b; PINTO *et al.*, 1999), o que propicia sua acumulação pelos organismos aquáticos.

Dados na literatura já ressaltam a liberação de Hg nos rios da região de Lourenço que quase ultrapassou uma tonelada (DNPM, 1986), passando ser maior nos anos seguintes pela entrada de grandes mineradoras na área, de uma a duas toneladas ao ano (MATHIS; DE BRITO; BRÜSEKE, 1997) (MATHIS; DA SILVA, 2003). Lima (2013), ao analisar o rio Cassiporé encontrou teores elevados de mercúrio na água de 0,003 – 0,150mg/L, indicando provável contaminação. Sendo esse indicador, reflexo da atividade garimpeira que ocorre nessa região, isso porque no processo de beneficiamento do ouro os metais pesados retidos no solo são liberados diretamente na água, tornando-a com o tempo imprópria para o uso, devido ao aumento da sua toxicidade. Tinôco e colaboradores, (2010) também avaliaram a contaminação por mercúrio no município de Descoberto em Minas Gerais. Este município está associado a exploração de Ouro, desde o século 19.

Os resultados das análises identificaram elevadas concentrações de mercúrio, sendo 0,00093 - 0,0021 mg/L de Hg na água. Podendo ser justificadas, pela atividade de mineração que aconteceu no passado e também o autor relatou um afloramento de mercúrio em sua forma líquida de maneira acidental, que se encontra 20m próximo ao córrego Rico, que deságua na Bacia do Ribeirão do Grama. Com isso, desde 2002, a companhia de abastecimento da região suspendeu a utilização dessa água contaminada. Por fim, os demais autores citados na tabela, apresentaram em suas análises também teores elevados de mercúrio em água. Nos quais geralmente são provenientes da dragagem de sedimentos ou desmonte de barrancos durante as operações de lavra. A intensa atividade de extração mineral nos estados vem ao longo dos anos modificando o meio ambiente das regiões, visto que, essa atividade geram uma grande quantidade de resíduos, que devem ser geridos adequadamente afim de diminuir os impactos ambientais.

- MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS EM ÁGUA NO BRASIL

A partir dos dados levantados sobre a concentração de metais nas regiões brasileiras, plotamos na A figura 1, no mapa do Brasil, a distribuição de contaminação por metais entre as regiões. Sendo o Estado de Minas Gerais o que mais sofre com contaminação de suas águas. Portanto, já demonstrado na literatura, níveis elevados de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Mercúrio (Hg), Alumínio (Al), Cobre (Cu) e Cádmiio (Cd), acima dos valores máximos permitidos pela

CONAMA. Seguindo, dos Estado: Mato Grosso, Goiás, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Amapá, Santa Catarina, Sergipe e Maranhão.

Distribuição da contaminação de metais na água, no Brasil

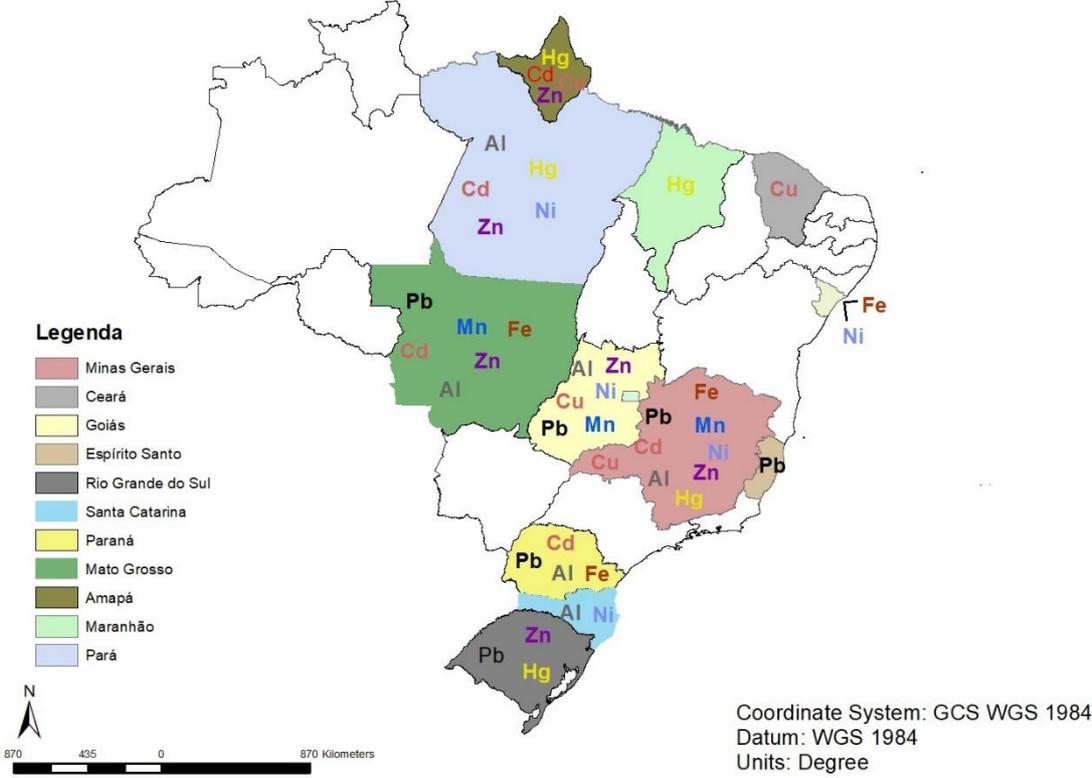


Figura 2: Mapa do Brasil, destacando as regiões com contaminação da água por metais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho nos propusemos a fazer uma revisão da literatura e mapear trabalhos que detectaram metais em águas brasileiras. Nossa busca levantou níveis elevados de todos os metais investigados em diversos rios e lagoas. Destacamos que os níveis desses metais acima dos valores máximos permitido pelo CONAMA, nas quais, em sua maioria reflexo da atividade de mineração e garimpagem em todo o Brasil. Todos os trabalhos citados nessa revisão encontram-se com valores acima do valor permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para todas as áreas de estudos e metais.

A partir dos dados apresentados neste trabalho, podemos notar que o estado de Minas Gerais é um dos estados que mais sofre com a poluição de suas águas por metais pesados. São eles, chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu), zinco (Zn), alumínio (Al), níquel (Ni), mercúrio (Hg), manganês (Mn) e ferro. Sendo preocupante os elevados níveis de Cd, Hg, Ni e Pb na água, acima dos valores máximos permitidos pela CONAMA, devido ao seu alto potencial toxicológico. O alto teor de metais apresentados é consequência da intensa atividade de mineração nessa região. Outra justificativa são os desastres ambientais ocasionados pelos rompimentos de barragens sofridos nos últimos anos. Vale lembrar, que o rompimento das barragens de rejeitos das mineradoras e também o lançamento de resíduos sem tratamento no meio ambiente, provocam danos toxicológicos irreparáveis em todos os níveis tróficos da cadeia alimentar.

Os dados encontrados são preocupantes devido aos conhecidos efeitos tóxicos induzidos pela ingestão prolongada de água contaminada por metais pesados. Vale ressaltar a importância da constante vigilância em relação aos níveis de metais nas águas para mitigar os efeitos tóxicos ao longo da cadeia alimentar, bem como realizar controle dos danos sócio-ambientais das atividades poluidoras.

8. REFERÊNCIAS

- ADJROUD, O. The toxic effects of nickel chloride on liver, erythropoiesis, and development in Wistar albino preimplanted rats can be reversed with selenium pretreatment. **Environmental toxicology**, 28, n. 5, p. 290-298, 2013.
- AFONSO, J. C. Manganês no brasil: descoberta, extração, consumo e comercialização numa perspectiva histórica. **Química Nova**, 42, p. 1172-1183, 2020.
- AQUINO, F. L. D. **Mesa Redonda II-Segurança de Barragens: avanços e desafios**. 2019.
- BÁRBARA, V.; TAVARES, M.; D'ALESSANDRO, N.; SILVA, D. d. M. et al. Chemical, ecotoxicological and genotoxicological evaluation of waters of open pit mine lakes / Avaliação química, ecotoxicológica e genotoxicológica de águas de cavas de mineração a céu aberto. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 03/21 2019.
- BASTA, P. C.; HACON, S. D. S. **Impacto do mercúrio na saúde do povo indígena Munduruku, na bacia de Tapajós**. 2020.
- BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. -, Universidade de São Paulo.
- BOMFIM, M. J. C. D. A., BAHIA: UFRB, 46P. **Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária**. 2017.
- BRABO, E. D. S.; SANTOS, E. D. O.; JESUS, I. M. D.; MASCARENHAS, A. F. *et al.* Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva Munduruku, Município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 15, p. 325-332, 1999.
- BRABO, E. S.; ANGÉLICA, R. S.; SILVA, A. P.; FAIAL, K. R. F. MASCARENHAS, A. F. S. Assessment of mercury levels in soils, waters, bottom sediments and fishes of acre state in Brazilian Amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 147, p. 61-77, 2003.
- CARDOSO, L. M.; CHASIN, A. A. do cádmio e seus compostos. 2001.

CESAR, R. G.; CASTILHOS, Z. C.; COLONESE, J. P.; EGLER, S. G. et al.

Caracterização das águas superficiais e teores de mercúrio em sedimentos e em peixes. In: **CETEM/MCT, 2011.**

CORDY, P.; VEIGA, M. M.; SALIH, I.; AL-SAADY, S.; CONSOLE, S.; GARCIA, O.

Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. **The Science of the Total Environment**, v. 410-411, p.154–160, 2011.

CONAMA. 2005. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução 357 de Março de 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/conama acesso em: 22/08/ 2021.

COSTA, L. T.; DAMAS, G. B.; BERTOLDO, B. Mercúrio: da antiguidade aos dias atuais. **Revista Virtual de Química**, 6, n. 4, p. 1010-1020, 2014.

COSTA, L. A. D. Análise das concentrações de metais pesados na água e sedimento do Rio Sergipe (SE). **2018.**

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira: PETAR, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, 29, p. 40-45, 2006.

CPRM. **Monitoramento especial da bacia do Rio Paraopeba - Relatório 01: Monitoramento Hidrológico e Sedimentométrico**, http://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/paraopeba/RT_01_2019_PARAOPEBA.pdf (2019)

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil. Monitoramento Especial do Rio Doce**. 2015.

Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Eventos-Criticos/Monitoramento-Especial-do-Rio-Doce-4057.html>>. Acesso em: 24 ago. 2021

CYRNE, Rafael Cesar de Oliveira *et al.* REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DA ÁGUA DO RIO PARAPEBA APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM MINA CÓRREGO DO FEIJÃO / HEAVY METAL REMOVAL FROM PARAPEBA RIVER WATER AFTER DAM COLLAPSE MINA CÓRREGO DO FEIJÃO. **Brazilian Journal**

Of Development. Curitiba, mar. 2020. p. 10371-10379. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-060>. Acesso em: 14 jul. 2021.

DA SILVA GOMES, G.; DO VALE, S. B.; DE SOUSA, D. J. L.; DE PAIVA, R. S.

Análise preliminar da contaminação e assoreamento do Rio Cateté por um empreendimento minerário no Pará–Brasil. Parte I. **Brazilian Journal of Development**, 7, n. 3, p. 32348-32359, 2021.

DALLEGRAVE, E.; SEBBEN, V. C. Toxicologia clínica: aspectos teórico-práticos.

Gonzáles, FHD; Silva, SC Patologia clínica veterinária: texto introdutório. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 206-289, 2008.

DE FREITAS MUNIZ, D. H.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, 4, n. 1, p. 83-100, 2006.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas.

Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE), **2007**.

DUARTE, H. A. Ferro-Um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Química Nova**, 42, p. 1146-1153, 2020.

ESCOBAR, H. Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil. **American Association for the Advancement of Science** 2015.

FARIAS, C.; COELHO, J. J. C. D. G. E. E. E. C., TECNOLOGIA E INOVAÇÃO.

CGEE. **Mineração e meio ambiente no Brasil**, PNUD-Contrato 2002/001604. 2002.

FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. D. C. J.; ARAUJO, E. R. Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos. CETEM/MCTI 2014.

FERRAZ, L.; DOURADO, A.; RODRIGUES, A.; ROCHA, F. A. Análise Da Presença De Metais Pesados Na Água Em Diferentes Reservatórios Subterrâneos No Município De Vitória Da Conquista-Ba. **Agrarian Academy**, 5, n. 09, 2018.

FOESCH, M. D. S. Características físico-químicas e comportamento espectral de águas contaminadas por rejeitos de mineração: o caso de Mariana, **MG. 2017**.

FRANÇA, S. C. A.; OLIVEIRA, H. D. S. P.; ROCHA, J. P. **Atividades de mineração e avaliação de metais em água superficial, sedimento de fundo e peixes no Rio Tapajós**. In: Museu Paraense Emílio Goeldi/EMBRAPA, 2015.

GALHARDI, J. A.; BONOTTO, D. M. Hydrogeochemical features of surface water and groundwater contaminated with acid mine drainage (AMD) in coal mining areas: a case study in southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 23, n. 18, p. 18911-18927, 2016.

GIAIA - Grupo Independente para Análise do Impacto Ambiental. Relatório parcial: Expedição Rio Doce. Disponível em: . Acesso em: 26 ago. 2021.

GONZALEZ-MERIZALDE, M. V.; MENEZES-FILHO, J. A.; CRUZ-ERAZO, C. T.; BERMEO-FLORES, S. A. et al. Manganese and Mercury Levels in Water, Sediments, and Children Living Near Gold-Mining Areas of the Nangaritza River Basin, Ecuadorian Amazon. **Arch Environ Contam Toxicol**, 71, n. 2, p. 171-182, Aug 2016.

GOMES, L.; CHIPPARI-GOMES, A.; LOPES, T.; PEREIRA, T. et al. Genotoxicity effects on *Geophagus brasiliensis* fish exposed to Doce River water after the environmental disaster in the city of Mariana, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 79, 11/14 2018.

GOMES, C. S. D. M. **Cobre: fisiologia e fisiopatologia**. 2016. -.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em ciências do solo**, 4, n. 3, p. 345-390, 2005.

GUIMARÃES-SILVA, Aline Kelly; MACHADO, Daniela Alcântara; NALINI JUNIOR, Hermínio Arias; LENA, Jorge Carvalho de. Water quality in the topaz prospecting area of the Ponte River sub-basin, Ouro Preto - MG. **Rem - International Engineering Journal: Escola de Minas**. Ouro Preto, p. 603-611. dez. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000400005>.. Acesso em: 15 jul. 2021.

HACON, S.; BARROCAS, P. R. G.; VASCONCELLOS, A. C. S.; BARCELLO, C.;

WASSERMAN J. C. An overview of mercury contamination research in the Amazon basin with an emphasis on Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 24, n. 7, p. 1479-1492, 2008.

HALL, J. Á. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of experimental botany**, 53, n. 366, p. 1-11, 2002.

HOLZBACH, J. C.; BARROS, E. I. T. M.; DE OLIVEIRA KRAUSER, M.; LEAL, P. V. B. Chumbo: Uma introdução à extração e a fitorremediação. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, 3, n. 4, p. 178-183, 2012.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Resultados preliminares da avaliação do impacto do acidente da Samarco no ambiente marinho**. Ofício nº 225/2016 - GABI/PRESI/ICMBio. Brasília, 22 de março de 2016. Disponível em . Acesso em: 24 ago. 2021.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais**. Relatórios 1º, 2º e 3º trimestres. Belo Horizonte. IGAM. 2013.

JAKUBOSKI, A. P.; SANTOS, I.; ROUBER, E. **Poluição das águas: consequências para os seres humanos**. Juína–MT 2014.

JEN, M.; YAN, A.C. **Syndromes associated with nutritional deficiency and excess**. Clin Dermatol.,v.28, n.6, p.669-85, nov./dez. 2010.

KEHRIG, H. A.; HOWARD, B. M.; MALM, O. Methylmercury in a predatory fish (*Cichla* spp.) inhabiting the Brazilian Amazon. **Environmental Pollution**, v. 154, p. 68-76, 2008

KOURY, J. C.; DONANGELO, C. M. Homeostase de cobre e atividade física. **Revista de Educação Física/Journal of Physical Education**, 76, n. 136, 2007.

KREWSKI, D., YOKEL, R.A., NIEBOER, E., BORCHELT, D., COHEN, J., HARRY, J., KACEW, S., LINDSAY, J., MAHFOUZ, A.M. & RONDEAU, V. 2007. Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, 10: 1-269.

LACERDA, L. D.; MALM, O. 2008. **Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas**. Estudos Avançados, 22(63): 173-190.

LEBRON, Y. A. R.; MOREIRA, V. R.; DRUMOND, G. P.; DA SILVA, M. M. et al.

Graphene oxide for efficient treatment of real contaminated water by mining tailings: metal adsorption studies to Paraopeba river and risk assessment. **Chemical Engineering Journal Advances**, 2, p. 100017, 2020.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. J. Q. N. N. E. **Metais pesados no ensino de química**. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

LIMA, D.; SANTOS, C.; SILVA, R.; YOSHIOKA, E. et al. Heavy metal contamination in fish and water from Cassiporé River basin, State of Amapá, Amazonia, Brazil. **Acta Amazonica**, 45 (4), p. 405-414, 08/17 2015.

LOZI, A. A. Toxicidade comparada dos metais pesados, arsênio, cádmio, chumbo, cromo e níquel, sobre parâmetros reprodutivos de camundongos machos adultos após exposição aguda. **2019**.

LUNDHAMER, S. 1991. **Distribuição dos Metais Pesados nos Sedimentos e na Água do Rio São Francisco a Jusante de Três Marias**. In: ENESMA, 4, 1993, Cuiabá.

MAHAR, A.; WANG, P.; ALI, A.; AWASTHI, M. K.; LAHORI, A. H.; WANG, Q.; LI, R.;

ZHANG, Z. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.126, p. 111–121, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>>.

Doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.12.023

MARQUES, M. S.; NOGUEIRA, S. M. A. J. A. E. ST 4 **De quem é essa terra? Os**

impactos sócio espaciais da mineração pós-rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG. **17, n. 1, 2017**.

MATHIS, A.; DA SILVA, E. G. Lourenço—**O desafio de se tornar sustentável**.

VILLABÔAS, RC; ARANIBAR, AM Pequeña minería y artesanal em Iberoamérica:

conflictos, ordenamiento, soluciones. Rio de Janeiro: CETEM/ CYTED/CONACYT, p. 11-22, 2003.

MATHIS, A.; DE BRITO, D. C.; BRÜSEKE, F. J. Riqueza volátil: a mineração de ouro na Amazônia. **Editora Cejup**, 1997. 8533803680.

MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E.; CONSOLIN-FILHO, N.; PATERNO, L. *et al.* Uso de polímeros condutores em sensores. Parte 1: Introdução aos polímeros condutores. **Embrapa Instrumentação-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012.

MELO, V. D. F.; ANDRADE, M. D.; BATISTA, A. H.; FAVARETTO, N. *et al.* Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais.

Química nova, 35, n. 1, p. 22-29, 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, Brasil. Rio Doce: acompanhe as ações ambientais do Governo Federal. 2015. Disponível em: . Acesso em: 19 fev. 2016.

NASCIMENTO, S. A. M; BARBOSA, J. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n.4, p.543-550, 2005.

NAVA, I. A. Produtividade da soja em função da aplicação de fertilizantes comerciais formulados com diferentes fontes de zinco e fitodisponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo. **2008.**

NEVES-SILVA, P.; HELLER, L. Rompimento da barragem em Brumadinho e o acesso à água das comunidades atingidas: um caso de direitos humanos. **Ciência e Cultura**, 72, n. 2, p. 47-50, 2020.

NIEWINSKI, F. D. S. **Do pó de rocha à fertilidade: uma experiência nos solos de Montenegro/RS.** 2017.

OLIVEIRA, M.R. 2007. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 149 p.

OLSZEWER, E. **Neurotransmissores em medicina**: da clínica à prática ortomolecular em doenças afetivas e obesidade. 2ª ed. São Paulo: Ícone, 2008.

PAIVA, A. C. D. **Dispersão do chumbo em ambientes aquáticos da região de Belo Jardim-PE**. 2005. -, Universidade Federal de Pernambuco.

PANTAROTO, L.; M FIGUEIREDO, P. J. Chumbo: sua Exploração, uso e saúde pública. **Anais da 4ªMostra Acadêmica da Unimep**, 2006.

PASCALICCHIO, Á. A. E. **Contaminação por metais pesados**. Annablume Editora, 2002. 9798574192450.

PELLICORI, D. A.; GAMMONS, C. H.; POULSON, S. R. Geochemistry and stable isotope composition of the Berkeley pit lake and surrounding mine waters, Butte, Montana. **Applied Geochemistry**, 20, n. 11, p. 2116-2137, 2005.

PEREIRA, R. D. S. J. R. E. D. R. H. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. 1, n. 1, p. 20-36, 2004.

PIERONI, J. P. Proposta de recuperação das áreas degradadas pela extração de níquel, na mineração Morro Azul, Pratápolis/MG. **2013**.

PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG**, 24, n. 1-2, 2015.

PIVELI, R. P. Curso:“Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos”. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPBcAD/fasciculo-10-oxigenio-dissolvido-materia-organica#>>. Acesso em, 21, n. 05, p. 2015, 2000.

PORTELLA, M. O. J. R. B. d. p. p. Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente. 5, n. 3, 2015.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; DE LUCA, S. J. **Caracterização da Qualidade das Águas**. In. Hidrologia Ambiental. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.3, São Paulo: EDUSP, 1991.

QUEIROZ, H. M.; YING, S. C.; ABERNATHY, M.; BARCELLOS, D. *et al.* Manganese:

The overlooked contaminant in the world largest mine tailings dam collapse.

Environment International, 146, p. 106284, 2021.

RIBEIRO, E. V.; JUNIOR, A. P. M.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. **Metais pesados** e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora-MG: índice de contaminação. **Geonomos**, 2012.

RODRIGUES-FILHO, S.; MADDOCK, J. E. L. **Assessment of the heavy metal pollution in a gold “garimpo”**. In: **Environmental Geochemistry in the Tropics: Springer**, 1998. p. 193-209.

RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. Cobre. **Química nova na escola**, 34, n. 3, p. 161-162, 2012.

RODRIGUES, M. L. A. Toxicidade por metais pesados em testículo de *Oreochromis niloticus* e *Geophagus brasiliensis* da Bacia do Rio Doce, três anos após rompimento da barragem de rejeitos em Mariana–MG. **2021**.

SILVA, A. C. D.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. G. Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. **Rem: Revista Escola de Minas**, 54, p. 133-136, 2001.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O.

Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brasilian Journal of Radiation Sciences**, v.3, p.01-13, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15392/bjrs.v3i1A.135>>. Doi:10.15392/bjrs.v3i1A.135

TAN, K. H. **“Environmental soil science”**. Marcel Dekker Inc, New York, 2o ed., 452 p, 2000.

TEIXEIRA, T.; DA SILVA, G. S. N.; GOMES, C. H. análise geoquímica da água do arroio das lavras, lavras do sul, rs-brasil. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 10, n. 2, 2018.

THE INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. **Environmental Health Criteria**, 1 Mercury. Geneva: WHO, 1976. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc001.htm>>. Acesso em: 19 agosto 2021.

USGS – United States Geological Survey. 2018. **Aluminum Statistic and Information. USGS**. Disponível em <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/aluminum/index.html#pubs>. Acesso em 12/08/2021.

VERGILIO, C. D. S.; LACERDA, D.; OLIVEIRA, B. C. V.; SARTORI, E. et al. **Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil)**. Sci Rep, 10, n. 1, p. 5936, Apr 3 2020.

WEBER, A.; SALES, C.; FARIA, F.; MELO, R. et al. **Effects of metal contamination on liver in two fish species from a highly impacted neotropical river: A case study of the Fundão dam, Brazil**. Ecotoxicology and environmental safety, 190, p. 110165, 01/06 2020.

Brasil (2021). Portaria nº. 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.

FURTADO, Ana Paula Fernandes Viana. **Plano de Segurança da Barragem de Contenção de Cheias do Córrego Bonsucesso**, Belo Horizonte-MG. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subsecretaria de Assuntos Jurídicos. Lei 14.066, de 30 de setembro de 2020. **Diário Oficial da União**, 7 setembro. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.066-de-30-de-setembro-de-2020-280529982>. Acesso em: setembro. 2021.

COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Apêndice E- Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. 2019.

Ficha de Informação Toxicológica – Chumbo e seus compostos. São Paulo. 2012.

Disponível Ficha de Informação Toxicológica – Chumbo e seus compostos. São Paulo.2012. Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/chumbo.pdf>>. Acesso em: 07/09/2021

ANDRADE, É. C. B. D.; ALVES, S. P.; TAKASE, I. Avaliação do uso de ervas medicinais como suplemento nutricional de ferro, cobre e zinco. **Food Science and Technology**, 25, p. 591-596, 2005.

DE CARVALHO, M. S.; RIBEIRO, K. D.; MOREIRA, R. M.; DE ALMEIDA, A. M. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, 1, n. 3, p. 37-41, 2017.

FREITAS, C. M. D. Avaliação de riscos como ferramenta para a vigilância ambiental em saúde. **Informe Epidemiológico do SUS**, 11, n. 4, p. 227-239, 2002.

MAGALHÃES, J. S. B. **Avaliação da gestão de sítios contaminados por resíduos perigosos nos EUA, Canadá, Países europeus e Brasil, e exemplo de um manual simplificado de avaliação de saúde ambiental destes sítios para o Brasil.** 2000. -.

PARISH, C. Agency for toxic substances and disease registry. 2013.

SAÚDE, M. D. Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados em Santo Amaro da Purificação, Bahia. Ministério da Saúde Brasília, DF 2003.