



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GEOLOGIA MÉDICA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE  
BARRA LONGA, MG.**

**Clara Castilho de Andrade Gil**

**MONOGRAFIA nº 364**

Ouro Preto, Julho de 2020



**GEOLOGIA MÉDICA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL  
DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA, MG.**

---



## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Ms. Edison Tazava

# **MONOGRAFIA**

**Nº 364**

## **GEOLOGIA MÉDICA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA, MG.**

**Clara Castilho de Andrade Gil**

*Orientadora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adivane Terezinha Costa**

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2020/1.

**OURO PRETO**

**2020**

---

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>

Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Clara Castilho de Andrade Gil

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

### SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G463g Gil, Clara Castilho de Andrade .  
Geologia médica e diagnóstico socioambiental do município de Barra  
Longa, MG. [manuscrito] / Clara Castilho de Andrade Gil. - 2020.  
61 f.

Orientadora: Profa. Dra. Adivane Terezinha Costa.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geoquímica. 2. Solos. 3. Sedimentos fluviais. I. Costa, Adivane  
Terezinha . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.4:614.87

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** GEOLOGIA MÉDICA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA, MG.

**AUTORA:** Clara Castilho de Andrade Gil

**ORIENTADOR:** Adivane Terezinha Costa

**Aprovada em:** 02 de julho de 2020

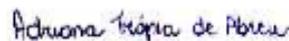
#### BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Adivane Terezinha Costa



DEGEO/UFOP

Profa. Dra. Adriana Tropia de Abreu



DEGEO/UFOP

Profa. Dra. Olivia Maria de Paula Alves Bezerra



EMED/UFOP

Ouro Preto, 22 de junho de 2020



## Agradecimentos

---

Agradeço ao Universo por todas as oportunidades, experiências e aprendizados. À minha mãe Bia, ao meu pai José e ao meu irmão Gabriel pela base, amor, força e por sempre acreditarem no meu potencial.

Ao Gabriel pelo apoio, amor e parceria de sempre. À república Life, moradoras e ex alunas, pelos aprendizados e momentos de descontração, vocês são maravilhosas. À Geologia 12.2, amigadas e parcerias feitas ao longo do curso, com vocês o caminho foi mais leve.

À professora Adivane, agradeço por todos os ensinamentos, paciência e orientação.

Agradeço à Fundação Gorceix pelas oportunidades, ao Departamento de Geologia, Escola de Minas e professores da Universidade Federal de Ouro Preto, pelo excelente ensino público.

E, por fim, ao lugar que me encontrei, Ouro Preto, por ser história e natureza, por me proporcionar os melhores anos.

# SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.4 JUSTIFICATIVA .....	3
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	4
1.5.1 Revisão Bibliográfica .....	4
1.5.2 Trabalhos de Campo e Coleta das Amostras .....	5
1.5.3 Análise Geoquímica dos Sedimentos .....	5
1.5.4 Tratamento dos Dados .....	6
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	7
2.1 INTRODUÇÃO .....	7
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO .....	7
2.2.1 Arqueano e Proterozóico .....	8
<b>3 EMBASAMENTO TEÓRICO</b> .....	12
3.1 SEDIMENTOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E BARRAS .....	12
3.2 SOLOS E GEOQUÍMICA .....	12
3.3 SEDIMENTOS E GEOQUÍMICA .....	13
3.4 POEIRA .....	14
3.5 GEOLOGIA MÉDICA .....	15
<b>4 ANÁLISE DE DADOS HIDROQUÍMICOS</b> .....	17
4.1 INTRODUÇÃO .....	17
4.2 ELEMENTOS Fe, Mn, Al .....	18
4.3 ELEMENTOS TRAÇO .....	20
4.4 DISCUSSÃO .....	23

<b>5 POEIRA</b> .....	26
5.1 INTRODUÇÃO.....	26
5.2 ESTUDO DO BANCO DE DADOS DA AMBIOS REFERENTE ÀS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NA POEIRA DE BARRA LONGA COMPARANDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA (2009).....	26
5.3 ESTUDO DE CORRELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS NA POEIRA COM BASE NOS DADOS DA AMBIOS. ....	28
<b>6 DIAGNÓSTICO SÓCIO-AMBIENTAL E GEOQUÍMICO DE SOLOS E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS</b> .....	37
6.1 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL.....	37
6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA .....	45
<b>7 GEOLOGIA MÉDICA</b> .....	50
7.1 ELEMENTOS ASSOCIADOS À ÁGUA .....	50
7.2 ELEMENTOS ASSOCIADOS AO SOLO SUPERFICIAL .....	52
7.3 ELEMENTOS ASSOCIADOS À POEIRA NÃO DESCRITOS ACIMA.....	54
7.4 LEVANTAMENTO DE DOENÇAS EM BARRA LONGA.....	54
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	57
BIBLIOGRAFIA.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.0</b> - Mapa da Bacia do Rio Gualaxo do norte e área de estudo.....	2
<b>Figura 2.1</b> - Carta Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. ....	10
<b>Figura 2.2</b> - Mapa geológico da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.....	11
<b>Figura 4.0</b> - Resultado do manganês total, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019. ....	18
<b>Figura 4.1</b> - Resultado do ferro dissolvido, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019 .....	19
<b>Figura 4.2</b> - Resultado do alumínio dissolvido, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019. ....	20
<b>Figura 4.3</b> - Resultado do chumbo total, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019. ....	21
<b>Figura 4.4</b> - Resultado do mercúrio total, desde o rompimento da barragem até 2017.....	21
<b>Figura 4.5</b> - Resultado do níquel total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite. ....	22
<b>Figura 4.6</b> - Resultado do cobre total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite .....	22
<b>Figura 4.7</b> - Resultado do zinco total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite. ....	23
<b>Figura 4.8</b> - Resultado do cádmio total, em 2018, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite,.....	23
<b>Figura 4.9</b> - Precipitação mensal de 2017 .....	25
<b>Figura 5.0</b> - Precipitação mensal de 2018 .....	25
<b>Figura 5.1</b> - Total dos elementos Cd, Ni, Cu e Zn nas amostras de poeira retiradas das localidades de Barra Longa (AMBIOS 2019) e seu respectivo valor de referência estabelecido pelo CONAMA (2009) .....	27
<b>Figura 5.2</b> -Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação Fe e Cd..	29

<b>Figura 5.3</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre Mn e Cd.....	29
<b>Figura 5.4</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cd, sem o valor anômalo do Cd.....	30
<b>Figura 5.5</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cd, sem o valor anômalo do Cd.....	30
<b>Figura 5.6</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Ni .....	31
<b>Figura 5.7</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Ni.....	31
<b>Figura 5.8</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Ni, sem o valor anômalo do Ni. ....	32
<b>Figura 5.9</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Ni, sem o valor anômalo do Ni. ....	32
<b>Figura 6.0</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cu.....	33
<b>Figura 6.1</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cu .....	33
<b>Figura 6.2</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cu, sem os valores anômalo do Cu.....	34
<b>Figura 6.3</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cu, sem os valores anômalo do Cu. ....	34
<b>Figura 6.4</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Zn. ....	35
<b>Figura 6.5</b> - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Zn. ....	35
<b>Figura 6.6</b> - Mapa de localização dos pontos .....	38
<b>Figura 6.7</b> - Planície de Inundação, muro de arrimo retendo o material.....	39

<b>Figura 6.8</b> - Solo arado no parque de exposição.....	39
<b>Figura 6.9</b> - Depósito de barra em pontal no Rio Gualaxo do Norte.....	39
<b>Figura 7.0</b> - Retirada do bloquete da rua em Barra Longa para coleta do solo .....	40
<b>Figura 7.1</b> - Plantação em Barra Longa. ....	41
<b>Figura 7.2</b> - Detalhes do rejeito exposto. ....	41
<b>Figura 7.3</b> - Planície de inundação, do Rio do Carmo. ....	41
<b>Figura 7.4</b> - Solo de aterro ensacado por fibra de coco. ....	42
<b>Figura 7.5</b> - Quebra de relevo.....	43
<b>Figura 7.6</b> - Outra perspectiva da área. ....	43
<b>Figura 7.7</b> - Gramíneas que crescem em solo, gado ao fundo.....	44
<b>Figura 7.8</b> - Solo da região proveniente do rejeito .....	44
<b>Figura 7.9</b> - Área atingida pela lama, ao fundo corte no terreno.....	44
<b>Figura 8.0</b> - Concentração do As e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	46
<b>Figura 8.1</b> - Concentração do Cd e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	46
<b>Figura 8.2</b> - Concentração do Cu e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	46
<b>Figura 8.3</b> - Concentração do Ni e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	47
<b>Figura 8.4</b> - Concentração do Zn e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	47
<b>Figura 8.5</b> - Concentração do Pb e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).....	47
<b>Figura 8.6</b> - Doença de pele relatada por morador de Barra Longa.....	56

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b> - Limite de concentração dos elementos de estudo, estabelecido pelo CONAMA-Classe 2 .....	17
<b>Tabela 2</b> - Valor de referência para os elementos de estudo, estabelecido pelo CONAMA 420/2009.....	27
<b>Tabela 3</b> - Coeficiente gerado a partir da correlação de Pearson.....	28
<b>Tabela 4</b> - Concentração dos elementos obtida através da análise geoquímica. ....	45



## Resumo

---

O rompimento da Barragem do Fundão, em novembro de 2015, causou danos sócio-ambientais à comunidade de Barra Longa- MG pelo elevado fluxo de rejeito que atingiu o município e entorno. O presente trabalho teve como objetivo o diagnóstico socioambiental da região. Foram realizados tratamentos de dados geoquímicos temporais de águas fluviais, e poeira, além de coleta e análises químicas de solos superficiais e sedimentos da região. Além dos impactos nas comunidades, a lama ocasionou impactos ambientais, comprometendo a qualidade das águas, solos e sedimentos, o que reflete na saúde dos moradores do município. Problemas respiratórios, na pele e transtornos mentais são os mais mencionados por parte da população local, além da preocupação com o acúmulo de metais pesados no organismo e seus riscos para a saúde. Com relação aos dados hidroquímicos temporais das águas fluviais do rio Gualaxo do Norte observou-se um aumento da turbidez e das concentrações de elementos como Mn, Fe, Al, Pb nas águas em períodos chuvosos, provavelmente associado à remobilização do rejeito, esteja ele exposto em barrancos, ou em leito de rio. A litologia da região e mineralizações de garimpos auríferos também são fatores geológicos e históricos que contribuíram para as altas concentrações de metais presentes nas amostras de águas, poeiras e solos da região. Com relação à poeira, contaminantes presentes como Cd, Ni, Cu e Zn provavelmente são influenciados pelo fenômeno de sorção do Fe e Mn que estão presentes na lama do rejeito proveniente da barragem do Fundão. É provável a hipótese de que o Fe e Mn possam ter sido carreadores desses metais em amostras de poeira residenciais do município. Em solos superficiais e sedimentos registraram-se também elevadas concentrações de Fe e Mn, bem acima do *background* estabelecido para sedimentos silto-argilosos da bacia. É bem provável que as altas concentrações de elementos traço como o As, Cd e Ni, observados nos solos superficiais reflita também fenômenos de sorção relacionados ao Fe e Mn. A elevada concentração do Fe e Mn, além de ser um forte reflexo do rejeito da barragem do Fundão, como citado, também apresenta relação com o histórico geológico e antrópico da região, como é o caso das mineralizações de ferro e manganês recorrentes nas rochas do supergrupo Minas e Rio das Velhas, do alto curso do rio Gualaxo do Norte e do rio do Carmo.

**Palavras chave:** geoquímica, águas fluviais, solos, poeira.



## Abstract

---

The burst of Fundão dam, on november, 2015, has caused socio-environmental losses to the community of Barra Longa-MG due to the intense flood of tailings, which reached the city and its surroundings. The aim of this undergraduate thesis was to accomplish a socio-environmental diagnosis of Barra Longa's region. We performed geochemical temporal data processing of fluvial waters, dust, as well as collect and chemical analysis of superficial soils and sediments from the region. Beyond the impacts on the communities, the mudflow brought on environmental impacts, compromising the quality of water, soils and sediments. Therefore, the health of the region's inhabitants is permanently under harm. Breathing and skin diseases, as well as mental disorders, are the main afflictions reported by the local population, besides worries about the accumulation of heavy metals and its health. Concerning the hydrochemical temporal data of the fluvial water from the Gualaxo do Norte river, it was verified increased turbidity additionally to increased concentration of elements such as Mn, Fe, Al, Pb in rainy season waters; these events are probably related to the tailings' remobilization. It might occur whether the tailings are exposed on banks or along streambeds. The region's lithology as well as gold-digging's mineralization are also historical and geological factors which induce the high concentration of heavy metals found in samples of the region's Waters, dust and soil. Regarding the Dust, some contaminant elements found such as Cd, Ni, Cu e Zn, are influenced by the sorption of the Fe and Mn noticeable in the tailing mud from Fundão dam. It is likely the hypothesis in wich Fe e Mn might be the carrier of the metals in the samples of dust from Barra Longa. It was also registered in superficial soils and sediments high concentrations of Fe and Mn, quite above the *background* established to the basin's silty- clayey sediments. It is quite likely that the high concentration of trace elements such as As, Cd e Ni, found in the superficial soil, also weigh on sorption related to Fe and Mn. The high concentration of Fe and Mn, besides being a strong repercussion of Fundão dam tailing, as mentioned above, is also relatable to the geographical and anthropical history of the discussed region. Such is the case of the recurring iron and manganese mineralization on the supergroup Minas and Rio das Velhas, from the upper course of the Gualaxo do Norte and from Rio do Carmo river.

**Key-words:** Geochemistry, fluvial waters, soils, dust





# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

O rompimento da barragem do Fundão, pertencente à Samarco Mineração e localizada na cabeceira do Rio Gualaxo do Norte, gerou uma série de impactos sociais, ambientais e danos à saúde humana. Os solos de aterros depositados pós rompimento da barragem na região de Barra Longa, sedimentos presentes na planície de inundação, barras e *overbanks* do Rio Gualaxo do Norte; poeiras residenciais, qualidade da água e seus danos à comunidade serão enfoque desse estudo.

Pretende-se, no presente trabalho, apresentar a análise geoquímica dos solos superficiais e sedimentos silto- argilosos com a determinação de elementos maiores e traço, análise de dados de poeira residencial de Barra Longa e análise de dados temporais da qualidade da água disponibilizados pelo IGAM, a fim de comparar com os valores de referência e os limites aceitáveis que podem causar riscos à saúde humana.

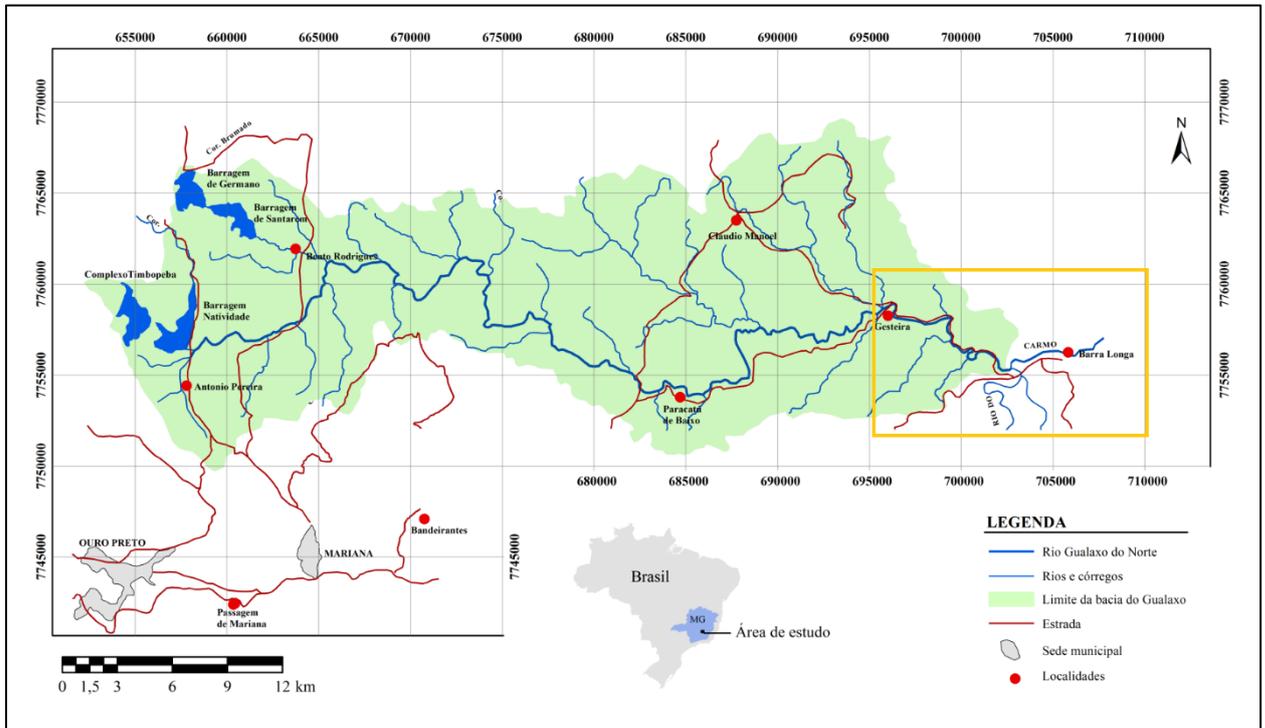
Estudos de sedimentos e águas do rio Gualaxo do Norte após o rompimento da barragem do Fundão indicam contaminação por Fe e Mn (Canatto 2017). Historicamente são encontrados outros elementos traço como As, Cu e Zn nos sedimentos dos leitos dos rios da área associada ao garimpo de ouro, porém, após o rompimento da barragem há poucas análises da geoquímica dos solos usados nos aterros da região e dos sedimentos das barras e planícies de inundação de áreas próximas às comunidades, a exemplo de Barra Longa.

A partir do estudo detalhado, será possível estabelecer conexão com os impactos ambientais desencadeados e, além disso, com o risco à saúde humana que se torna vulnerável pela exposição direta e/ou indireta à contaminação da área.

### 1.2 LOCALIZAÇÃO

O presente trabalho envolve o baixo curso do Rio Gualaxo do Norte, Leste Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), afluente do Ribeirão do Carmo, um dos formadores do Rio Doce, no trecho entre o distrito de Gesteira e o município de Barra Longa- MG. Na região, encontram-se comunidades expostas aos impactos ambientais químicos dos rejeitos, justamente por

situarem- se nas margens do rio e redondezas, sendo impactadas de forma direta ou indireta pelo rejeito. (Figura 1.0)



**Figura 1.0:** Mapa da Bacia do Rio Gualaxo do norte e área de estudo. Fonte: (GeoMINAS 2010), modificado de Rodrigues (2012).

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é a avaliação de impactos socioambientais após o rompimento da barragem do Fundão associados às altas concentrações de elementos químicos encontrados nos solos superficiais, sedimentos de planícies de inundação e barras, poeiras residenciais e águas da bacia do Rio Gualaxo do Norte. Pretende- se obter dados sobre a consequente contaminação, seu impacto ambiental, estabelecendo conexão com a saúde dos moradores das comunidades de Barra Longa- MG.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

A barragem do Fundão, pertencente à mineradora Samarco, rompeu-se em novembro de 2015 gerando uma série de consequências causadas pelo fluxo de lama que devastou o distrito de Bento Rodrigues em Mariana, atingindo várias comunidades da bacia do Rio Gualaxo do Norte como Paracatu de Baixo, Gesteira e Barra Longa, SE de Minas Gerais. Além dos impactos sociais, perdas humanas e materiais, a lama provocou graves impactos ambientais. O trabalho tem enfoque em danos ambientais e humanos gerados pela deposição dos sedimentos silto-argilosos em barras e planícies de inundação, além da análise da poeira e água do rio Gualaxo do Norte. Observa-se que, após o rompimento, vários materiais de aterro estão sendo realocados nas áreas antes cobertas pela lama e em alguns casos utilizados para agricultura. Nesse sentido, os solos de alguns aterros também serão analisados quanto a geoquímica, em busca do entendimento de sua qualidade. Outro ponto importante a ser tratado, é o aumento significativo da ocorrência de poeira no município e o quanto o material tem se acumulado em residências, já que a realização de obras e movimentação de máquinas, com o propósito de sanar os danos causados, tem gerado esse agravante. A qualidade da água do ponto de vista temporal e sua relação com as chuvas, fator responsável pela remobilização do rejeito depositado no leito do rio, é outro parâmetro a ser estudado e no que isso pode implicar em relação à saúde dos moradores das comunidades.

Espera-se obter resultados sobre o possível enriquecimento em Ferro e Manganês (Canatto 2017) e outros elementos traço, estabelecendo conexão com o risco para a saúde humana. Durante o período de seca, os sedimentos são suspensos concentrando-se no ar e, conseqüentemente, inalados pelas pessoas que habitam e frequentam as proximidades, podendo gerar doenças respiratórias, devido a constante inalação de contaminantes. Dependendo dos minerais, os elementos são mais ou menos biodisponíveis o que implica em maior ou menor impacto ambiental. Por exemplo, o Fe e elementos traço presentes em hidróxidos são mais facilmente biodisponíveis que os óxidos, o que implica em maiores riscos para a saúde humana, pois as mudanças físico-químicas do meio físico podem disponibilizar estes elementos para águas e plantas. Além disso, em períodos chuvosos, esses sedimentos caem na rede de drenagem, podem bioacumular em peixes e, posteriormente, o consumo desses peixes pela população pode contaminar a mesma. Dessa forma, os dados obtidos e tratados, fornecerão condições para o melhor entendimento e clareza a respeito dos impactos gerados pelo rompimento da barragem na saúde humana

## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se o trabalho de acordo com os itens descritos a seguir:

### 1.5.1 Revisão Bibliográfica

Como fontes de consulta e embasamento teórico, para o presente trabalho, pode-se citar, entre outros, os trabalhos de Costa (2001), Costa (2007) e Rodrigues (2012) desenvolvidos antes do rompimento da barragem do Fundão. Esses estudos apresentam dados a respeito dos elementos traço e maiores em sedimentos, além dos seus valores de *background*, abrangendo a área de interesse.

Após o rompimento da barragem do Fundão, utilizou-se o banco de dados do IGAM 2018 (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), contendo informações referentes aos elementos encontrados nas águas do Rio Gualaxo do Norte desde 2015 até 2019. Os valores máximos de concentração dos elementos, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 foram utilizados como parâmetros comparativos no presente estudo a fim de compreender a qualidade da água.

Os dados referentes à concentração de contaminantes presentes na poeira residencial da localidade de Barra Longa foram retirados dos estudos de ARSH (Estudo de Avaliação de Riscos à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão) - AMBIOS (2019). O estudo de Fernandes (2018) também foi importante para o embasamento teórico do presente trabalho, bem como o melhor entendimento da ocorrência de elevadas concentrações de elementos nos materiais particulados coletados em seu estudo. Para estabelecer o parâmetro da qualidade da poeira e solo, em relação a concentração dos elementos nos materiais, utilizou-se valores de referência estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009, a resolução define critérios para qualidade do solo e estabelece diretrizes para a gestão ambiental de áreas contaminadas por substâncias resultantes de atividades antropogênicas.

Os estudos de ARSH (Estudo de Avaliação de Riscos à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão) - AMBIOS (2019) e as pesquisas realizadas pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017), foram fundamentais para a compreensão dos efeitos que elementos como o Fe, Mn, Al, As, Cd, Cu, entre outros podem causar à saúde humana, levando em conta o desenvolvimento de sintomas e doenças a curto e longo prazo e afetando a qualidade de vida dos habitantes das comunidades em questão.

### **1.5.2 Trabalhos de Campo e Coleta das Amostras**

Os trabalhos de campo envolveram o reconhecimento dos ambientes de acúmulo de sedimentos relacionados ao rompimento da barragem nas adjacências dos rios, tais como planície de inundação, *overbanks* e barras, além da análise dos possíveis solos de aterro e posteriormente, a coleta desses sedimentos e solos superficiais.

No dia 16 de junho de 2018 realizou-se o primeiro trabalho de campo ao longo do segmento da bacia do Rio Gualaxo do Norte entre as comunidades de Gesteira e Barra Longa. Foram coletadas 3 amostras no ambiente de planícies de inundação (solo de aterro) e 3 amostras de *overbank* e barra, totalizando 6 amostras para a realização da análise geoquímica.

Foram coletadas amostras superficiais, com profundidade máxima de 10 cm, os materiais utilizados para a coleta foram pá e sacos plásticos como recipiente de armazenamento.

O segundo trabalho de campo foi realizado na data de 15 de julho de 2019, além da coleta de amostras, foi possível ouvir alguns depoimentos de habitantes locais que vivem a triste realidade decorrente da tragédia. Em função de problemas técnicos no ICP-OES em operação no departamento de geologia da UFOP, não foi possível realizar a análise geoquímica das amostras coletadas no último trabalho de campo.

### **1.5.3 Análise Geoquímica dos Sedimentos**

Inicialmente, foram realizadas as etapas: Preparação das amostras que envolve secagem, quarteamento e peneiramento baseado na metodologia proposta por Brisola & Fernandes (2008) onde primeiramente foi colocada a amostra seca em papel, sem que haja contaminação por outro sedimento, para facilitar a homogeneização; posteriormente, divide-se a amostra em quatro partes iguais, utilizando um quarteador; e por fim foi reservada uma alíquota de 1/4 da amostra para o peneiramento para a obtenção da fração silte-argila. As amostras abaixo de 0,063 mm equivalente a fração silte e argila foram destinadas para preparação para análises químicas de elementos maiores e traço. As análises geoquímicas dos solos e sedimentos foram realizadas no Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (LGqA – DEGEO/UFOP), adotando as normas ISO 11466 onde foi realizada a Digestão parcial das amostras por água régia. As análises de elementos maiores e traço foram realizadas no Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) da marca Agilent, modelo 725 (ICP-OES).

A espectrometria de emissão óptica com plasma é um método analítico para identificação de íons metálicos, em concentrações maiores (mg/L) e traços ( $\mu\text{g/L}$ ), fundamentando-se na detecção da radiação eletromagnética irradiada por átomos neutros ou íons excitados na faixa do espectro eletromagnético visível e ultravioleta. A linha característica de emissão dos átomos e íons são dissipadas por grades de difração para armazenar a intensidade das linhas. As intensidades do sinal de emissão estão linearmente associadas a concentração do determinado elemento (Brisola & Fernandes, 2008). As amostras foram analisadas, determinando-se a leitura dos seguintes elementos: Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, P, S, Sc, Ti, Th, V, Y, Zn e Zr.

#### 1.5.4 Tratamento dos Dados

A fim de obter-se o parâmetro comparativo entre a concentração de elementos nos materiais de estudo, seja água, poeira ou solo superficial, em relação ao valor máximo estabelecido pelo CONAMA 2005, 2009. Foram confeccionados gráficos através do Microsoft Excel (2016), possibilitando a visualização e entendimento da qualidade das amostras de acordo com a concentração dos elementos.

Com relação as águas fluviais foram realizados gráficos temporais desde 2015 até 2019 utilizando dados da região disponibilizados pelo IGAM 2018 (Instituto Mineiro de Gestão das Águas).

Para a poeira, utilizou-se a correlação de Pearson, função estatística, a fim de compreender a maneira como os elementos presentes na poeira associam-se entre si. Valores positivos, maiores que 0, indicam que as variáveis estão diretamente relacionadas, acima de 0,7 a correlação é considerada muito boa. A análise estatística foi realizada através do Microsoft Excel (2016). Após o tratamento dos dados e utilização da função, foi possível obter o coeficiente.

Em relação ao solo superficial, além da comparação com dados do CONAMA 2009, resultados obtidos para o Fe nas amostras analisadas foram comparados com o valor de *background* de Rodrigues (2012), e para isso foi necessário converter a concentração do elemento de mg/kg para %, como estabelecido e, dessa forma, obter o valor de *background* em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## **CAPÍTULO 2**

### **CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

---

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

A cabeceira da área de estudo situa-se na porção Leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero, porção meridional da Província Geotectônica São Francisco (Almeida, 1977). Entretanto, o rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo na localidade de Barra longa- foco do estudo, localiza-se na Província Geotectônica Mantiqueira. Considera-se relevante a abordagem da Província Geotectônica São Francisco por caracterizar-se como área fonte de sedimentos. A litologia e histórico minerário no Quadrilátero Ferrífero, onde localiza-se o alto curso do rio, reflete nas concentrações de elementos e qualidade do solo e da água das porções a leste, área de interesse.

Segundo Dorr (1969), o embasamento da região é constituído por granitos gnaisses, granitos, rochas cristalinas, intrusões máficas e rochas metassedimentares de idade pré-cambriana. As rochas metassedimentares da região são divididas em Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minase por fim o Grupo Itacolomi de idade proterozoica.

#### **2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO**

O rio Gualaxo do Norte, ao longo do seu curso, percorre várias unidades geológicas do Q.F. (Figura 2.1). Sua cabeceira situa-se no domínio de rochas supracrustais, como os quartzitos, itabiritos e filitos do Supergrupo Minas. Enquanto seu médio e baixo cursos drenam litotipos como xistos e quartzitos do Supergrupo Rio das Velhas e gnáissicos e metabásicos presentes nos Complexos Santo Antônio de Pirapetinga e Santa Bárbara, da Província Geotectônica São Francisco, e os Complexos Acaiaca e Mantiqueira da Província Geotectônica Mantiqueira. (Costa 2001)

A seguir serão descritas as unidades que ocorrem no alto curso da Bacia do Rio Gualaxo do Norte e influencia a geoquímica e mineralogia dos sedimentos investigados, e seu médio e baixo curso, caracterizado pelos complexos metamórficos, onde foram coletadas as amostras. (Figura 2.2)

### 2.2.1 Arqueano e Proterozóico

A Província Geotectônica São Francisco- região do Quadrilátero Ferrífero, reúne agrupamentos Líticos de idades e ambiências diversas, como terrenos “granito-greenstone” de idade Arqueana e coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares dobradas proterozóicas.

Os terrenos “granito- greenstone” são representados por uma sequência meravulcano-sedimentar do Supergrupo Rio das Velhas e rochas granitoides do Complexo Santo Antônio de Pirapitinga e Complexo Santa Bárbara; as sequências clastoquímicas pertencem Supergrupo Minas, do Proterozóico inferior, com os depósitos de Fe relacionados aos corpos de itabirito do Grupo Itabira; a sequência predominantemente clástica pertence ao Grupo Itacolomi. (CPRM 1993)

O Complexo Santo Antônio de Pirapitinga apresenta como litotipos predominantes as rochas básicas e ultrabásicas metamorizadas e gnaisses tonalíticos a graníticos. As rochas ultrabásicas são, muitas vezes, representadas pelo esteatito, marcado pelo alto teor de Cr e Ni. As rochas básicas encontram-se como anfibolitos deformados. Os gnaisses caracterizam-se pela composição que varia desde tonalíticas até graníticas alcalinas. (Schorscher, 1979 *in* Costa, 2007). O Complexo Santa Bárbara é marcado por gnaisses tonalítico a trondjemítico, rochas graníticas e xenólitos de uma rocha classificada ora como anfibolito ora como metadiorito (CPRM 1993).

Além da Província Geotectônica São Francisco, região do Q.F, afloram na área de estudo os Complexos Acaiaca e Mantiqueira, pertencentes à Província Geotectônica Mantiqueira. O Complexo Acaiaca constitui uma faixa orientada norte-sul, no quadrante sudeste da área estudada, sendo representado por rochas de alto grau metamórfico, incluindo charnockitos, enderbitos e gnaisses kinzigíticos e, ainda, biotita-anfibólio gnaisses. (Jordt Evangelista 1986). O Complexo Mantiqueira apresenta três unidades litológicas, a mais extensa e a que é drenada pelo rio Gualaxo do Norte é caracterizada por gnaisses bandados com intercalações de anfibolitos e metagabros; a segunda é representada por gnaisses bandados migmatizados e, finalmente, corpos de orto-gnaisses quartzo-dioríticos. (CPRM 1993)

## **Supergrupo Rio das Velhas**

Esta unidade consiste em greenstone (basalto e komatiito), lava riolítica e rochas sedimentares intercaladas. As unidades sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas incluem formação de ferro bandado do tipo Algoma (BIF), carbonatos e siliciclásticos. Apresenta uma idade máxima de 2.857 G.a. (Alkmim & Marshak 1998)

O Supergrupo é subdividido em duas unidades, sendo elas Grupo Nova Lima e Grupo Maquiné. O primeiro constitui uma sequência com grande variedade de tipos litológicos, entre os quais se incluem principalmente: anfíbolito, esteatito, tufos máficos, anfíbólio-xisto, granada-fels, clorita xisto, quartzito, quartzito ferruginoso formações ferríferas. Em geral apresenta-se bastante deformada. Na borda leste e sudeste do segmento envolve o Complexo Santa Bárbara com gnaisses tonalítico a trondjemítico e rochas graníticas (CPRM 1993). Posteriormente, o Grupo Maquiné com quartzitos ou rochas quartzosas com feldspatos e micas e níveis ferruginosos. Apresentam menor resistência a erosão, característica que distingue dos demais quartzitos da região. Em relação aos aspectos estruturais, deduziu-se que as rochas do Grupo Maquiné foram afetadas pelos mesmos eventos deformacionais que afetaram o Grupo Nova Lima.

## **Supergrupo Minas**

De acordo com Alkmim & Marshak (1998), o Supergrupo Minas é uma unidade metassedimentar que recobre o Supergrupo Rio das Velhas, apresentando discordância com o mesmo. Segundo Dorr (1969) o Supergrupo Minas é dividido, da base para o topo, entre Grupo Caraça, Itabira e Piracicaba. O Grupo Caraça apresenta rochas metassedimentares quartzíticas e filíticas de granulação fina a grossa. O Grupo Itabira caracteriza-se por sedimentos químicos e divide-se entre as Formações Cauê com formações ferríferas e Gandarela com rochas carbonáticas, depositadas em ambiente de mar raso. A Formação Cauê encerra todas as jazidas de minério de ferro exploradas da região. A Formação Gandarela é representada por mármore e mármore dolomítico, O Grupo Piracicaba caracteriza-se por sedimentos clásticos com quartzitos e filitos depositados em ambientes de transgressão marinha e são constituídos pelas formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. Na região de estudo, ocorrem a Formação Cercadinho constituída por quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos prateados e lentes de sericita e clorita xisto e a Formação Fecho do Funil representada por filitos dolomíticos, dolomitos argilosos e silicosos, e filitos. (Costa 2007)

## Grupo Itacolomi

Segundo Dorr (1969), o Grupo Itacolomi é descrito como uma sequência de rochas supracrustais metamorizadas que capeiam o Supergrupo Minas, é constituído por quartzitos, filitos e metaconglomerados, cortadas localmente por diques de rochas básicas.

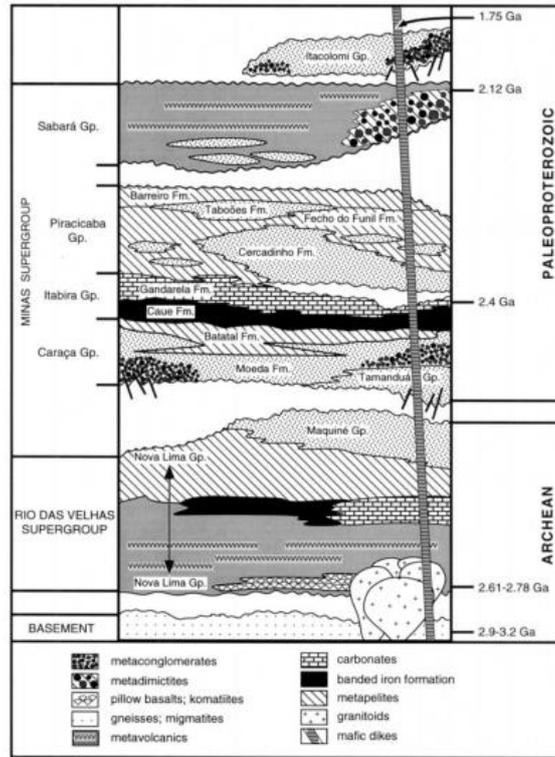
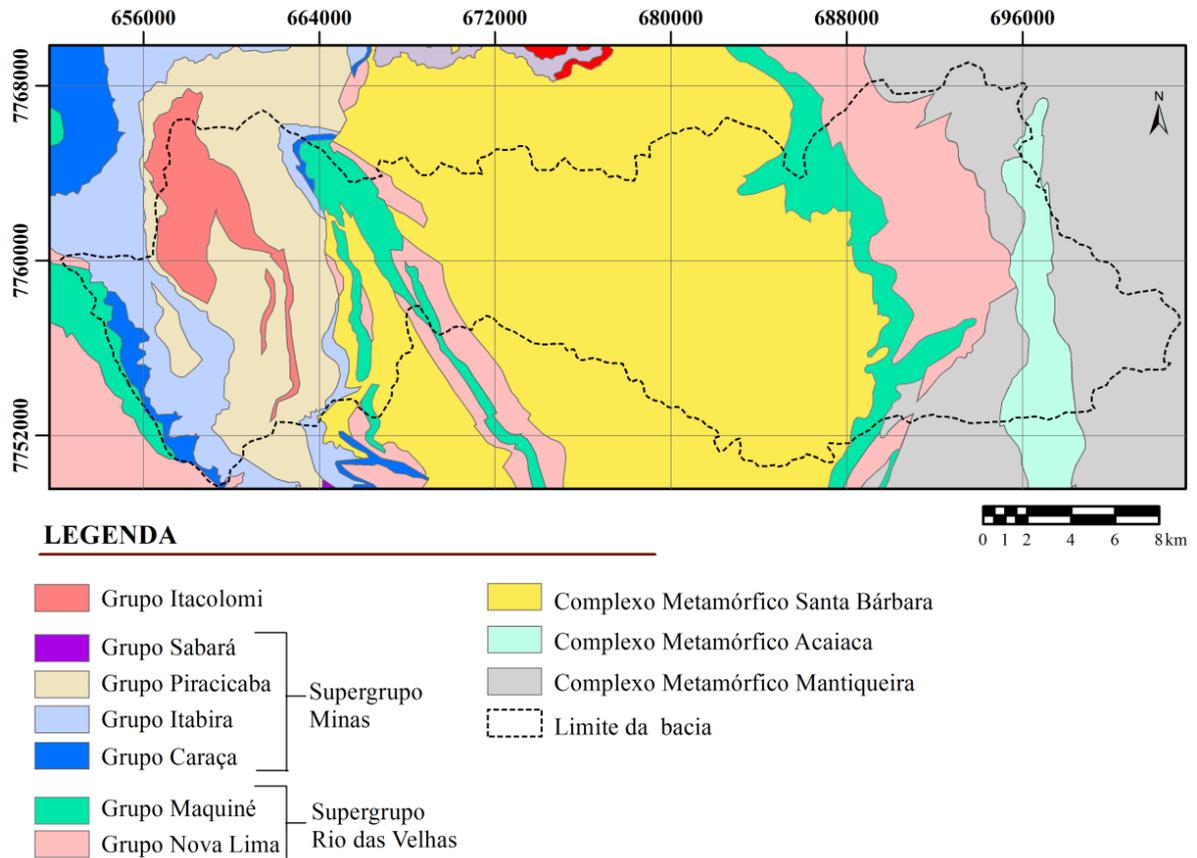


Figura 2.1 - Carta Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero Fonte: Alkimim & Marshak, 1998.



**Figura 2.2** - Mapa geológico da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil. Fonte: Modificado de CPRM (1993). Rodrigues (2012)

## **CAPÍTULO 3**

### **EMBASAMENTO TEÓRICO**

---

#### **3.1 SEDIMENTOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO E BARRAS**

Segundo as definições estabelecidas pelo Glossário Geológico da CPRM (2018), barra é uma faixa alongada e elevada de sedimento, podendo ser um banco de areia, depositado ao longo de uma linha onde uma corrente de água passa junto de águas mais calmas, perdendo energia e, conseqüentemente, gerando o depósito de material clástico.

Planície de inundação é definida como sistemas deposicionais característicos de rios meandранtes. Normalmente ocorrem no baixo curso dos rios onde o relevo, mais aplainado pela erosão do que à montante, apresenta pequeno gradiente topográfico. Em consequência, a energia fluvial é diminuída e não consegue carregar muito da carga sedimentar do rio que é depositada, colmatando o vale com sedimentos fluviais. (Glossário Geológico da CPRM 2018)

De acordo com Friese (2000), a planície de inundação controla os processos hidrológicos superficiais e sub-superficiais, como as inundações e a recarga de aquíferos, além disso, apresenta importante papel como zona intermediária na dinâmica de poluentes e nutrientes, via retenção, sedimentação e resuspensão de materiais. Durante as inundações, ocorrem trocas de água, sedimentos, minerais, elementos químicos e biota entre o canal principal do rio e a planície de inundação.

Segundo Costa (2001), as águas do rio Gualaxo apresentam elementos tóxicos que podem ser introduzidos de forma indireta na cadeia biológica e alimentar humana, a atividade agrícola e consumo de peixes é uma das formas de contaminação. Em relação a agricultura, um sério problema é o fato dos sedimentos carregados pelo rio se acumularem em planície de inundação que é um amplo enfoque do cultivo.

#### **3.2 SOLOS E GEOQUÍMICA**

Segundo a CPRM (1993), a área estudada apresenta-se dominada pela subclasse latossolo vermelho amarelo distrófico, que são solos antigos, muitas vezes profundos, textura argilosa e saturados em bases. A porção ocidental é ocupada normalmente por afloramentos de

rochas, localmente apresentando manchas de solos litólicos (solos pouco desenvolvidos) e cambissolos rasos, ambos saturados com alumínio e de textura arenosa cascalhenta.

De acordo com Costa (2001), é comum a ocorrência de coberturas de canga e lateritas na cabeceira do rio Gualaxo do Norte, ocorrendo em sua maioria capeando as rochas ricas em ferro da Formação Cauê, Supergrupo Minas. As camadas de canga são constituídas essencialmente de fragmentos detríticos de itabiritos e hematita. Estes fragmentos estão cimentados por variedades de óxido de ferro hidratado.

Roeser (1977) in Costa (2001) realizou o mapeamento litogeoquímico em rochas dos Complexos Metamórficos da área e observou que milonitos, gnaisses e migmatitos apresentavam um enriquecimento de bário e estrôncio com teores máximos de 1821 mg/kg e 694 mg/kg, respectivamente. Os anfibolitos apresentaram teores bastante elevados de Cu e Zn em média de 98 e 121 mg/kg. Os esteatitos e talco-xistos apresentaram concentrações elevadas de Cr, Ni e Co, médias de 2324 mg/kg, 1987 mg/kg e 102 mg/kg, respectivamente. Os óxidos de ferro e manganês apresentaram teores mais elevados nos anfibolitos com  $Fe_2O_3 = 13,92\%$  e  $MnO = 0,2\%$ . Também ocorrem concentrações elevadas de Co, Cr e Ni nestas rochas, mas suas concentrações máximas ocorrem associadas às rochas ultrabásicas. Os teores elevados de Cu e, muitas vezes, de Zn em solos e sedimentos foram relacionados com ocorrência de rochas com contribuições básicas (COSTA, 2007).

Para Rodrigues (2012), apesar do conhecimento de que os elementos químicos podem estar presentes, em grandes quantidades, naturalmente em solos, sedimentos e em sistemas aquáticos superficiais e subsuperficiais, o aumento em sua concentração pode ser ocasionado pelas atividades antrópicas.

### **3.3 SEDIMENTOS E GEOQUÍMICA**

De acordo com Altug e Balkis (2009) in Rezende *et al.* (2011) sedimentos são matrizes compostas de partículas detríticas, relativamente heterogêneas em termos de características físicas, químicas e biológicas. Muitas vezes, apresentam como composição partículas finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água, como lagos, rios e oceanos. Os sedimentos têm a capacidade de acumular poluentes e a determinação de elementos tóxicos nos mesmos permite avaliar o seu ciclo geoquímico. Além disso, os sedimentos constituem um armazenamento temporário e podem agir como dissipadores ou

fontes de metais através de reações de adsorção/dessorção e precipitação/dissolução (Lindell *et al.* 2010).

Segundo Zhao *et al.* (1999), em sistemas fluviais predominantemente meandrantos, partículas grosseiras como os cascalhos permanecem no leito. As partículas do tamanho areia, durante inundações, depositam-se próximo ao banco do rio como resultado da turbulência difusa do fluxo *overbank* e as partículas finas, em suspensão, comumente ricas em elementos-traço são carregadas para além do canal e depositados pela quiescência da água na planície.

A argila tem um papel físico-químico muito mais pronunciado do que aquele das frações granulométricas silte e areia e mesmo em menores quantidades podem influenciar no grau de concentração de elementos-traço (COSTA, 2007). De acordo com Miller (1997) in Costa (2007), algumas estimativas mostram que mais de 90% dos metais do ambiente fluvial são adsorvidos em sedimentos em suspensão, constituídos por silte e argila.

Segundo Rodrigues (2012), estudos têm utilizado os sedimentos para a elucidação de questões importantes no campo ambiental. Desde o uso dos sedimentos para detecção de possíveis anomalias geoquímicas em solos e ambientes rochosos quanto para a avaliação da dimensão da poluição química em ambientes diversos, como os mecanismos de mobilização e disponibilização de elementos tóxicos nesses sedimentos.

### **3.4 POEIRA**

Segundo WHO (2013) in Fernandes (2018), poeira é a um termo genérico para se designar um tipo de material particulado. Material particulado constitui uma complexa mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas e caracterizadas segundo a origem, composição e diâmetro das partículas. É plausível classificar partículas pelo tamanho, já que essa característica influencia o transporte e remoção; a capacidade de penetração e deposição dentro do sistema respiratório e está relacionado à sua origem e composição química.

Ainda sobre a denominação geral de Material Particulado, encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho. (CETESB 2020)

As fontes principais emissoras de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, etc. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de

enxofre, óxidos de nitrogênio, e compostos orgânicos voláteis, que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar. O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para desencadear problemas à saúde, sendo que quanto menores mais danosos serão os efeitos provocados.(CETESB 2020)

Segundo a FEAM (2001) *in* Fernandes (2018), pesquisas mostram que partículas finas, em geral as menores que 10 µm, penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente maiores riscos à saúde.

### **3.5 GEOLOGIA MÉDICA**

De acordo com Selinus *et al.* (2005) e outros trabalhos relacionados, a geologia médica é o estudo que procura “identificar e caracterizar as fontes naturais e antrópicas de materiais nocivos no ambiente, buscando prever o movimento e alteração dos agentes químicos e outros causadores de doenças ao longo tempo, bem como compreender como as pessoas estão expostas a tais materiais e o que pode ser feito para minimizar ou evitar tal exposição”. Segundo Mendes (2012), a geologia médica também visa entender como os processos geológicos, físicos e biológicos estão inter-relacionados e como se interagem, estabelecendo relação com o estudo dos materiais, suas reações, transporte, efeitos e destinos.

Objetiva- se prevenir doenças causadas por elementos-traço, sendo então necessário o monitoramento de áreas de risco, a fim de estabelecer limites ocupacionais e ambientais e evitar ou reduzir a exposição dos seres humanos aos elementos tóxicos. Portanto, procura- se investigar a ocorrência de elementos-traço como As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Al, Fe e Mn em sedimentos silto-argilosos da bacia do Gualaxo do Norte após o rompimento da barragem do Fundão. (MENDES, 2012)

Segundo Costa (2007), estudos referentes a geoquímica ambiental que apresentam enfoque na contaminação por metais pesados em sistemas fluviais da bacia do rio do Carmo têm demonstrado que a disponibilidade desses elementos está associada à presença de matéria orgânica, argilo-minerais e óxidos de Fe, Al e Mn.

Os metais pesados são elementos que podem ser tóxicos e prejudiciais aos seres vivos, sua concentração se eleva segundo influências antrópicas. Muitos desses elementos são essenciais para a vida de seres vivos, porém em altas concentrações podem se tornar nocivos e prejudiciais. As concentrações desses elementos estão relacionadas de forma natural às

litologias encontradas, porém, por ações antrópicas que levem a exposições de rochas que contenham certas quantidades de metais pesados a solubilidade de cada um vai determinar seu grau de concentração (COSTA, 2001).

Em relação a contaminação de Mn nos sedimentos silto-argilosos da bacia do rio Gualaxo do Norte, um dos enfoques do presente trabalho, pode-se dizer, de acordo com Selinus *et al.* (2005), que sua acumulação no tecido pode causar efeitos tóxicos no cérebro e no pulmão. O consumo elevado deste elemento pode causar dores de cabeça, anorexia, surtos psicóticos (comportamento violento, “loucura mangânica”), sonolência, fraqueza, apatia, tremores simulando Parkinson e depressão. Já o excesso de Ferro pode ser letal, pois a toxicidade desse elemento no organismo causa diversos efeitos patológicos (MENDES, 2012).

Foi realizada uma reportagem a respeito da saúde da população que vive no entorno do Rio Paraopeba e sofrem consequências desde o rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão. A matéria foi exibida pela Brasil de Fato, por Stropasolas (2019) onde relata-se sintomas de contaminação dos atingidos de 48 cidades cortadas pelo rio, nove meses após a tragédia.

Em todo o vale do Paraopeba, cerca de 1,3 milhão de pessoas que vivem às margens do rio podem estar contaminadas com metais pesados, esse dado foi levantado pelo jornal Estado de Minas, conduzido por pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), revelou a presença de manganês em diferentes pontos do Paraopeba em níveis acima do tolerado, o mesmo pode –se observar em relação ao rio Gualaxo do Norte na localidade de Barra Longa. Ainda segundo a reportagem realizada pela Brasil de Fato, um dos atingidos conta que três meses após a tragédia, infecções na pele e caroços, principalmente nas extremidades das mãos e das pernas, começaram a aparecer.

Segundo Carlos Machado de Freitas, coordenador do Centro de Estudos e Pesquisa em Emergências e Desastres em Saúde (Cepedes/Fiocruz), o contato indireto com os rejeitos de mineração oferece risco à saúde da população atingida, e a exposição a produtos químicos se dá através do consumo de água e alimentos contaminados pela poeira. Os efeitos são de longo prazo e podem incluir danos renais e impactos no sistema nervoso central. (BRASIL DE FATO 2019)

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISE DE DADOS HIDROQUÍMICOS

---

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A partir do Monitoramento da Qualidade das águas, desenvolvido pelo IGAM 2015 - 2019 (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), foi possível obter o banco dados referente aos elementos químicos presentes nas águas do Rio Gualaxo do Norte, na localidade de Barra Longa- MG. Com o levantamento desses dados, foi possível elaborar para o trabalho uma série de gráficos a respeito de cada elemento de interesse de estudo, desde o rompimento da Barragem do Fundão, no quarto trimestre de 2015, até o segundo trimestre de 2019. A análise tem como finalidade reconhecer as concentrações dos elementos que extrapolam o valor do limite de classe 2, estabelecido pelo CONAMA (2005) - Conselho Nacional do Meio Ambiente e que pode oferecer riscos à saúde da população por meio de migração destes elementos na cadeia alimentar ou biodisponibilizando esses elementos a partir da irrigação ou até mesmo por meio do contato direto dérmico ou consumo dessas águas.

Os elementos de estudo foram: Al, Fe, Mn, As, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni, Cd, Zn. Para a aquisição dos parâmetros de concentração desses elementos utilizou- se os dados fornecidos pelo IGAM, programa de monitoramento da qualidade das águas, realizado mensalmente, entre os anos 2015 (logo após o rompimento), 2016, 2017, 2018 e 2019. Os limites de concentração dos elementos de estudo – classe 2 são fornecidos pelo CONAMA (2005), como mostra a tabela 1. A utilização desses dados viabilizou a confecção de gráficos onde é possível visualizar o momento em que determinado elemento ultrapassou o limite máximo permitido.

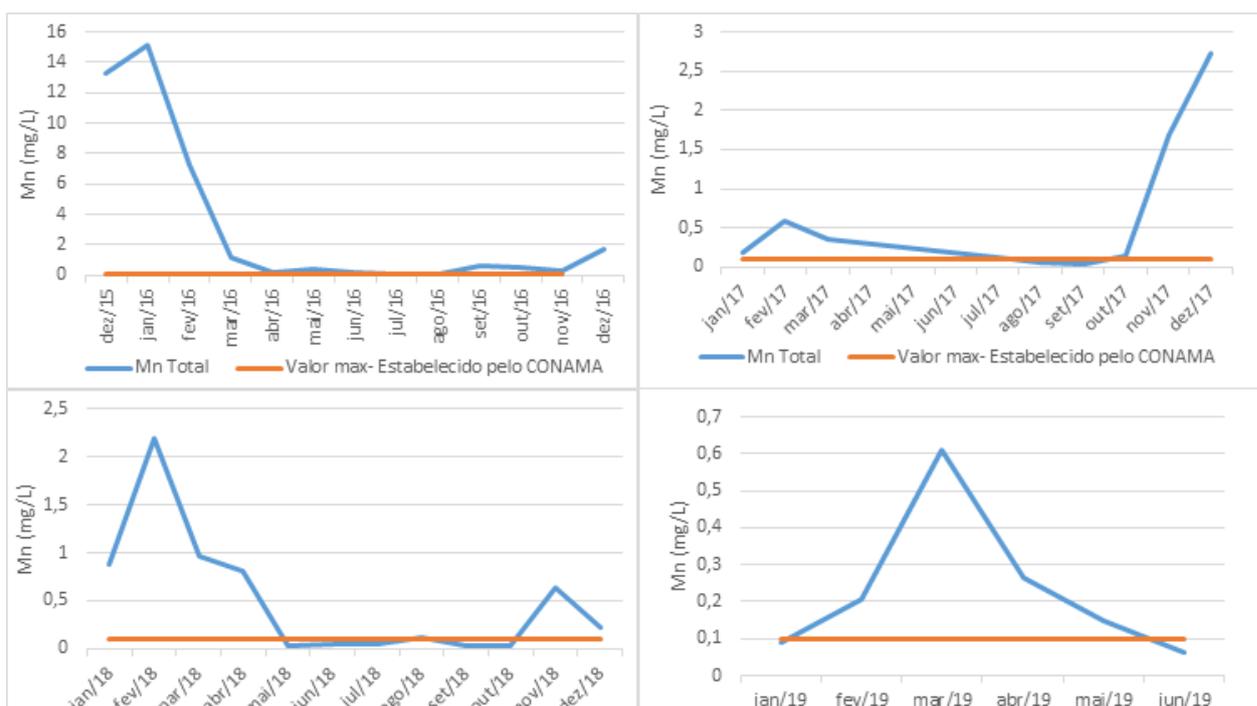
**Tabela 1** - Limite de concentração dos elementos de estudo, estabelecido pelo CONAMA - Classe 2. Fonte: Modificado de CONAMA, 2005.

Parâmetros inorgânicos	Concentração limite (mg/L)
Al	0,1
Fe	0,3
Mn	0,1
As	0,01
Pb	0,01
Cu	0,009

Cr	0,05
Hg	0,0002
Ni	0,025
Cd	0,001
Zn	0,18

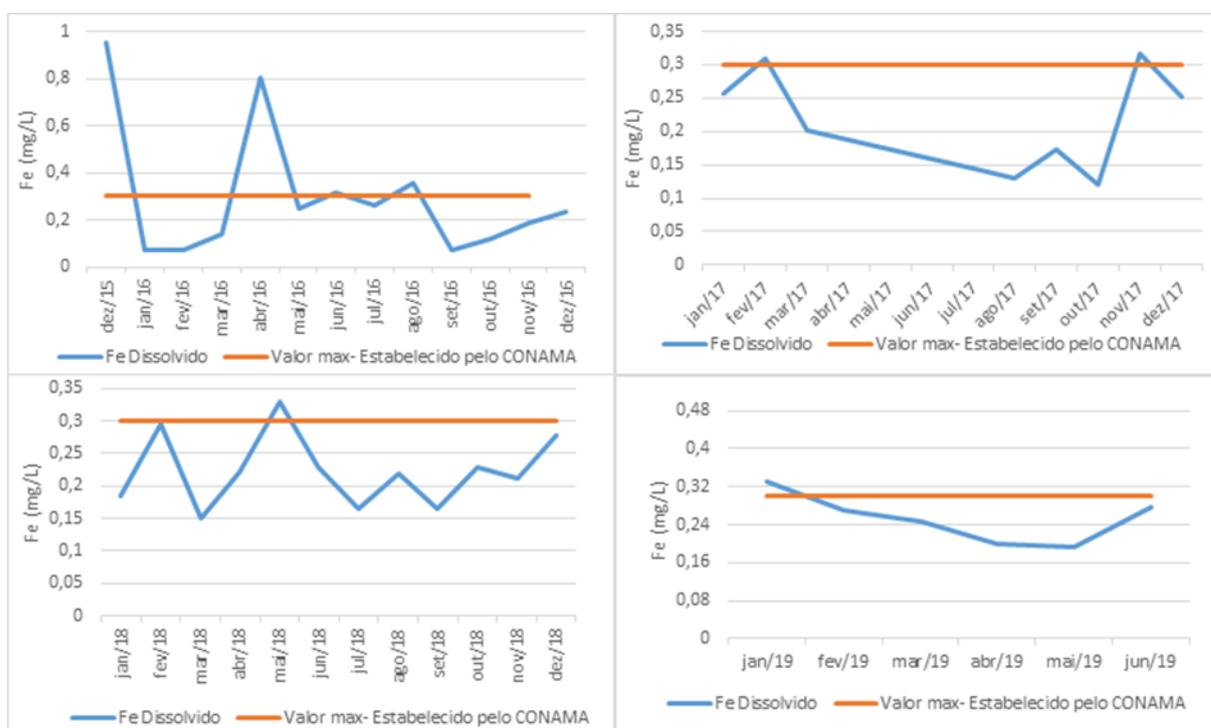
#### 4.2 ELEMENTOS Fe, Mn, Al

De acordo com a figura 4.0, observa-se que a concentração de manganês, em alguns períodos, ultrapassa o valor limite estabelecido pelo CONAMA (2005), observando este incremento principalmente no período chuvoso. Logo após o rompimento da barragem do Fundão, em novembro de 2015, observa-se anomalia da concentração deste elemento em dezembro, devido ao fluxo de rejeito que atingiu o rio Gualaxo do Norte. Segundo o IGAM, o incremento nos anos seguintes se deve a uma provável remobilização dos sedimentos causada pela ação da chuva, indo contra à tendência natural, já que, naturalmente, a chuva causaria uma diluição dos elementos e não o aumento da concentração. Isso se deve ao fato de que o período chuvoso fez com que os rejeitos expostos em barrancos se remobilizassem sendo então levados para rio, favorecendo o aumento da concentração dos elementos.

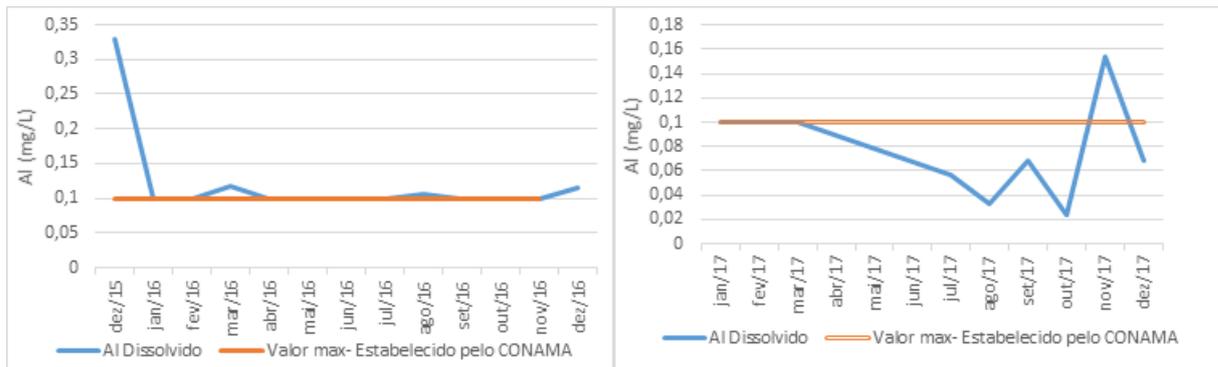


**Figura 4.0** - Resultado do manganês total, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

O mesmo acontece em relação ao ferro e alumínio. Observa-se, de acordo com a figura 4.1 e 4.2, a violação do limite de classe 2 (CONAMA 2005), registrado logo após o rompimento da barragem do Fundão e em fevereiro e novembro de 2017, período no qual houve registro de alta turbidez, reflexo de períodos chuvosos, segundo o banco de dados do IGAM. Nos anos de 2018 e 2019, não ocorreu um aumento significativo da concentração alumínio.



**Figura 4.1** - Resultado do ferro dissolvido, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005)



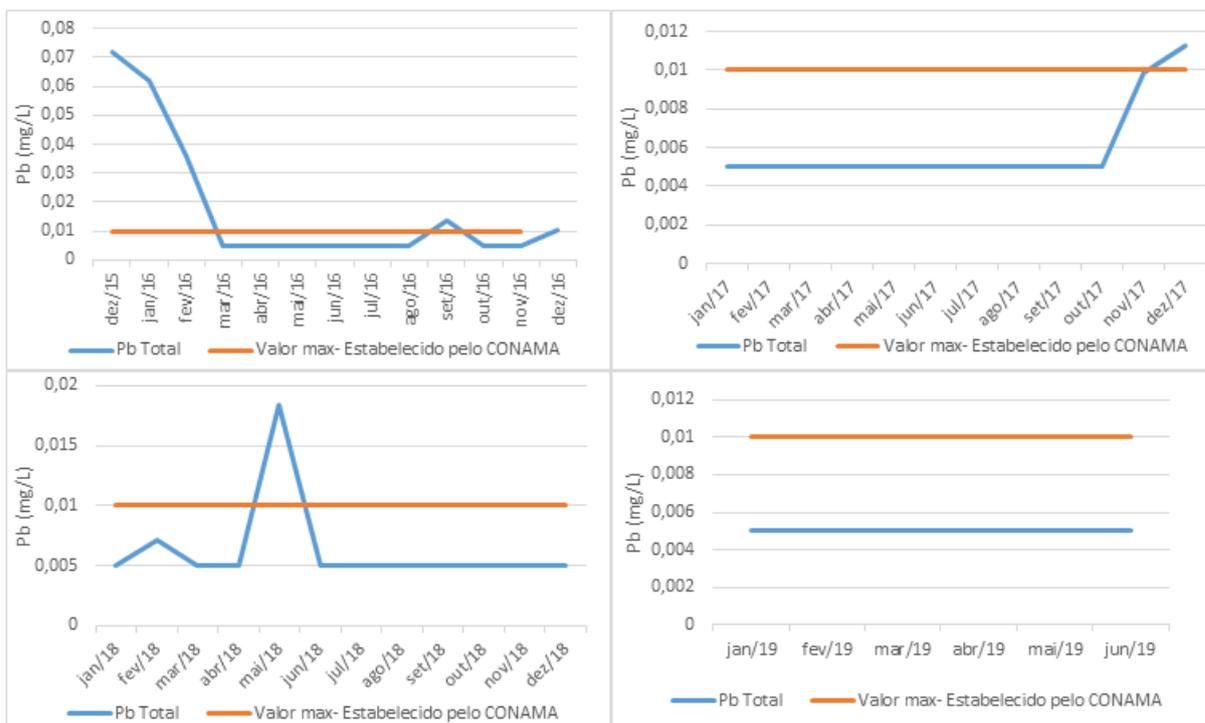
**Figura 4.2** - Resultado do alumínio dissolvido, desde o rompimento da barragem até o quarto trimestre de 2017, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

### 4.3 ELEMENTOS TRAÇO

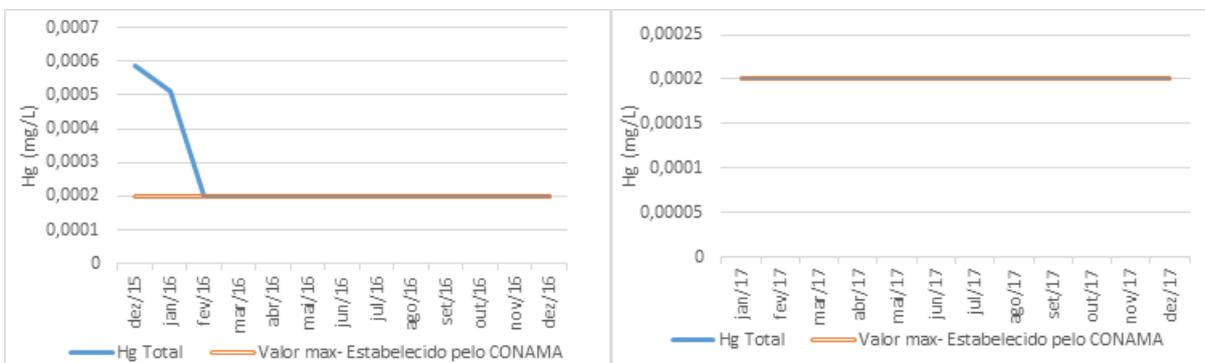
A seguir, será exposto a concentração dos elementos traço referentes aos períodos que esse valor extrapolou o limite máximo de concentração estabelecido pelo CONAMA (2005).

De acordo com as figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, logo após o rompimento da barragem do Fundão, é possível observar valores muito altos da concentração dos elementos Pb, Hg, Ni e Cu, decorrente da passagem da pluma de rejeito e a respectiva redução dessa concentração ao longo do tempo.

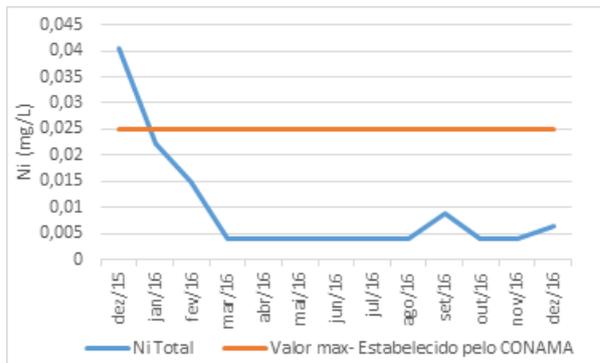
Devido aos períodos de chuva, os valores voltam a apresentar desconformidades. Esse fato pode estar associado ao revolvimento de material depositado no leito do rio, bem como o carreamento do material das margens e sua disponibilização para a coluna d'água. (IGAM 2018).



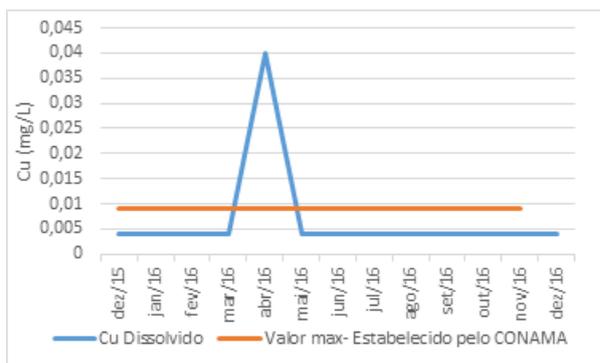
**Figura 4.3 -** Resultado do chumbo total, desde o rompimento da barragem até o segundo trimestre de 2019, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).



**Figura 4.4 -** Resultado do mercúrio total, desde o rompimento da barragem até 2017, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

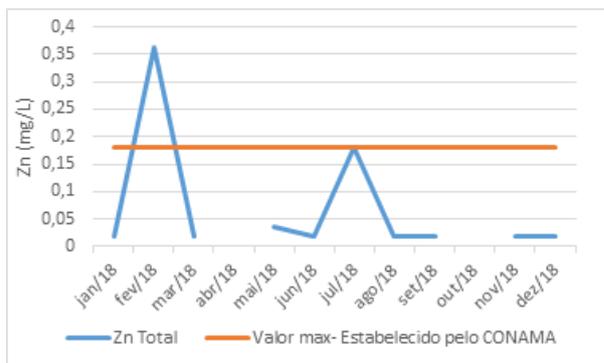


**Figura 4.5** - Resultado do níquel total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

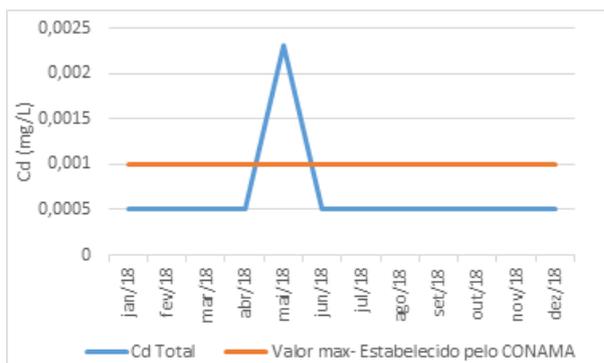


**Figura 4.6** - Resultado do cobre total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

É possível perceber na figura 4.7 e 4.8, os altos valores de Cd e Zn em alguns períodos de 2018, infere-se ser um possível reflexo desse fenômeno de remobilização dos sedimentos causados pelo período de intensa chuva. Entretanto há anomalias de Zn em períodos secos como em julho de 2018 e Cd em maio de 2018.



**Figura 4.7** - Resultado do zinco total, após o rompimento da barragem, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).



**Figura 4.8** - Resultado do cádmio total, em 2018, obtido no monitoramento especial pelo IGAM e o seu valor limite, estabelecido pelo CONAMA (2005).

#### 4.4 DISCUSSÃO

A partir da análise dos gráficos confeccionados, observa-se uma certa tendência em relação à alguns elementos. O Mn, por exemplo, apresentou o seu ápice logo após o rompimento da barragem, como esperado, chegando a 15,09 mg/L. Já nos anos consecutivos, a concentração do contaminante apresentou-se elevada em função da estação, marcada por períodos chuvosos, de acordo com a classificação climatológica. Segundo dados do IGAM, em novembro e dezembro de 2017, o elemento apresentou concentração de 1,695 mg/L e 2,723 mg/L respectivamente, e fevereiro de 2018 chegou a 2,187 mg/L, sendo os meses com maior concentração do Mn no período compreendido entre 2017 e 2019, ultrapassando bruscamente o valor de 0,1 mg/L, estabelecido pelo CONAMA (2005).

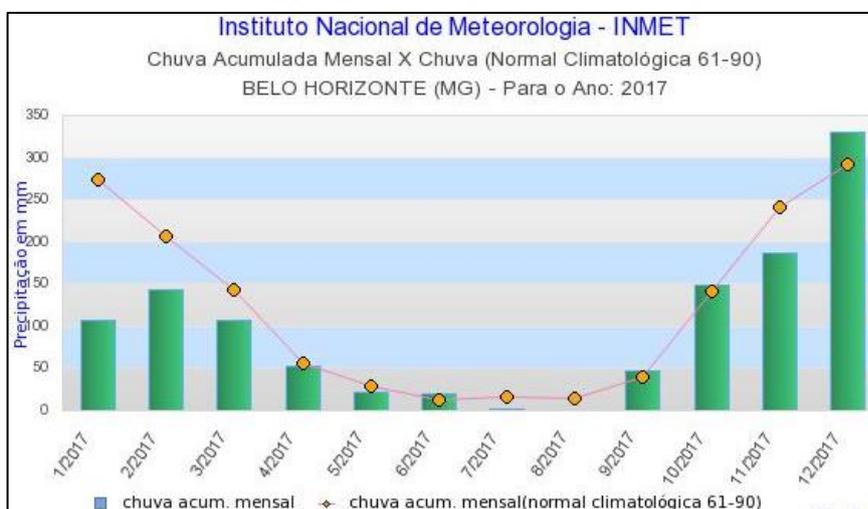
Os outros elementos apresentaram altos valores de concentração nos anos 2015 e 2016, assim como o Mn, devido ao intenso fluxo de rejeito decorrente do rompimento da barragem.

No período compreendido entre novembro e dezembro de 2017, observa-se que os elementos ferro e alumínio também apresentaram valores críticos que ultrapassam o valor de referência estabelecido pelo CONAMA (2005). De acordo com o monitoramento das águas realizado pelo IGAM, a concentração do Al chegou a 0,154 mg/L em novembro de 2017, ainda menor que o registrado no ano do rompimento da barragem, mas consideravelmente alto, já que o valor máximo estabelecido pelo CONAMA (2005) para o elemento é de 0,1 mg/L. Em maio de 2018 e janeiro de 2019, o Fe atingiu a concentração de 0,33 mg/L, chegando no seu auge em relação aos anos em questão. O mesmo foi observado com relação ao elemento traço Pb, altos valores no quarto trimestre de 2017, mas seu auge foi em maio de 2018 chegando a 0,018 mg/L. O elemento Cd apresentou seu ápice na mesma época, chegando a 0,0023 mg/L (IGAM). Segundo o CONAMA (2005), o valor máximo estabelecido para o Fe, Pb e Cd é de 0,3mg/L, 0,01 mg/L e 0,001 mg/L, respectivamente. O zinco também apresentou anomalias em 2018, ultrapassando 0,18 mg/L (valor limite estabelecido pelo CONAMA 2005) chegando a 0,364 mg/L em fevereiro e 0,1814 mg/L em julho do mesmo ano (IGAM).

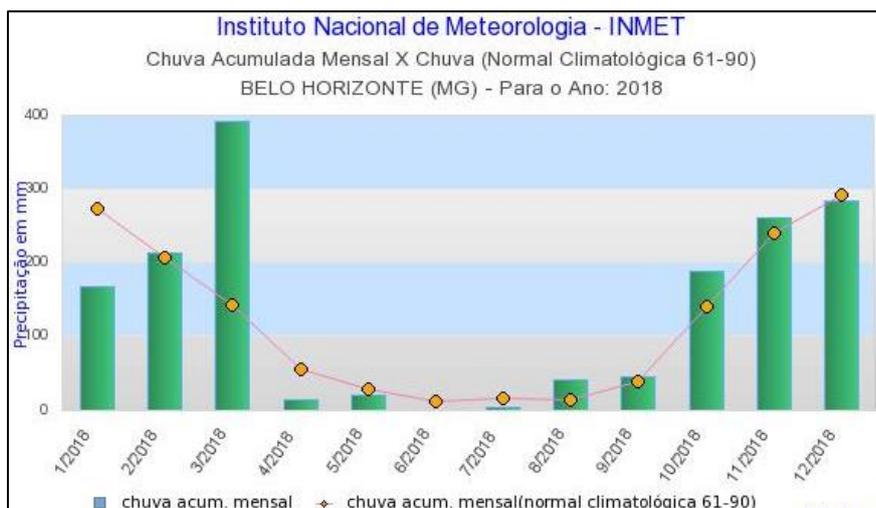
Períodos chuvosos ocasionam turbidez nas águas devido a remobilização do rejeito, sejam eles expostos em barrancos, ou em leito de rio. Consequentemente, o fenômeno gera aumento da concentração dos elementos no meio, o que pode explicar as alterações bruscas nas concentrações de Mn, Fe, Al, Pb em períodos chuvosos. Vale ressaltar que um rio em estado de equilíbrio espera-se menores concentrações dos elementos químicos em períodos chuvosos devido ao fenômeno de diluição.

O quarto trimestre de 2017 apresentou registro de elementos com alta concentração, infere-se que a causa seja a forte interferência de chuvas no período em questão, como é possível observar na figura 4.9. De acordo com o gráfico retirado do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), em relação a capital Belo Horizonte- município tomado como referência, novembro e dezembro de 2017 apresentaram a mais alta precipitação do ano, chegando a quase 350 mm em Minas Gerais, o que possivelmente reflete na turbidez dos rios. Segundo o monitoramento das águas pelo IGAM, a turbidez registrada foi de 1462 NTU no rio Gualaxo do Norte em dezembro de 2017, a mais alta registrada no ano, refletindo diretamente na concentração dos elementos em questão.

Em 2018, de acordo com a figura 5.0, é possível observar a alta precipitação no primeiro trimestre do ano, principalmente no mês de fevereiro, segundo o INMET. Entretanto, foi no mês de maio que os valores da concentração dos elementos Fe, Pb e Cd apresentaram-se mais altos, apesar da baixa precipitação (por ser um período seco) e baixa turbidez, comparado aos outros meses de acordo com o IGAM, o que contraria a alta concentração dos elementos. Segundo o encarte da qualidade das águas do Rio Doce (IGAM, 2018), realizou-se obras para retirar constrictões presentes no leito do rio do Carmo com o intuito de evitar alagamentos em épocas de chuva, o que pode ter acarretado em mudanças na qualidade da água. Os valores anômalos de concentrações de determinados elementos observados podem então ser reflexo dessa interferência.



**Figura 4.9** - Precipitação mensal de 2017. Fonte: INMET



**Figura 5.0** - Precipitação mensal de 2018. Fonte: INMET

## CAPÍTULO 5

### POEIRA

---

#### 5.1 INTRODUÇÃO

A fonte principal para realização do tratamento dos dados analíticos das amostras de poeira, coletadas no município de Barra Longa- MG foi o Estudo de Avaliação de Riscos à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão- MG, (AMBIOS 2019). Sabe-se que o quadro foi crítico no município, a mobilização da poeira foi agravada pelos trabalhos de retirada dos rejeitos com a operação de máquinas e o constante tráfego de caminhões de transporte de lama. A partir desse estudo e dados, realizou-se a análise estatística a fim de obter a relação dos elementos de Fe e Mn com outros elementos em questão, como o cádmio, níquel, cobre e zinco presentes no material.

Segundo relatos da AMBIOS (2019), detectou-se que o elemento cádmio estava presente em grande parte das amostras de poeira residencial coletadas em Barra Longa. Foi registrado que 70% das amostras apresentaram concentrações acima do valor de referência estabelecido pelo CONAMA (2009). Além do cádmio, o zinco, níquel e cobre também apresentaram concentrações que extrapolam o limite permitido.

#### 5.2 ESTUDO DO BANCO DE DADOS DA AMBIOS REFERENTE ÀS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NA POEIRA DE BARRA LONGA COMPARANDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA (2009)

Segundo Baird (2002) *in* Fernandes (2018), poeira é um termo genérico dado a material particulado. Classifica-se partículas pelo tamanho, já que isso influencia o transporte, penetração e deposição dentro do sistema respiratório.

De acordo com Manahan (2013) *in* Fernandes (2018), as partículas na fração de 0,001-100 µm ocorrem comumente em suspensão na atmosfera, conseqüentemente próximo a fontes poluidoras. Essas partículas se caracterizam como material particulado (MP), além de apresentar tamanho variável apresentam efeitos como capacidade de deterioração de materiais, poluição do ambiente e são nocivos à saúde humana.

Os valores de referência segundo o critério de prevenção em relação aos elementos Cd, Ni, Cu e Zn foram obtidos através da Resolução CONAMA (2009) para solos, como mostra a tabela 2. A utilização desses dados viabilizou a confecção de gráficos possibilitando a visualização da concentração (eixo das ordenadas do gráfico) de amostras de poeira coletadas em diferentes localidades (eixo das abscissas do gráfico) do município de Barra Longa (AMBIOS 2019) e a ultrapassagem do limite máximo permitido pelo CONAMA (2009) em relação a algumas das amostras. (Figura 5.1)

**Tabela 2** - Valor de referência para os elementos de estudo, estabelecido pelo CONAMA 420/2009. Fonte: Modificado de CONAMA, 2009.

Parâmetros inorgânicos	Valor de Referência (mg/kg)
Cd	1,3
Ni	30
Cu	60
Zn	300



**Figura 5.1** - Concentração dos elementos Cd, Ni, Cu e Zn nas amostras de poeira retiradas das localidades de Barra Longa (AMBIOS 2019) e seu respectivo valor de referência estabelecido pelo CONAMA (2009)

### 5.3 ESTUDO DE CORRELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS NA POEIRA COM BASE NOS DADOS DA AMBIOS.

Nesta etapa, buscou-se compreender a correlação de elementos como Fe e Mn cuja fonte principal na área é a lama de rejeitos proveniente da barragem do Fundão com os elementos que estavam em concentrações elevadas na poeira e que apresentam maior toxicidade como o Cd, Cu, Zn e Ni cuja fonte principal não é a lama de rejeitos e sim rochas máficas (Ni) e mineralizações e garimpos auríferos (Cd, Cu e Zn). Como é bem conhecida a capacidade de sorção do Fe e Mn (Costa 2001, Costa 2007) considera-se importante este entendimento.

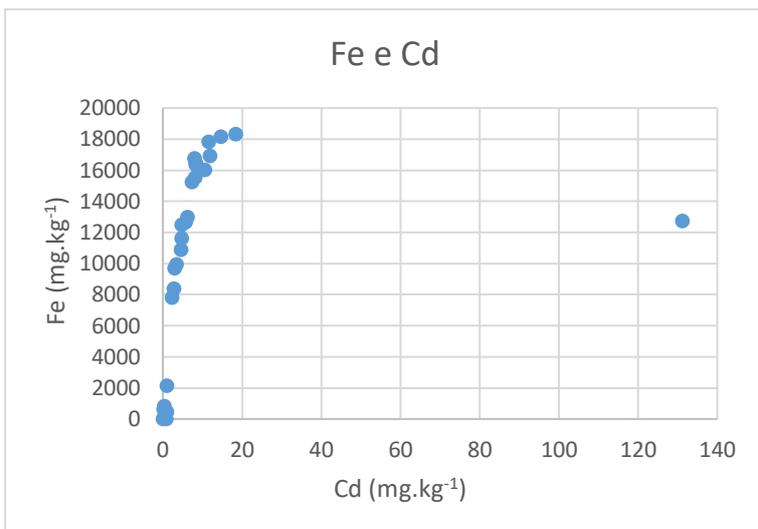
Utilizou-se a correlação de Pearson para gerar o coeficiente que indica a maneira como os elementos associam-se entre si. Valores positivos, maiores que 0, indicam que as variáveis estão diretamente relacionadas (tabela 3), acima de 0,7 a correlação é considerada muito boa. Além da correlação, a elaboração de gráficos foi importante para visualizar essa associação.

A tabela 3 ilustra esse resultado:

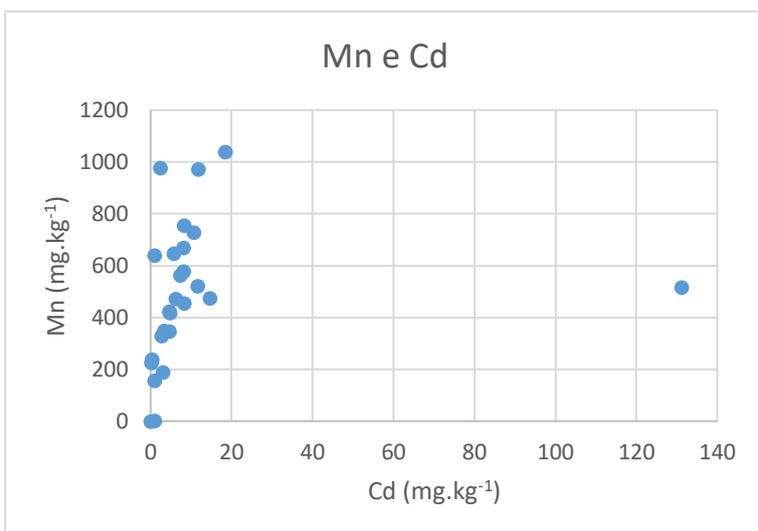
**Tabela 3** - Coeficiente gerado a partir da correlação de Pearson.

	Fe	Mn
Cd	0,225797	0,147221
Ni	0,362087	0,18028
Cu	0,403768	0,398207
Zn	0,217072	0,202168

Os gráficos abaixo (figura 5.2 e 5.3) retrata a relação direta entre as concentrações dos elementos Fe e Cd e Mn e Cd. É possível perceber a ocorrência de um valor anômalo de concentração do cádmio, que vai contra a tendência do grupo amostral. Isso se deve ao fato de que, segundo a AMBIOS (2019), em uma das amostras, o valor de concentração do contaminante chegou a 131 mg/ kg, superando drasticamente o valor de referência (1,3 mg/kg) (CONAMA 2009). O coeficiente obtido através da correlação de Pearson foi de 0,225797, para o Fe e Cd e 0,147221 para o Mn e Cd, de acordo com a tabela 2, indicando que as variáveis se relacionam diretamente (>0), como mostra o gráfico da figura 10, mas a correlação não é muito boa e não é possível afirmar que pode estar havendo sorção do Fe e Mn em relação ao Cd.

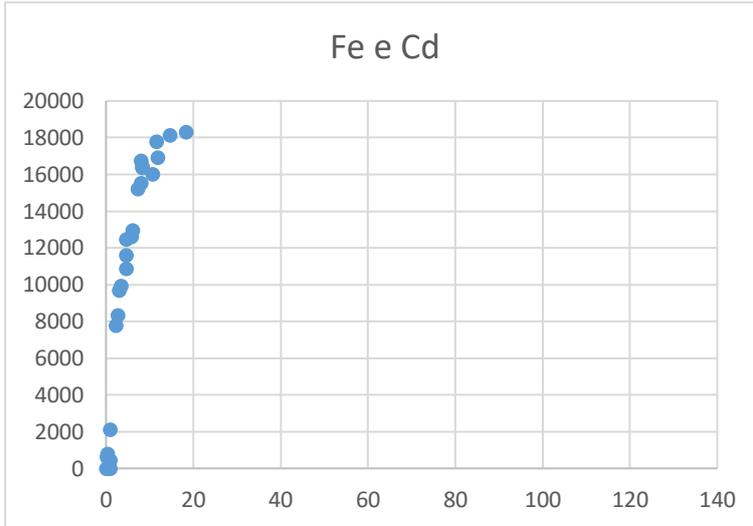


**Figura 5.2** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação Fe e Cd. (AMBIOS 2019)

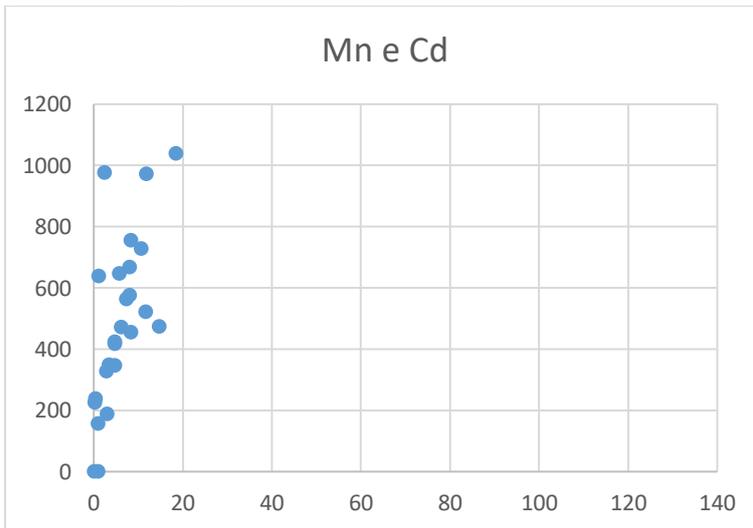


**Figura 5.3** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre Mn e Cd. (AMBIOS 2019)

Os gráficos da figura 5.4 e 5.5 foram gerados sem o valor anômalo do cádmio, evidenciando a linearidade entre as variáveis. Em relação a correlação de Pearson, ao excluir o valor anômalo do contaminante, obteve-se um coeficiente de 0,87857 para a correlação Fe e Cd e 0,666739 para Mn e Cd, o que comprova um resultado ainda mais satisfatório entre as variáveis, diferentemente do primeiro. Neste caso, os dados indicam que provavelmente há o fenômeno de sorção ou co-precipitação do Cd pelo Fe e Mn para essas amostras.

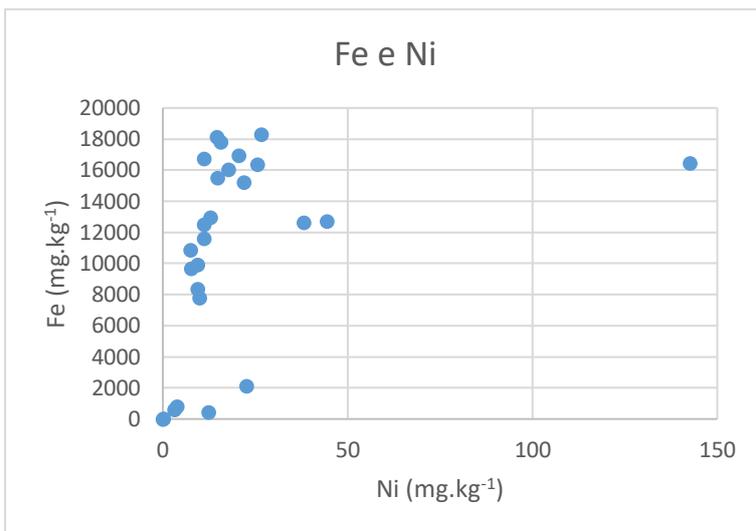


**Figura 5.4** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cd, sem o valor anômalo do Cd. (AMBIOS 2019)

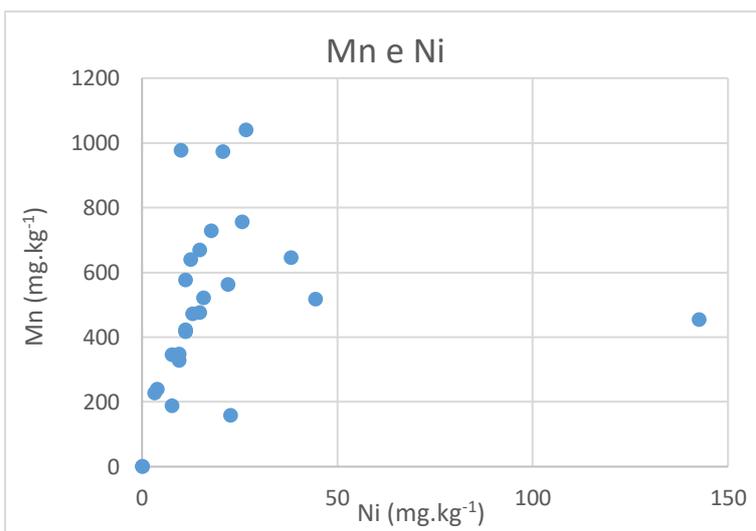


**Figura 5.5** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cd, sem o valor anômalo do Cd. (AMBIOS 2019)

De acordo com a AMBIOS (2019), os contaminantes níquel, cobre e zinco também apresentaram altas concentrações nas amostras de poeira coletadas nas localidades de Barra Longa- MG, parte ultrapassou o valor de referência estabelecido pelo CONAMA (2009). Os gráficos abaixo (figura 5.6 e 5.7) ilustram a relação direta do Fe e Mn com os contaminantes em questão.



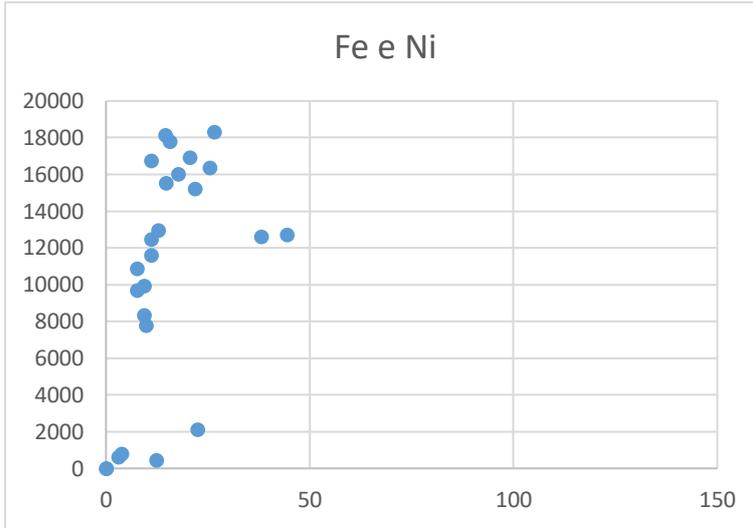
**Figura 5.6** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Ni. (AMBIOS 2019)



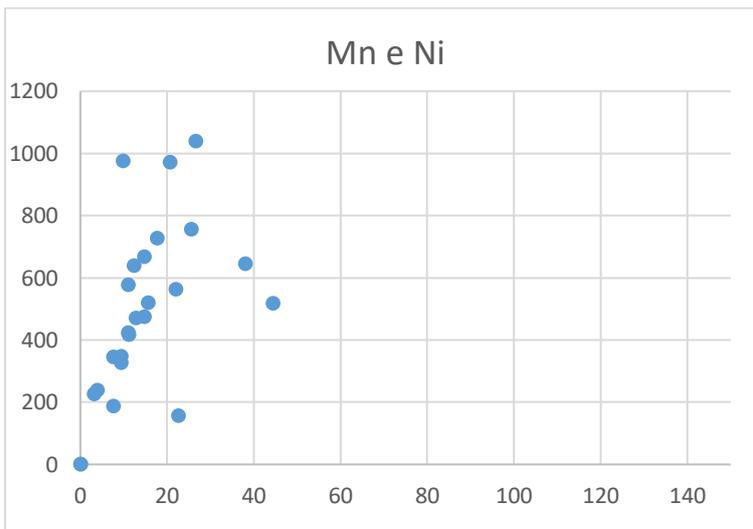
**Figura 5.7** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Ni. (AMBIOS 2019)

Os gráficos evidenciam a presença de um valor anômalo do Ni decorrente da concentração de 142,6 mg/kg registrada em uma das amostras de poeira (AMBIOS 2019), ultrapassando drasticamente o valor referência de 30 mg/kg, estabelecido pelo CONAMA (2009), esse valor se distancia da tendência amostral como observa-se nos gráficos acima.

O coeficiente gerado pela correlação de Pearson na relação Fe e Ni foi de 0,362087 e Mn e Ni 0,18028, como mostrado na tabela 3. Ao excluir o valor anômalo do Ni, obteve-se a relação 0,5128 para Fe e Ni e 0,52497 para Mn e Ni. É possível visualizar a correlação entre os elementos através do gráfico da figura 5.8 e 5.9.

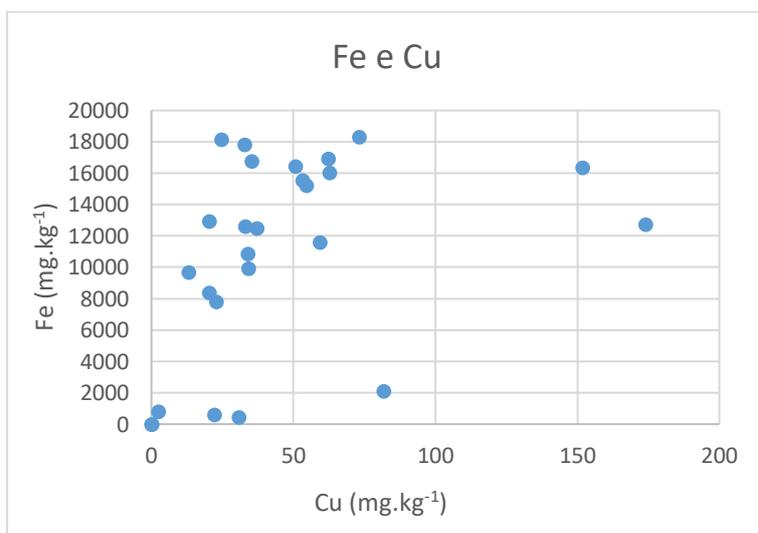


**Figura 5.8** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Ni, sem o valor anômalo do Ni. (AMBIOS 2019)

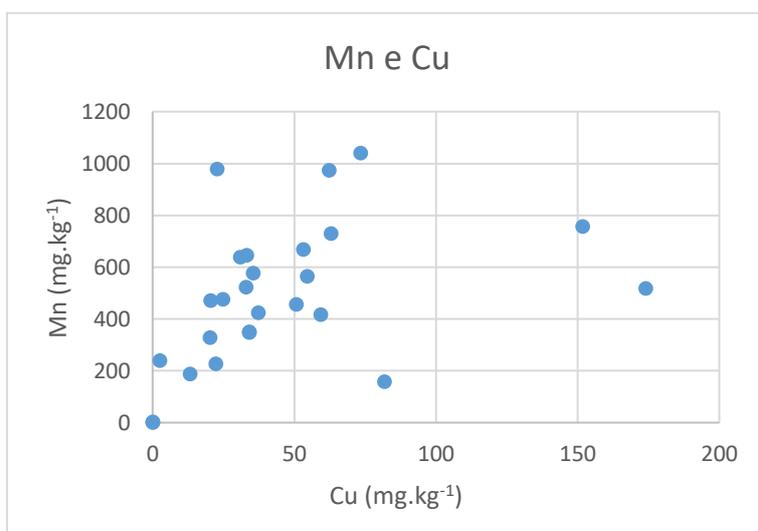


**Figura 5.9** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Ni, sem o valor anômalo do Ni. (AMBIOS 2019)

Os gráficos da figura 6.0 e 6.1, mostram a relação direta entre o Fe e Cu e Mn e Cu. Segundo a tabela 3, o coeficiente obtido através da correlação de Pearson para o contaminante, em relação ao Fe foi de 0,403768 e em relação ao Mn 0,398207. Ao visualizar os gráficos abaixo, percebe-se a existência de valores anômalos que se distanciam da tendência amostral. Os valores mais críticos registrados, segundo a AMBIOS (2019), foram de 151,7 mg/kg e 174,0 mg/kg levando em conta que o valor de referência para prevenção, segundo o CONAMA (2009), para o contaminante é 60 mg/kg.

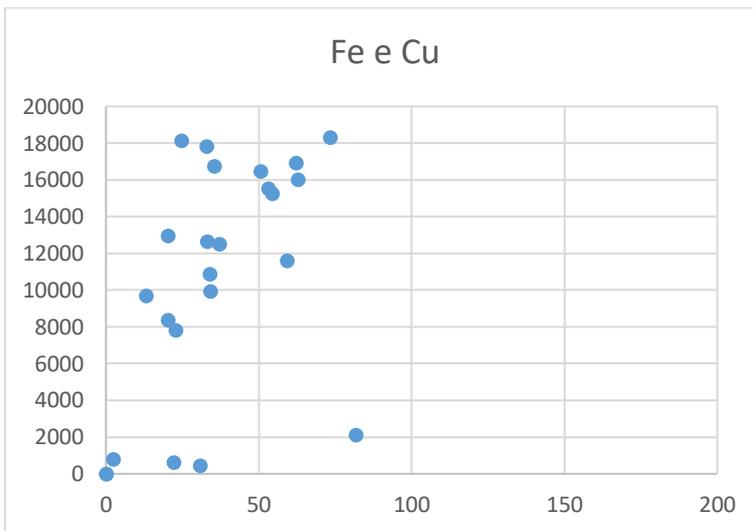


**Figura 6.0** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cu. (AMBIOS 2019)

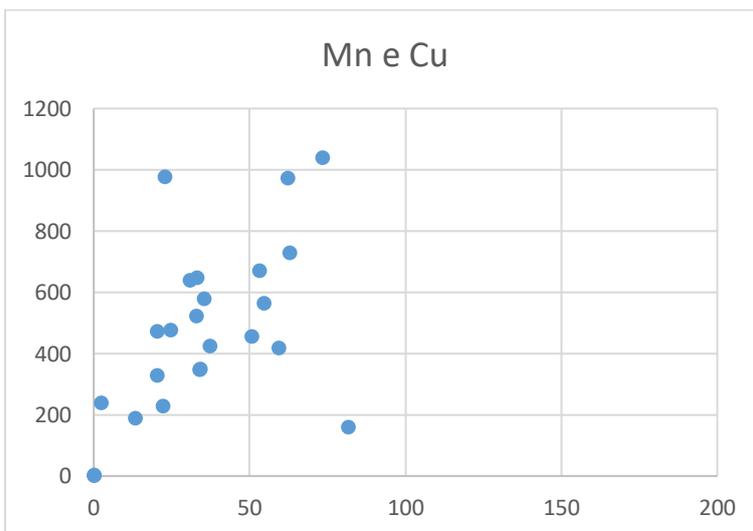


**Figura 6.1** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cu. (AMBIOS 2019)

Ao retirar os valores anômalos, observa-se o aumento da tendência linear do gráfico (figura 6.2 e 6.3) que, conseqüentemente, reflete no coeficiente de Pearson, aumentando para 0,509494 na relação Fe e Cu e 0,52795 do Cu relação ao Mn. Como as correlações se mantiveram abaixo de 0,7, a correlação não é boa entre Fe e Cu e Mn e Cu, ou seja, a presença do Cu na poeira provavelmente não está relacionada com a capacidade de adsorção dos compostos de Fe e Mn ali existentes.

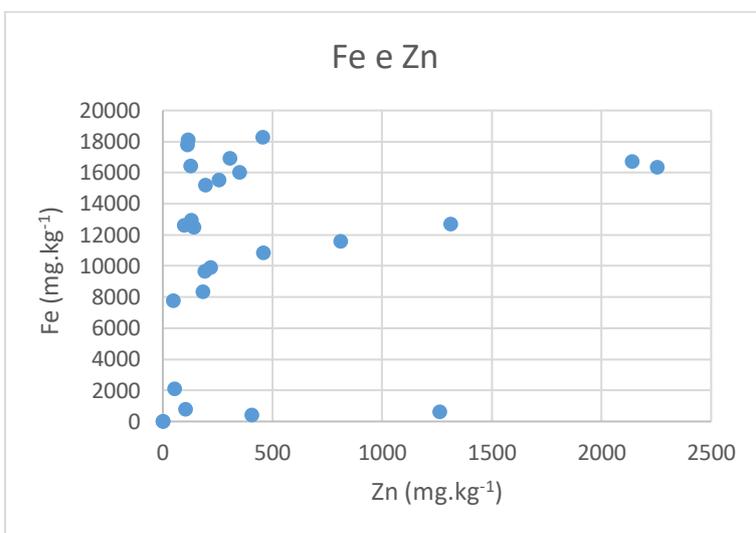


**Figura 6.2** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Cu, sem os valores anômalo do Cu. (AMBIOS 2019)

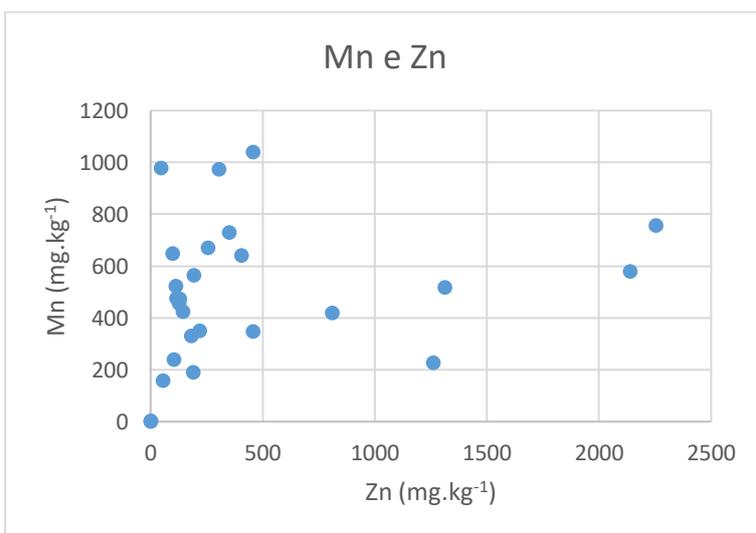


**Figura 6.3** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Cu, sem os valores anômalo do Cu. (AMBIOS 2019)

Para o Zn, de acordo com a tabela 2, obteve-se uma fraca correlação entre o contaminante e o Fe e Mn, o coeficiente obtido foi de 0,21707 para a relação do elemento com o Fe e 0,20216 em relação ao Mn, sugerindo a baixa interação entre os elementos, como observa-se no gráfico, devido à ausência da linearidade. Interpreta-se como uma baixa sorção do Fe e Mn em relação ao contaminante. Ou seja, o mesmo caso do Cu se aplica ao Zn, a presença do contaminante na poeira provavelmente não relaciona-se à capacidade de adsorção do Fe e Mn ali existentes. (Figura 6.4 e 6.5).



**Figura 6.4** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Fe e Zn. (AMBIOS 2019)



**Figura 6.5** - Gráfico gerado a partir dos resultados analíticos de poeira, correlação entre o Mn e Zn. (AMBIOS 2019)

Após a tragédia, a Mineradora Samarco realizou a retirada de uma parte da quantidade do rejeito das cidades que sofreram com o impacto da lama. A poeira foi gerada a partir da deposição desse material à jusante da barragem e com períodos de secas e fortes ventos, sua proliferação foi efetiva, afetando a comunidades locais (Fernandes 2018).

Os elementos Fe e Mn, por apresentarem associação, foram utilizados como parâmetro para a análise estatística/ correlação em relação aos contaminantes cádmio, níquel, cobre e zinco presentes no material. De acordo com Rodrigues (2012) *apud* Fernandes (2018), infere-se que o elemento Fe, especialmente na forma de hidróxidos, como é o caso da goethita, por exemplo, apresenta a propriedade de reter metais através da sorção, o que influencia na distribuição dos contaminantes em questão. Além disso, é bem conhecida a propriedade do Mn de sorção de metais (Costa 2007) em sedimentos fluviais.

Segundo Fernandes (2018), a ocorrência dos contaminantes presentes nas amostras de poeira podem estar associados tanto ao rejeito, quanto ao fato da existência de elementos nos sedimentos dos rios que sofreram remobilização pela força do fluxo de lama, fazendo com que os elementos se concentrassem na superfície.

Contudo, esta relação do Fe e Mn com demais metais na poeira não é bem conhecida na literatura do Quadrilátero Ferrífero. Neste sentido este trabalho vem contribuir evidenciando que metais como Cd mesmo não tendo a lama de rejeito como fonte principal na poeira, o Fe e Mn cuja fonte principal é reconhecida como sendo a lama, podem ser considerados como carreadores para a dispersão deste metal na poeira e provavelmente vem contribuindo para o aumento de doenças na comunidade.

Neste contexto, resultados indicam que a lama de rejeito da barragem de Fundão dispersa na região de Barra Longa pode ser considerada fonte de exposição da comunidade a metais como Cd e Mn de alto potencial de toxicidade.

## **CAPÍTULO 6**

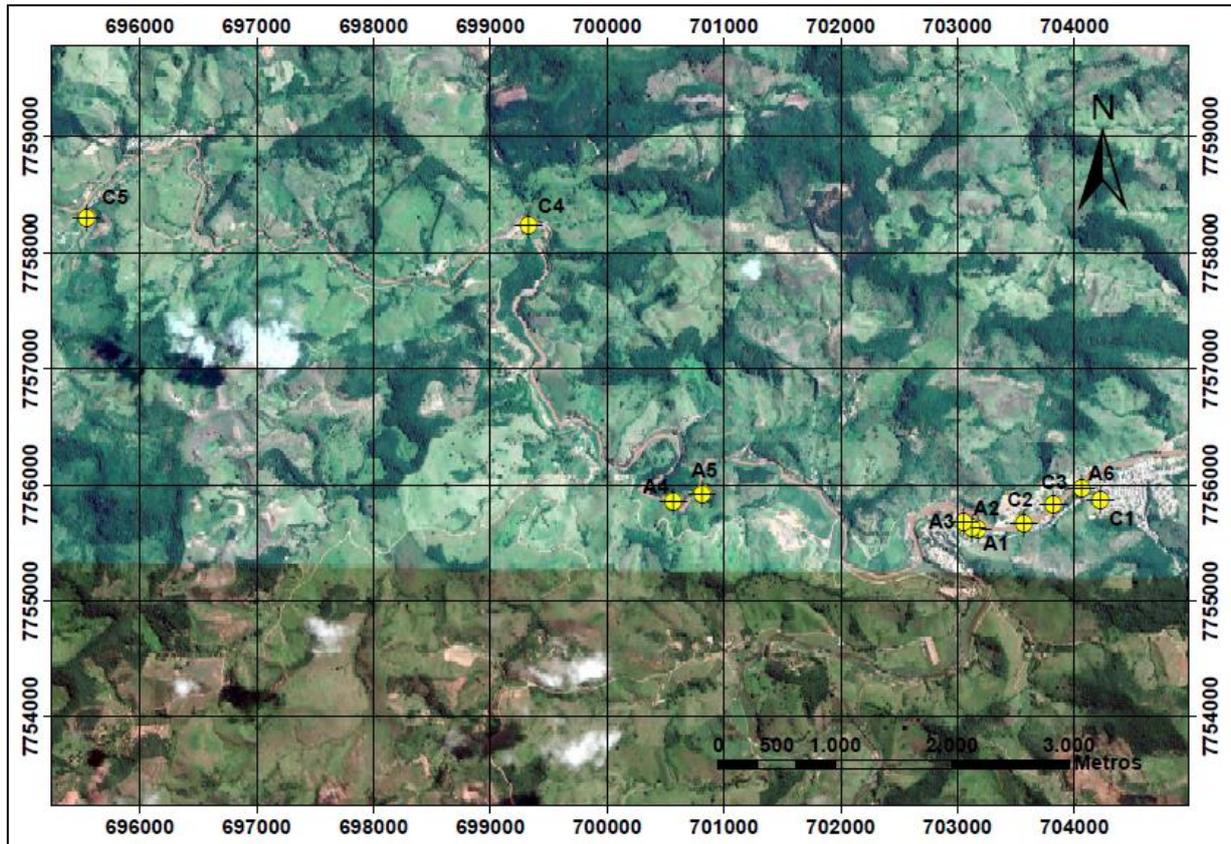
### **DIAGNÓSTICO SÓCIO-AMBIENTAL E GEOQUÍMICO DE SOLOS E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS**

---

#### **6.1 CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL**

A tragédia do rompimento da barragem do Fundão reflete até os dias de hoje na vida da comunidade de Barra Longa e Gesteira no que diz respeito à qualidade da água, poeira e solo superficial. De acordo com habitantes, a lama afeta desde o plantio de alimentos para o consumo familiar, água de consumo próprio, até qualidade do ar, acarretando em problemas de saúde e na vida de uma forma geral das famílias que habitam a região.

Os pontos A1, A2 e A3, A4, A5, A6 (figura 6.6) são referentes ao primeiro trabalho de campo realizado em Barra Longa, onde coletou-se sedimentos e solos superficiais para análise geoquímica. Os Pontos C1, C2, C3, C4 e C5 (figura 6.6) são relativos ao segundo trabalho de campo, realizado em Barra Longa e Gesteira, onde além de observações de campo e coleta de sedimentos e solos superficiais, foi possível ouvir e registrar alguns depoimentos de moradores locais que acompanharam de perto o decorrer da tragédia. As amostras coletadas, relativas ao segundo trabalho de campo, não foram submetidas análise geoquímica, decorrente de problemas técnicos no ICP-OES em operação no departamento de Geologia da UFOP.



**Figura 6.6** - Mapa de localização dos pontos (WGS 84 / UTM zone 23S). Fonte: Google Earth 2020

No ponto A1, observa-se um solo de coloração mais clara e mais abundante (figura 6.7), no ponto A2 observa-se um solo superficial um pouco mais escuro e o ponto A3 um solo arado, provavelmente de aterro, destinado ao plantio (figura 6.8). O ambiente é de planície de inundação denominado de parque de exposição e foi um local de grande depósito de rejeitos que foram retirados pelas máquinas após o rompimento. A coleta de material para análise geoquímica foi realizada 2 anos após este processo de retirada e recuperação da área.

Os pontos A4, A5, A6 são referentes a depósito em barra de pontal e barrancos respectivamente, amostras coletadas ao longo da Bacia do Rio Gualaxo do Norte. Por tratar-se de um rio predominantemente meandrante, a tendência natural é a ocorrência de depósitos de barra em pontal (figura 6.9), o material também foi submetido à análise geoquímica.

Em relação aos 3 primeiros pontos, como o fundo do leito do rio não foi dragado é possível que o rejeito chegue à superfície em épocas de cheia, ou seja, a tendência é que se concentrem em planícies de inundação. Tal fato torna o ambiente importante para o estudo de solos e sedimentos, já que é susceptível à concentração de elementos provenientes do rejeito. Além disso, o fato dos solos apresentarem características distintas sugere-se o possível

retaludamento da área e inserção de solos de áreas de empréstimo, muitas vezes evidenciado no campo com a presença de solos aparentemente proveniente de gnaisses acima da lama de rejeito, evidenciado também pelo muro de arrimo para reter do material.



**Figura 6.7** - Planície de Inundação, muro de arrimo retendo o material.



**Figura 6.8** - Solo arado no parque de exposição.



**Figura 6.9** - Depósito de barra em pontal no Rio Gualaxo do Norte.

Ponto C1, rua da moradora de Barra Longa, Simone, que presenciou a movimentação de máquinas e algumas reformas em sua rua, devido aos danos que a lama gerou no município. Simone nos deu seu depoimento a respeito da situação. De acordo com ela, os bloquetes de sua rua, no município atingido, foram afixados com terra proveniente do rejeito (figura 7.0). A moradora afirma ter acompanhado o processo de reforma do calçamento da rua e se preocupa com a situação, já que a chance do contato com os possíveis contaminantes aumenta, principalmente através de materiais particulados. A partir disso, foi retirado um dos bloquetes da rua para a coleta do solo, a fim de analisar geoquimicamente, o que não foi possível, já que o ICP- IOES da UFOP não se encontra em condições de uso, como falado anteriormente.



**Figura 7.0-** Retirada do bloquete da rua em Barra Longa para coleta do solo

A seguir, registro do depoimento do Antônio de Deus, morador do município de Barra Longa, onde ele relata a maneira como a tragédia afetou e ainda afeta a vida da comunidade, principalmente no que se diz respeito ao uso do solo como fins agrícolas.

“É terra que eles jogaram em cima, mas não adianta, a raiz não consegue infiltrar, não consegue puxar umidade por causa do rejeito embaixo, onde ele seca, ele endurece, empedra, vira concreto. O povo planta em cima da terra, mas dependendo do que planta não cresce, seca tudo.” (Figura 7.1, 7.2, 7.3)

O ponto C2 foi marcado próximo ao Rio do Carmo, área rural de Barra Longa destinada a plantios por pequenos produtores rurais.



**Figura 7.1** - Plantação em Barra Longa.



**Figura 7.2** - Detalhes do rejeito exposto.



**Figura 7.3** - Planície de inundação, do Rio do Carmo.

No ponto C3 observou-se uma quebra de relevo e infere-se ter sido gerada pelo rejeito que se concentrou próximo à planície de inundação. Segundo informações de moradores, somente uma parte do rejeito foi retirado e a área foi recoberta por “terra”- solo de aterro. (Figura 7.4). Ainda segundo moradores, o rejeito retirado foi para utilização em calçamentos do município.



**Figura 7.4** - Solo de aterro ensacado por fibra de coco.

O ponto C4 foi marcado no caminho de Barra Longa sentido Gesteira, no local foi observado um terraço em meio ao ambiente de planície de inundação (figura 7.5 e 7.6), infere-se que não se trata de um ambiente natural e sim de um depósito superficial feito por ação antrópica que gerou a quebra de relevo.



**Figura 7.5** - Quebra de relevo



**Figura 7.6** - Outra perspectiva da área.

O último depoimento foi o de Eduardo Inocêncio no ponto C5, em Gesteira- MG. “Em alguns lugares colocaram o rejeito, cortaram o terreno com trator, para jogar em outra área, mas depois o ‘meio ambiente’ impediu de fazer esse corte de terreno. Com a vegetação a quantidade de poeira diminuiu. O gado está ingerindo essa grama, o abatimento desse gado não é feito na região, mas a gente acaba ingerindo alguma coisa né...”

As fotos mostradas nas figuras 7.7, 7.8 e 7.9 foram tiradas na área descrita por Eduardo Inocêncio, após o seu depoimento. A região fica no município de Gesteira.



**Figura 7.7-** Gramíneas que crescem em solo, gado ao fundo.



**Figura 7.8** - Solo da região proveniente do rejeito



**Figura 7.9** - Área atingida pela lama, ao fundo corte no terreno.

## 6.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

É importante ressaltar que foram coletadas, em todos os pontos, amostras de solo superficial a fim de analisar geoquimicamente os sedimentos silto argilosos da área de estudo. Analisou-se as amostras referentes aos pontos do primeiro trabalho de campo, momento em que o ICP-IOES da UFOP ainda se encontrava em condição de uso.

A caracterização geoquímica do solo superficial será com base nas amostras A1, A2, A3, A4, A5, A6. A amostragem do solo superficial está restrita a uma profundidade de até 10 cm, sendo considerado então a mais propensa à concentração de grande parte dos contaminantes devido à baixa mobilidade vertical (AMBIOS 2019).

### 6.2.1 Resultados

A tabela 4, a seguir, é relativa ao resultado da análise geoquímica dos pontos A1 à A6, onde é possível verificar a concentração dos elementos químicos de interesse como Fe, Al, Mn, As, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb.

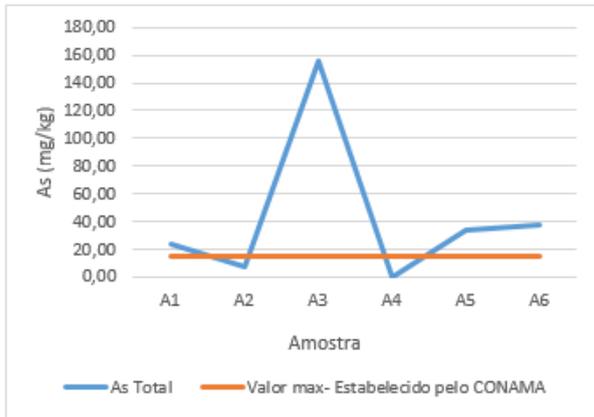
**Tabela 4** - Concentração dos elementos químicos obtida através da análise geoquímica.

Amostras	As (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Al (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (%)	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )
A1	23,86	<LQ	25,43	16,37	41,21	981,66	16154,93	163958,77	16,40	17,24
A2	7,80	7,20	6,44	5,43	32,93	1032,25	5132,67	289213,88	28,92	<LQ
A3	155,67	<LQ	33,14	38,59	43,03	1506,69	23542,05	172988,06	17,30	11,48
A4	<LQ	<LQ	1,84	3,44	21,85	998,20	2046,93	319072,63	31,91	<LQ
A5	33,88	<LQ	11,69	15,77	30,52	3203,02	9933,15	185115,17	18,51	10,71
A6	37,58	<LQ	15,77	16,37	35,74	2025,98	15049,40	191355,11	19,14	12,82

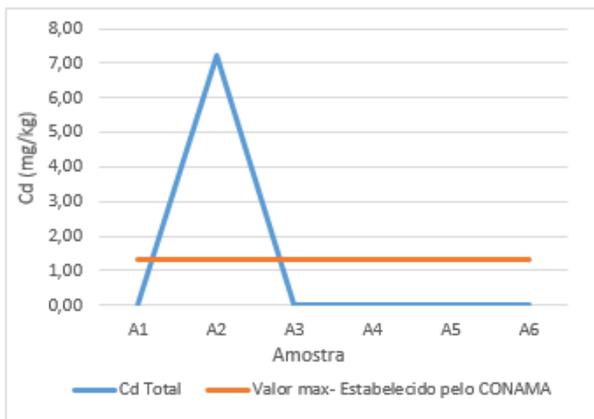
LQ= Limite de Quantificação

Como citado anteriormente, a concentração dos elementos foi obtida através da análise geoquímica das amostras de solo superficial referente ao ambiente de planície de inundação (A1 a A3) e *overbank* de barra e barrancos (A4 a A6).

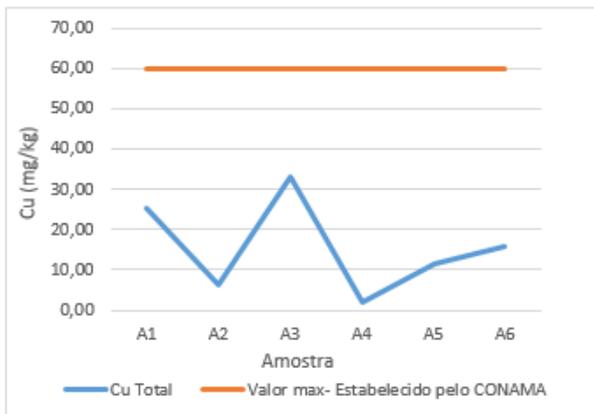
Para fins comparativos e melhor entendimento das concentrações, utilizou-se como parâmetro os valores máximos estabelecidos pelo CONAMA (2009) para os elementos traço As, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb. Assim como realizado para a água e poeira da região de estudo, será demonstrado através de gráficos também para solo superficial. (Figura 8.0,8.1,8.2,8.3, 8.4, 8.5)



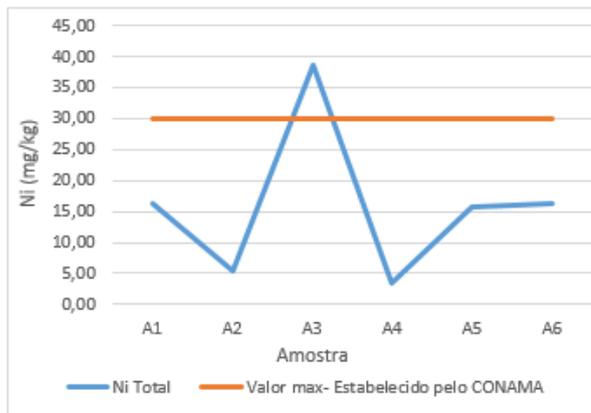
**Figura 8.0** - Concentração do As e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).



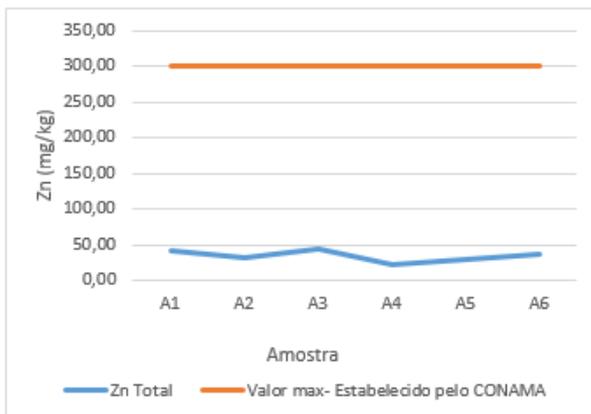
**Figura 8.1** - Concentração do Cd e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).



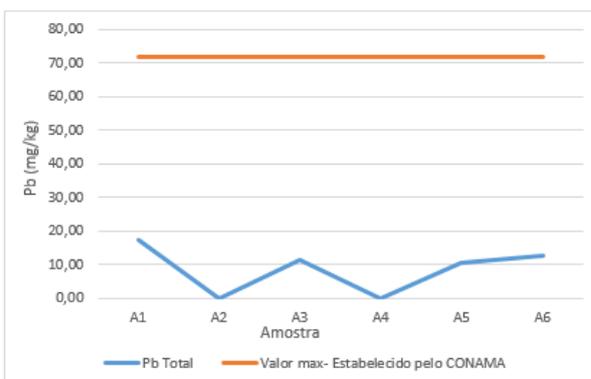
**Figura 8.2** - Concentração do Cu e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).



**Figura 8.3** - Concentração do Ni e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).



**Figura 8.4** - Concentração do Zn e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).



**Figura 8.5** - Concentração do Pb e o seu valor máximo permitido, estabelecido pelo CONAMA (2009).

A partir da análise dos gráficos obtidos, observa-se que a A1 apresentou alta concentração de As, ultrapassando o valor máximo de referência estabelecido pelo CONAMA 2009, além do arsênio, observa-se altas concentrações de Cu e Pb na amostra que, mesmo não ultrapassando o limite permitido, os valores são anômalos- relativamente altos se comparado com o obtido nas outras amostras.

Na amostra A2 foi obtido como resultado elevada concentração de Cd, ultrapassando o valor de referência. Já na amostra A3 referente ao solo arado no parque de exposição de Barra Longa, observa-se elevada concentração dos elementos químicos As, Cu, Ni, Zn e Pb, sendo a amostra com maior ocorrência de anomalias se comparado com as outras. Dentre esses elementos, o As e Ni ultrapassam o valor de referência.

A1, A2 e A3 são referentes a um ambiente de planície de inundação e já em relação as amostras A4, A5 e A6, referentes a overbank, observa-se que as duas últimas apresentaram alta concentração de As, extrapolando o máximo permitido de acordo com o CONAMA 2009.

Nas amostras analisadas, o As foi o contaminante mais recorrente com elevada concentração, ultrapassando o valor de referência em 4 dos 6 pontos coletados. Importante ressaltar que a elevada concentração do contaminante, de acordo com Costa (2007), pode se dar devido a percolação de água nas rochas hospedeiras da mineralização de Ouro, em solos contaminados e pilhas de estéreis de minas da região do Quadrilátero Ferrífero e, segundo Borges (2002) *in* Costa (2007), detectou-se alta concentração do contaminante na saída da mina de Passagem de Mariana em direção ao rio do Carmo, o que faz com que a região sofra interferências. Ou seja, é possível que o contaminante não tenha relação direta com o rejeito e sim com o antigo histórico de mineralização de ouro nas minas da região de Ouro Preto e Passagem de Mariana, já que a atividade realizada de forma indevida expõe materiais sulfetados o que propicia sua oxidação, liberando o contaminante nas águas e ambiente da região.

Os elementos traço Cd e Ni, também ultrapassaram o valor máximo permitido pelo CONAMA. O níquel, associa-se a rochas básicas e ultrabásicas e gnaisses tonalíticos a graníticos, litotipos característicos do Complexo Santo Antônio de Pirapetinga (Schorscher, 1979 *in* Costa, 2007), de ocorrência nos cursos médio e baixo da bacia do rio do Carmo, logo, exercendo influência nos solos de estudo. No caso do cádmio, segundo Costa (2007), sua fonte primária está associada ao minério aurífero, o que também leva a concentração do elemento na região.

Os resultados obtidos para o Fe nas amostras analisadas foram comparados com o valor de *background* de Rodrigues (2012). As 6 amostras apresentaram-se acima do valor de

*background* do ferro, de 8,2%, segundo Rodrigues (2012). A amostra A1 foi a que apresentou menor concentração com o registro de 16,40% e A4 apresentou a mais alta concentração, de 31,91%. Segundo Rodrigues (2012), os valores que extrapolam o *background* estabelecido, podem ter relação com a mineração do ferro no alto curso da bacia do rio Gualaxo do Norte.

Para o Mn, registrou-se alta concentração do elemento nas amostras A5 com 3203,02 mg/kg e A6 2025,98 mg/kg, ultrapassando o valor do *background* estabelecido por Rodrigues (2012), de 1636,00 mg/kg. A alta concentração de manganês pode estar associada aos óxi-hidróxidos de ferro, às ocorrências de mineralizações de manganês recorrentes nas rochas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, do alto curso do rio Gualaxo e do rio do Carmo, além da influência dos rejeitos da barragem do Fundão.

É importante ressaltar que o histórico da região indica a predisposição à elevadas concentrações de determinados elementos. Além desse agravante, os rejeitos podem ter gerado interferência nas redondezas, potencializando ainda mais a concentração dos contaminantes em questão. O cádmio por exemplo, segundo os estudos da AMBIOS, após o rompimento da barragem do Fundão com o volume de rejeito proveniente da lama, o contaminante apresentou picos de concentração, superando máximos históricos da região, esse mesmo padrão foi observado para outros contaminantes como arsênio, níquel, ferro e manganês.

Entretanto, elementos traço como o As tem grande associação com mineralizações auríferas nas áreas de cabeceira do rio Gualaxo do Norte e Rio do Carmo (Costa 2007) e pode ser levantada a hipótese de que provavelmente o aumento do Fe e Mn proveniente dos rejeitos da barragem do Fundão pode ter desenvolvido o fenômeno de sorção desses elementos traço aumentando a disponibilidade desses contaminantes nos solos superficiais, associados muitas vezes a sedimentos em suspensão que transbordaram do leitos para as margens da calha do rio.

## CAPÍTULO 7

### GEOLOGIA MÉDICA

---

#### 7.1 ELEMENTOS ASSOCIADOS À ÁGUA

Os elementos químicos que ultrapassaram os limites estabelecidos pelo CONAMA (2005) nas águas superficiais analisadas nesse trabalho foram, Mn, Fe, Al, Pb, Zn e Cd, onde registrou-se significativos períodos de ápice, anos após o rompimento.

A seguir são apresentados os sintomas associados às pessoas que são expostas às altas concentrações destes elementos supracitados. De acordo com WHO (2015; IPCS, 1978) *in* Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017), elementos químicos, mesmo que essenciais ao homem, podem exercer efeitos tóxicos se expostos em elevada concentração. É o caso do manganês e ferro, podendo levar a efeitos adversos ao sistema nervoso central, respiratório e reprodutivo.

##### **Manganês**

Segundo estudos do Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017), a intoxicação por Mn, por exposição crônica, se dá principalmente pelas vias respiratórias, por inalação de pequenas partículas e de maior solubilidade que passam para a corrente sanguínea onde se distribuem por órgãos como cérebro, fígado, pâncreas, intestino e rim. No cérebro, o Mn pode provocar degeneração neural por depositar-se nos núcleos da base, causando também alterações no metabolismo das catecolaminas (dopamina), onde leva a um quadro clínico semelhante a Doença de Parkinson. Os sintomas são, principalmente, tremores e movimentos involuntários, manifestações comportamentais como alterações bruscas de humor, apatia, sonolência, alucinações. Pode ainda gerar pneumonite (alterações respiratórias).

##### **Ferro**

O Fe, mesmo sendo um elemento essencial para os organismos vivos, a sua concentração em níveis elevados possui toxicidade. A intoxicação por ingestão do elemento pode produzir diversos efeitos patológicos, como câncer, diabetes, doenças hepáticas,

problemas cardíacos, disfunções do sistema imunológico e hormonais. (Gardi et al. 2002, Trinder et al. 2002, Salonen et al. 1992 *in* Mendes 2012).

### **Alumínio**

Como o alumínio não é um elemento essencial ao corpo humano, sua importância reside no efeito tóxico e cumulativo que provoca em pacientes com insuficiência renal crônica (IRC), sendo necessário submeter-se à hemodiálise. Na corrente sanguínea os íons alumínio acumulam-se no organismo por deposição nos ossos e no cérebro provocando distrofia óssea e distúrbios neurológicos. (Garcia et al. 1996)

Associa-se também a intoxicação por alumínio à constipação intestinal, anorexia, fadiga, náuseas, alterações neurológicas levando a danos ao tecido cerebral. Estudos relatam que o elemento é um agravante do mal de Alzheimer. (Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace, 2017)

### **Chumbo**

Segundo a AMBIOS (2019), o chumbo se dissipa no plasma depositando em ossos, dentes e cabelos, sendo a principal via de absorção a respiratória e oral. A porção livre no plasma é o que apresenta efeito lesivo, sendo que o contato dessa fração com o fígado, rins, medula óssea e sistema nervoso gera uma ação altamente tóxica. O estudo relata que adultos expostos a doses a partir de 30 µg/dl pode acarretar na diminuição da velocidade de condução nervosa, mudanças neurocomportamentais como irritabilidade e alterações na memória e sinais neurológicos como diminuição de libido, fraqueza e cefaleia. Doses a partir de 10 µg/dl podem acarretar na diminuição da fertilidade.

A intoxicação pelo chumbo, segundo o Manual de Toxicologia Clínica (2017), é denominada saturnismo ou plumbismo e não há uma dose letal mínima para o contaminante, porém associa-se com índices de mortalidades aumentadas para pessoas sujeitas a exposição levando a cânceres, problemas renais, hipertensão e doença cerebrovascular (LUSTBERG & SILBERGELD, 2002 *in* AMBIOS 2009).

## **Zinco**

Em relação ao zinco, a alimentação é a principal rota de exposição, devido a absorção intestinal. A inalação de poeiras e fumos de zinco além da absorção cutânea também são agravantes. Ele se concentra no pâncreas, fígado, rins, músculo, próstata, retina. A intoxicação pelo zinco gera sintomas gastrointestinais, além disso pode ter efeito lesivo aos olhos (irite e glaucoma) e pele (dermatite e úlceras). Mais de 100mg/dia de ingestão de suplementos a base de zinco causam anemia sideroblástica e leucopenia. (AMBIOS 2019)

## **Cádmio**

De acordo com os estudos da AMBIOS (2019), em relação ao cádmio, o elemento acumula principalmente nos rins e no fígado, sendo que a ocorrência do contaminante no sangue reflete a intensidade na qual o indivíduo foi exposto nos últimos 2 a 3 meses. A inalação de poeiras ou ingestão de alimentos contaminados pode causar intoxicação crônica, nesse caso os principais órgãos comprometidos serão os ossos e os rins levando a alteração nos túbulos renais com perda de proteínas na urina, podendo causar uma nefropatia irreversível. Já nos ossos ocasiona osteoporose com fraturas espontâneas e fissuras pela perda renal de fosfato de cálcio. Os pulmões também podem ser afetados, podendo evoluir para um enfisema. Além disso, o cádmio é bioacumulativo e tem uma longa meia-vida no organismo humano, portanto, exposições em crianças mesmo em baixas concentrações podem ter efeitos adversos a longo prazo.

## **7.2 ELEMENTOS ASSOCIADOS AO SOLO SUPERFICIAL**

No solo superficial, os elementos detectados nesse estudo que ultrapassam os valores de referência segundo o CONAMA (2009) foram As, Ni, Cd, Fe e Mn. Assim como na água superficial, os três últimos também foram encontrados com alta concentração, com os mesmos sintomas já relatados acima.

## **Arsênio**

Segundo Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017), o arsênio pode ser absorvido no organismo pela inalação, de forma percutânea ou ingestão. O arsênico e seus compostos podem causar nos indivíduos sintomas relacionados com a pele, mucosas, aparelho gastrointestinal e sistema nervoso. Os primeiros sintomas são mal-estar geral, desconforto abdominal, dores nas articulações, dores nas extremidades e diarreia. Na pele surge um quadro irritativo, com forte sensação de queimação, eritema, foliculite e piodermite. Posteriormente, começam a surgir manifestações de eczema atópico, com pápulas e vesículas na face, pescoço, antebraço, mão. As camadas mais profundas da pele podem ser afetadas quando as exposições são intensas, elas produzem forte pigmentação, lesões herpéticas ao redor da boca, descamação e hiperqueratose nas áreas palmar e plantar.

Segundo WHO (2001a *in* Mendes 2012), os efeitos carcinogênicos (formação de câncer), podem levar cerca de 10 a 20 anos para serem manifestados em pessoas sujeitas à exposição crônica ao arsênio. Para esses indivíduos, manifesta-se câncer de pele, próstata, rim, fígado, bexiga e pulmão por inalação. A ingestão do contaminante também pode causar anemia, leucopenia, falência renal, além dos efeitos respiratórios como asma, rinite, bronquite.

## **Níquel**

Em relação ao níquel, sua deposição no solo, sedimentos ou por meio da poeira pode levar à ligação do elemento a partículas de ferro e manganês. Em meio ácido, o contaminante apresenta maior mobilidade no solo propiciando ainda mais sua infiltração, o que pode levar a atingir águas subterrâneas. Além disso, sua acumulação pode se dar em plantas pelo processo da bioacumulação. (AMBIOS 2019)

Fontes de exposição ao níquel podem ser o ar, consumo de água contaminada ou através do uso de tabaco, mas a principal é a alimentação, com a ingestão média estimada de 100- 300 µg por dia para adultos. O contato constante com solo, contato com metais revestidos com níquel, ou até mesmo através do banho podem ser, também, meios de exposição ao elemento. Ainda segundo a AMBIOS, não obteve-se informação a respeito dos efeitos à saúde decorrentes da exposição ao níquel a partir de áreas de deposição de resíduos perigosos.

O efeito mais comum ocasionado pela exposição dérmica ao níquel é a dermatite de contato. Sendo os sintomas mais comuns o eczema (vermelhidão e coceira) dos dedos, pulsos,

mãos e antebraço. Além disso a Inalação crônica pode levar a problemas respiratórios, incluindo asma, bronquite e diminuição da capacidade respiratória. (AMBIOS 2019)

### **7.3 ELEMENTOS ASSOCIADOS À POEIRA NÃO DESCRITOS ACIMA**

Em relação ao resultado obtido com a análise da poeira, além do Cd, Ni e Zn com os sintomas já relatados acima, também constatou-se elevados valores de Cu, ultrapassando o valor máximo estabelecido pelo CONAMA (2009)

#### **Cobre**

De acordo com a AMBIOS (2019), o elemento cobre é fundamental para o organismo dos mamíferos em geral por estar envolvido na respiração celular, neurotransmissão, metabolismo do ferro, entre outros. Mas quando sua ingestão é excessiva pode ocasionar problemas na saúde. A intoxicação aguda pelo cobre pode ser fatal, podendo levar a danos gastrointestinais. Os efeitos a longo prazo da exposição ao cobre não são ainda bem estabelecidos, mas em indivíduos expostos rotineiramente à inalação de poeiras ou fumos de cobre relata-se a ocorrência de perfuração do septo nasal.

### **7.4 LEVANTAMENTO DE DOENÇAS EM BARRA LONGA**

O Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017) realizaram uma pesquisa partir de um questionário de auto avaliação em saúde aplicado à população do município de Barra Longa a fim de analisar a situação de saúde da comunidade afetada pela tragédia. Dos 494 indivíduos participantes, 43,5% afirmam ter tido saúde afetada desde o rompimento da barragem.

Dentre os problemas de saúde relatados pelos indivíduos respondentes, os principais são, em predominância, os respiratórios, seguido aos respiratórios constatou-se problemas de pele. Também houve relatos de transtornos mentais e comportamentais e doenças infecciosas, além de uma série de sintomas, porém sem diagnóstico de doença. Alguns desses sintomas são abatimento, febre, emagrecimento, mal estado geral, dor de cabeça, fraqueza. Também observa-

se relatos de sintomas osteoarticulares como tremor, sensibilidade muscular, dor nas pernas, articulações e ossos, cansaço, câibras, osteoporose. (Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace 2017)

A equipe da ARSH juntamente com Agentes Comunitários da Saúde, ouviu depoimentos de moradores que habitam comunidades afetadas, eles relatam que notaram um aumento significativo da poeira na região, de cor semelhante à da lama de rejeito e, segundo eles o fluxo de carros na região está mais intenso, agravando a dispersão da poeira para dentro de suas casas, relatam ainda que houve o aumento das alergias que a poeira tem gerado e acreditam que o fato de respirar a poeira pode, a longo prazo, desencadear câncer e outras doenças, outro depoimento ressalta a preocupação com metais pesados e os riscos para a saúde. (AMBIOS 2019)

Houveram relatos a respeito de coceira intensa no corpo, alergias, dermatites, manchas, inchaços ao longo do corpo, ressecamento da pele, escamação, além da piora nos quadros de asma e bronquite com o aumento da poeira (AMBIOS 2019). Segundo o Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace (2017), as doenças de pele são relatadas com indignação pelos moradores de Barra Longa. Referem lesões "avermelhadas, grossas, em vesículas, em bolhas, ardentes, que queimam, que coçam e que descamam". Normalmente não são infecciosas. Lesões como mostra a figura 8.6. Também foi mencionado coceira nos olhos e piora da visão. Parte relatou ter sentido essas reações no contato mais intenso com a lama. No entanto, outros afirmam que mesmo o contato com a poeira ou com a terra misturada à lama no quintal já é o bastante para iniciar o quadro. (AMBIOS 2019)



**Figura 8.6** - Doença de pele relatada por morador de Barra Longa. Fonte: Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace 2017

Segundo a AMBIOS (2019), a população citou a ocorrência de pesquisas toxicológicas realizadas em Barra Longa, mostrando a presença de metais pesados nos exames de sangue, o que gerou bastante preocupação com o que esses contaminantes podem desencadear à saúde em curto médio e longo prazo, além das próximas gerações sujeitas a essa exposição.

Moradores relatam que parte dos rejeitos ainda permanecem nos terrenos de residências e outras partes depositados em localidades próximas. Mencionam que a Fundação Renova mexeu na terra, plantou capim sobre ela, mas não retiraram todo o rejeito. A preocupação é grande com a exposição a metais pesados e saúde. Relatam sobre os bloquetes construídos a partir da lama e utilizados no calçamento da cidade: “Fizeram bloquetes da lama, mas e se tiver produto químico? E se isso fizer mal para a saúde? Se pisar descalço o que acontece?” (AMBIOS 2019)

Apesar dos sintomas citados caracterizarem uma série de doenças, muitas delas podem ocorrer devido a intoxicação por metais. Os efeitos tóxicos dos metais pesados e compostos são definidos pelo índice e alcance com que os metais passam para uma forma biodisponível.

É possível que o município de Barra Longa seja uma das cidades em que os moradores mais sofreram exposição à lama tóxica, por variados contatos de maneira corriqueira. Essa exposição pode permanecer por longo período de tempo pelo fato de que a fonte de exposição, que são os rejeitos, permanecem na região.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÃO

---

Sabe-se que o rompimento da Barragem do Fundão, gerou uma série de consequências ambientais e sociais na comunidade de Barra Longa- MG devido ao elevado volume de rejeito que atingiu o município e redondezas afetando a qualidade das águas, solos e saúde das comunidades que habitam a região. Neste trabalho foi realizada a análise de dados hidroquímicos temporais das águas fluviais do rio Gualaxo do Norte e análise de dados da concentração de elementos presentes na poeira, solos e sedimentos coletados no município e sua implicação para a saúde e qualidade de vida dos moradores da região.

A partir desse estudo, observou-se que elementos como Mn, Fe, Al, Pb, Zn, Cd apresentaram altas concentrações nas águas fluviais com alguns picos anômalos no decorrer dos anos após o rompimento da Barragem do Fundão, principalmente durante o período chuvoso. Considerações referentes à sazonalidade, indicam que no verão, sendo historicamente um período de elevado índice de pluviosidade, favoreceu a remobilização do rejeito depositado no leito do rio ou em barrancos, elevando o índice de turbidez e o consequente aumento da concentração dos elementos químicos. Além disso, é importante ressaltar que elevados valores obtidos em épocas de baixo índice pluviométrico tem relação com a realização de obras na região visando a recuperação da área atingida, o que pode ter interferido na qualidade da água.

A litologia da região e mineralizações de garimpos auríferos são fatores geológicos e históricos que contribuíram para as altas concentrações do Cd, Ni, Cu e Zn, observadas nas amostras de poeira do presente estudo. Entretanto, esses contaminantes são fortemente influenciados pelo fenômeno de sorção, propriedade característica dos elementos Fe e Mn que estão presentes na lama do rejeito proveniente da barragem do Fundão. Ou seja, é provável a hipótese de que o Fe e Mn podem ter sido carreadores dos metais citados, aumentando a dispersão dos contaminantes na poeira, já que eles apresentam a propriedade de reter esses metais. Neste trabalho, realizou-se a correlação do Fe e Mn com os elementos citados acima. A correlação estabelecida indicou um coeficiente de 0,87857 para o Fe e Cd e 0,666739 para Mn e Cd, sendo, portanto, uma boa correlação, já que o coeficiente obtido está acima ou próximo de 0,7. Os dados indicam que provavelmente há o fenômeno de sorção ou co-precipitação do Cd pelo Fe e Mn para essas amostras. Pode-se inferir que a lama de rejeito da

barragem de Fundão dispersa na região de Barra Longa é fonte de exposição da comunidade a metais como Cd e Mn de alto potencial de toxicidade.

É importante ressaltar, ainda, que no município de Barra Longa, a remediação e o processo de limpeza da lama de rejeitos acentuaram a geração de poeira, agravando e expondo ainda mais as comunidades à materiais particulados de alta toxicidade.

A partir da análise de solo superficial, observou-se a alta concentração dos elementos Fe e Mn em relação ao valor de *background* estabelecido por Rodrigues (2012). Esse resultado, além de ser um forte reflexo do rejeito da barragem do Fundão, tem relação com o histórico geológico e antrópico da região, como é o caso das mineralizações de ferro e manganês recorrentes nas rochas do supergrupo Minas e Rio das Velhas, do alto curso do rio Gualaxo do Norte e do rio do Carmo. É provável que as altas concentrações dos elementos Fe e Mn possam ter desencadeado fenômenos de sorção dos elementos traço como o As, Cd e Ni (detectados também com elevadas concentrações), aumentando então a disponibilidade dos contaminantes nos solos superficiais.

Em relação à saúde dos moradores de Barra Longa, foi relatado um quadro crítico devido à intensa poeira na região. Segundo os relatos, muitos desenvolveram transtornos mentais, doenças de pele, respiratórias, alergias, entre outras doenças. Os Elementos encontrados na poeira, solo superficial e água superficial como As, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Fe e Mn, podem desencadear doenças relacionadas a pele, gerar transtornos mentais e parte pode ser responsável pelo acúmulo no organismo, agravando outras doenças, afetando pessoas que habitam a comunidade e entorno. A preocupação dos moradores é grande, constatou-se teores de metais pesados no sangue de uma parcela da população, causando ainda mais angústias e incertezas sobre o efeito dos contaminantes a longo prazo. Portanto, pode-se afirmar que a lama do rejeito é uma forte fonte de exposição da comunidade, principalmente devido o fenômeno de sorção do Fe e Mn com metais de potencial toxicidade, tornando-se um agravante para a qualidade de vida dos moradores da região. Contudo é necessário estudo epidemiológico para comprovar a relação das doenças com as concentrações dos metais nas rotas de exposição como solo, água e poeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90 (1/2):29-58.
- Almeida F F M. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, PB. Atas Campina Grande, SBG, 363-391.
- AMBIOS. Estudo de Avaliação de Riscos à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão- Minas Gerais 2019. 309p
- Brasil de Fato, 2019. Brumadinho: Sem acesso a exames, 1 milhão de pessoas podem ter metal pesado no sangue Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/especiais/brumadinho-sem-acesso-a-exames-1-milhao-de-pessoas-podem-ter-metal-pesado-no-sangue>> Acesso em: Maio 2020
- Brisola, D. F., & Fernandes, T. D. L. A. P. 2008. Otimização no preparo de amostras para análise em espectrofotômetro de fluorescência de raios X. XVI Jornada de Iniciação Científica–CETEM, 202-208 p.
- Canatto B.F. 2017. Caracterização Geoquímica dos Sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte – Monografia - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.74p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB 2001. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 100p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Qualidade do ar. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>, acesso: 24 maio, 2020.
- CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA N°420 de 2009 Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>, acesso em: janeiro de 2020.
- CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA N° 357 de 2005. Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: novembro de 2019.
- Costa, A.T. 2001. Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste – sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. 2001. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Costa A.T. 2007. Registro histórico de contaminação por metais pesados, associados à exploração aurífera no alto e médio curso da bacia do ribeirão do Carmo, QF: Um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 257p.
- CPRM 1993. Texto Explicativo - Mariana, folha SF.23-X-B-I - Escala 1:100.000. Programa levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília, DNPM.

Dorr, J.V.N. 2nd., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 641-A, 110 p.

Fernandes, C.S. 2018. Contaminantes Inorgânicos e Materiais Particulados Depositados na Bacia do Rio Doce- Impactos do Desastre do Fundão. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. 29-75p

Friese K., Witter B., Brack W., Buetner O., Krueger F., Kunert M., Miehl G., Zachmann D. W. 2000. Distribution and Fate of Organic and Inorganic Contaminants in a River Floodplain-Results of a Case Study on the river Elbe, Germany. In: Remediation Engineering of Contaminated Soils. Marcel Dekker, Inc. New York-Basel. p.373 - 426.

Garcia, S.C., Gioda A., Nascimento D.B. 1997. O problema da contaminação na Determinação de Traços de Alumínio. Departamento de Química - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

GREENPEACE, Instituto Saúde e Sustentabilidade (Org.). Avaliação dos Riscos em Saúde da População Afetada pelo Desastre de Mariana. São Paulo: Greenpeace, p. 217. 2017.

Glossário Geológico. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario\\_geologico.htm](http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario_geologico.htm). Acessado em 02 de julho de 2018.

IGAM, 2018. Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2>> Acesso em: novembro de 2019.

ISO 11466 INTERNATIONAL STANDARD. ISO 11466: Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia. 1995.

INMET, 2020. Instituto Nacional de Meteorologia, Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>> Acesso em: Março 2020

Lindell L., Åström M.E., Sarenbo S. 2010. Effects of forest slash and burn on the distribution of trace elements in floodplain sediments and mountain soils of the Subandean Amazon, Peru. Applied Geochemistry, 25(8):1097-1106.

Manual de Toxicologia Clínica, 2017. Secretaria Municipal de Saúde – Prefeitura de São Paulo.

Mendes, L. A., 2012, Avaliação da exposição da população de Passagem de Mariana (MG) aos elementos-traço, com ênfase ao arsênio.

Rezende P.S., Moura P.A.S., Durão-Jr W.A., Nascentes C.C., Windmoller C.C., Costa L.M. 2011. Arsenic and Mercury mobility in Brazilian sediments from the São Francisco river basin. Journal of the Brazilian Chemical Society, 22(5): 910-918.

Rodrigues A.S.L. 2012. Caracterização da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: Avaliação Geoquímica Ambiental e Proposição de Valores de *Background*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Tese de Doutorado 106p

Selinus O., Alloway B. J., Centeno J. A., Finkelman R. B., Fuge R., Lindh U., Smedley P. 2005. *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. Elsevier Academic Press. 812p.

Zhao Y., Marriott S., Rogers J., Iwugo K. 1999. A preliminary study of heavy metal distribution on the floodplain of the River Severn, UK by a single flood event. *The Science of the Total Environment*, 243: 219-231.

## ANEXOS

---

Anexo 1: Concentração dos elementos químicos presentes nas águas do Rio Gualaxo do Norte, 2015 a 2019 (IGAM)

Meses (2016)	ELEMENTO mg/L										
	Al Dissolvido	Fe Dissolvido	Mn Total	As Total	Pb Total	Cu Dissolvido	Cr Total	Hg Total	Ni Total	Cd Total	Zn Total
dez/15	0,329	0,951	13,26	0,00117	0,072	0,004	0,053	0,000587	0,0405	0,0005	-
jan/16	0,1	0,0743	15,09	0,00115	0,062	0,004	0,04	0,000513	0,02228	0,0005	-
fev/16	0,1	0,0726	7,326	0,001	0,0361	0,004	0,04	0,0002	0,01501	0,0005	0,02
mar/16	0,118	0,1414	1,224	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,029
abr/16	0,1	0,806	0,247	0,001	0,005	0,04	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
mai/16	0,1	0,248	0,405	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
jun/16	0,1	0,317	0,211	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
jul/16	0,1	0,261	0,123	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
ago/16	0,106	0,36	0,136	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,0331
set/16	0,1	0,0725	0,585	0,001	0,0134	0,004	0,04	0,0002	0,00871	0,0005	0,02
out/16	0,1	0,120	0,510	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
nov/16	0,1	0,1862	0,349	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
dez/16	0,115	0,238	1,776	0,00141	0,01057	0,004	0,04	0,0002	0,00632	0,0005	0,02

Meses (2017)	ELEMENTO mg/L										
	Al Dissolvido	Fe Dissolvido	Mn Total	As Total	Pb Total	Cu Dissolvido	Cr Total	Hg Total	Ni Total	Cd Total	Zn Total
jan/17	0,1	0,258	0,179	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
fev/17	0,1	0,309	0,578	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
mar/17	0,1	0,202	0,363	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
jul/17	0,056	0,1432	0,115	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
ago/17	0,033	0,1309	0,0665	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
set/17	0,069	0,1735	0,0397	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
out/17	0,024	0,1215	0,133	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
nov/17	0,154	0,317	1,695	0,00163	0,00986	0,004	0,04	0,0002	0,00732	0,0005	0,02
dez/17	0,068	0,251	2,723	0,00219	0,01129	0,004	0,04	0,0002	0,0079	0,0005	0,02

Meses (2018)	ELEMENTO mg/L										
	Al Dissolvido	Fe Dissolvido	Mn Total	As Total	Pb Total	Cu Dissolvido	Cr Total	Hg Total	Ni Total	Cd Total	Zn Total
jan/18	0,037	0,1845	0,883	0,00122	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
fev/18	0,087	0,296	2,187	0,00176	0,007	0,004	0,04	0,0002	0,00626	0,0005	0,364
mar/18	0,048	0,150	0,969	0,00147	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,00593	0,0005	0,02
abr/18	0,025	0,222	0,802	0,00111	0,005	0,0044	0,04	0,0002	0,004	0,0005	-
mai/18	0,04	0,33	0,0373	0,001	0,018	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0023	0,0373
jun/18	0,027	0,229	0,0512	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
jul/18	0,035	0,165	0,044	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,181397
ago/18	0,047	0,219	0,120	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
set/18	0,034	0,166	0,033	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
out/18	0,049	0,228	0,041	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	-
nov/18	0,044	0,212	0,643	0,002506	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
dez/18	0,065	0,277	0,217	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02

Meses (2019)	ELEMENTO mg/L										
	Al Dissolvido	Fe Dissolvido	Mn Total	As Total	Pb Total	Cu Dissolvido	Cr Total	Hg Total	Ni Total	Cd Total	Zn Total
jan/19	0,038915071	0,332188715	0,091819914	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
fev/19	0,033879309	0,269519178	0,205302356	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,041682
mar/19	0,051269153	0,246841656	0,608585854	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02
abr/19	0,063838017	0,199535535	0,265407055	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	
mai/19	0,051878187	0,194003354	0,146021179	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,006823	0,0005	0,035199
jun/19	0,055580931	0,277108925	0,063231984	0,001	0,005	0,004	0,04	0,0002	0,004	0,0005	0,02

Anexo 2: Dados analíticos das amostras de poeira, coletadas no município de Barra Longa- MG. (AMBIOS 2019)

As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
<0,006	0,8725	0,005	0,056	1,867	1,391	<0,0002	0,081	0,379
<0,006	2,754	9,279	20,29	8352	328,2	<0,0002	9,392	180,6
<0,006	14,56	20,02	24,69	18130	474,9	0,0643	14,64	115,1
<0,006	8,02	11,61	35,38	16750	577,2	<0,0002	11,05	2139
<0,006	5,719	8,623	33,06	12620	646,3	<0,0002	38,03	96,44
<0,006	2,319	4,412	22,74	7793	977	<0,0002	9,861	45,31
<0,006	2,956	50,96	13,19	9686	188,3	<0,0002	7,607	189,1
<0,006	3,386	32,08	34,16	9923	348,5	<0,0002	9,39	217,4
<0,006	11,53	21,61	32,89	17800	521,2	<0,0002	15,64	110,6
<0,006	8,287	22,52	50,63	16450	454,9	<0,0002	142,6	126,4
<0,006	0,9406	0,1807	81,68	2122	157,6	<0,0002	22,54	53,61
<0,006	0,3438	0,1579	2,38	801,9	238,7	0,3734	3,834	101,9
<0,006	131,2	30,68	174	12710	517,3	<0,0002	44,42	1311
<0,006	7,322	18,94	54,46	15230	563,5	<0,0002	21,91	192,8
<0,006	0,1977	<0,005	22,23	614,7	226,8	<0,0002	3,103	1260
<0,006	8,04	19,07	53,19	15520	668,5	<0,0002	14,78	255,1
<0,006	18,38	58,02	73,24	18300	1039	<0,0002	26,57	455,5
<0,006	4,677	44,9	59,32	11590	417	<0,0002	11,1	808,8
<0,006	0,9845	0,8699	30,86	446,3	638,6	<0,0002	12,39	403,9
<0,006	6,106	12,1	20,35	12950	471,3	<0,0002	12,82	129,5
<0,006	11,8	41,4	62,23	16920	972,1	<0,0002	20,58	305,3
<0,006	4,626	14,56	37,18	12490	423,1	<0,0002	11,05	141,8
<0,006	10,58	44,5	62,79	16020	728,2	<0,0002	17,68	349,2
<0,006	4,589	13,05	33,97	10860	346,5	<0,0002	7,552	457,2
<0,006	8,267	20,2	151,7	16350	755,9	0,3849	25,51	2254

Anexo 3: Coordenadas dos pontos relativos as observações de campo e coleta de sedimentos e solos superficiais.

Pontos	Coordenadas	
	E	N
A1	703.190	7.755.594
A2	703.151	7.755.578
A3	703.122	7.755.641
A4	700.622	7.755.772
A5	700.694	7.755.770
A6	704.251	7.755.769
C1	704.224	7.755.864
C2	703.567	7.755.671
C3	703.838	7.755.896
C4	699.327	7.758.238
C5	695.544	7.758.297