

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ORLANDO MARCOS QUADRO CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MINERAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS
GEOQUÍMICAS DO ARROIO JOÃO DIAS EM MINAS DO CAMAQUÃ, RS**

Caçapava do Sul

2019

ORLANDO MARCOS QUADRO CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MINERAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS
GEOQUÍMICAS DO ARROIO JOÃO DIAS EM MINAS DO CAMAQUÃ, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

Caçapava do Sul

2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

C268a Cardoso, Orlando Marcos Quadro
 Avaliação da Influência da Mineração nas
 Características Geoquímicas do Arroio João Dias em
 Minas do Camaquã, RS / Orlando Marcos Quadro Cardoso.
 85 p.

 Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
 Universidade Federal do Pampa, BACHAREL EM ENGENHARIA
 AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2019.
 "Orientação: Rafael Matias Feltrin".

 1. Geoquímica. 2. Mineração. 3. Minas do
 Camaquã. I. Título.

ORLANDO MARCOS QUADRO CARDOSO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MINERAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS
GEOQUÍMICAS DO ARROIO JOÃO DIAS EM MINAS DO CAMAQUÃ, RS

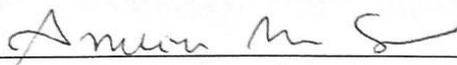
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de novembro de
2019

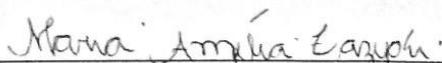
Banca examinadora:



Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin Orientador UNIPAMPA



Prof. Dra. Anelise Marlene Schmidt UNIPAMPA



Prof. Dra. Maria Amélia Zazycki UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre me guiando e orientando nas minhas decisões ao longo de toda a trajetória que percorri até chegar onde estou.

Aos meus familiares, principalmente a minha avó Oralvina e minha mãe Débora por estarem sempre comigo, apoiando de todas as formas e apostando no meu potencial.

Aos meus tios, Vanderléia e Vicente, por disponibilizarem o seu lar para que eu pudesse ficar durante esse período de 5 anos, sempre me auxiliando e dando força no que fosse preciso. Também às minhas tias Selma e Elza que, de uma forma ou de outra, sempre me ajudaram quando precisei.

Às amigadas que fiz na faculdade, especialmente às minhas amigas Jauana e Victória, pela excelente companhia, risadas, comidas, noites em claro estudando, conversas filosóficas, debates paradoxais sobre teorias aleatórias, e além disso, por passarem comigo por todas as adversidades do ambiente acadêmico, tornando esse período mais agradável.

Agradeço também ao Prof. Rafael Feltrin por ter me orientado, sempre com sabedoria e boa vontade, e também ao Ewerton e a Gilcinieri por me auxiliarem nas coletas e análises.

A todos os citados, meu muito obrigado.

“Aí que eu acordei pra perceber que quem nunca apanhou dessa vida, também não sabe se defender...”

Rashid

RESUMO

Minas do Camaquã é uma localidade pertencente ao 3º distrito do município de Caçapava do Sul, situado na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. Essa localidade tornou-se famosa pela atividade de exploração mineral de cobre, a qual perdurou por mais de um século, do ano de 1865 até 1996. O Arroio João Dias é um corpo hídrico que tem parte do seu curso muito próximo à mineradora de cobre de Minas do Camaquã. Na região existe uma barragem de captação de água e uma barragem de rejeitos. O presente trabalho teve como objetivo principal, realizar um diagnóstico ambiental desse corpo hídrico através de análises geoquímicas. A metodologia abrangeu análises físicas e químicas da água superficial e dos sedimentos fluviais do Arroio João Dias. No que se refere à água superficial foram levantados parâmetros físico-químicos como: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade total e dureza total. Além desses parâmetros, avaliou-se a presença de metais pesados presentes na água bruta. Em relação aos sedimentos fluviais, foi realizado a análise granulométrica, levantamento do teor de matéria orgânica e determinação dos teores de elementos nos sedimentos. Os resultados mostraram que a água apresenta pH neutro e valores de turbidez dentro dos padrões para águas naturais, em todos os pontos de coleta. Os parâmetros de alcalinidade, dureza e condutividade elétrica apresentaram decaimento nos pontos P2 e P3, que foram mais afetados pela mineração. As granulometrias dos sedimentos variaram entre os pontos onde, P1 e P3 tiveram uma maior distribuição em cada fração, enquanto que nos pontos P2 e P4 as frações de areia foram predominantes. Os sedimentos apresentaram valores de matéria orgânica muito baixos. Na análise elementar, a água apresentou maiores valores de Al, Fe, Cd e Cu, enquanto que nos sedimentos os metais mais detectados foram Al, Fe, Mn e Cu. Concluiu-se com este estudo, que houve grande diferença entre as condições do Arroio João Dias com as condições da época em que a mina de cobre estava ativa.

Palavras-chave: Metais pesados, Sedimentos, Diagnóstico Ambiental.

ABSTRACT

Minas do Camaquã is a locality belonging to the 3rd district of the city of Caçapava do Sul, located in the south-central region of the state of Rio Grande do Sul. This location became famous for its copper mining activity, which lasted for over a century from 1865 until 1996. Arroio João Dias is a water body that has part of its course very close to the copper mining of Minas do Camaquã. In the region there is a water catchment dam and a tailings dam. The present work had as main objective, to make an environmental diagnosis of this water body through geochemical analyzes. The methodology covered physical and chemical analyzes of the surface water and river sediments of Arroio João Dias. Concerning surface water, physicochemical parameters such as temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, total alkalinity and total hardness were raised. In addition to these parameters, the presence of heavy metals present in raw water was evaluated. In relation to river sediments, the particle size analysis, organic matter content and element content determination in the sediments were performed. The results showed that the water has neutral pH and turbidity values within natural water standards at all collection points. The alkalinity, hardness and electrical conductivity parameters showed decay at points P2 and P3, which were most affected by mining. The sediment granulometry varied between the points where, P1 and P3 had a larger distribution in each fraction, while in points P2 and P4 the sand fractions were predominant. The sediments presented very low organic matter values. In the elemental analysis, water presented higher values of Al, Fe, Cd and Cu, while in sediments the most detected metals were Al, Fe, Mn and Cu. It was concluded with this study that there was a big difference between the conditions of Arroio João Dias with the conditions of the time when the copper mine was active.

Keywords: Heavy Metals, Sediments, Environmental Diagnostics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia.....	35
Figura 2 – Mapa de Localização da Área de Estudo.	37
Figura 3 – Delimitação da Sub-bacia Arroio João Dias.....	38
Figura 4 – Imagem de Satélite de Minas do Camaquã.	39
Figura 5 – Curva da Média da Precipitação Pluviométrica Mensal para o município de Caçapava do Sul.	40
Figura 6 – Mapa Geológico de Minas do Camaquã.....	41
Figura 7– Pedologia Minas do Camaquã.....	42
Figura 8 – Mapa de localização dos pontos de amostragem.	43
Figura 9– Coleta de água no Arroio João Dias.	44
Figura 10– Amostras de água.	45
Figura 11 - Amostras de Sedimentos.....	46
Figura 12 – Preparação das amostras de água para análise elementar.....	50
Figura 13 – Preparação das amostras de sedimentos para análise elementar.	51
Figura 14 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X.	52
Figura 15 – Teor de elementos metálicos na água bruta.	56
Figura 16 – Análise granulométrica do ponto P1.	57
Figura 17 – Análise granulométrica do ponto P2.	58
Figura 18 – Análise granulométrica do ponto P3.....	59
Figura 19 – Análise granulométrica do ponto P4.....	60
Figura 20 – Gráfico dos teores de manganês nos sedimentos.	63
Figura 21– Gráfico comparativo de M.O. (1993 – 2019)	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Teor médio de elementos por granulometria.....	25
Tabela 2 – Valores médios arredondados das concentrações de metais ($\mu\text{g/L}$) na água bruta superficial.	26
Tabela 3 – Classificação da Dureza.	30
Tabela 4 – Classificação granulométrica dos sedimentos conforme Resolução CONAMA N° 344/2004.	31
Tabela 5 – Coordenadas dos pontos de coleta em UTM.	43
Tabela 6 – Parâmetros Físico-Químicos.	53
Tabela 7 – Parâmetros obtidos de análises titulométricas.....	54
Tabela 8 – Teor em $\mu\text{g.l}^{-1}$ dos elementos.	55
Tabela 9 – Comparação das frações nos sedimentos.....	60
Tabela 10 – Teores de metais nos sedimentos em mg/g.	62
Tabela 11 – Valores do cálculo de matéria orgânica nos sedimentos.....	64

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BH – Bacia Hidrográfica

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social

CBC – Companhia Brasileira de Cobre

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DAM – Drenagem Ácida de Mina

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EDTA - Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético

EDXRF – Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FIBASE – Financiamento de Insumos Básicos

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MO – Matéria Orgânica

WDXRF – Wave Length X-Ray Fluorescence

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	16
3 OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo Geral	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1 Mineração de Cobre em Minas do Camaquã	18
4.1.1 Impactos Ambientais da Mineração.....	19
4.1.2 Barragem de Rejeitos	20
4.1.3 Qualidade das Águas Superficiais	21
4.1.4 Drenagem Ácida de Mina	22
4.1.5 Estudos Realizados em Minas do Camaquã	24
4.2. Parâmetros Importâtes	26
4.2.1 Temperatura	26
4.2.2 pH	26
4.2.3 Condutividade Elétrica	27
4.2.3 Turbidez	28
4.2.3 Alcalinidade	28
4.2.3 Dureza	29
4.3 Sedimentos Fluviais	30
4.4 Metais Pesados	32
4.4.1 Cobre	33
4.4.2 Zinco	34
4.4.2 Manganês	34
4.6 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X	35
5 MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1 Caracterização da Área de Estudo	37
5.1.1 Clima.....	39
5.1.2 Geologia Local	40
5.1.3 Pedologia	41
5.2 Coleta de Amostras.....	42

5.2.1 Pontos de Amostragem ...	42
5.2.2 Tratamento das Amostras ...	44
5.3 Análise das Águas Superficiais ...	46
5.3.1 Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Turbidez ...	46
5.3.2 Alcalinidade Total e Dureza Total ...	46
5.4 Análise dos Sedimentos Fluviais.....	48
5.4.1 Análise Granulométrica ...	48
5.4.2 Teor de Matéria Orgânica ...	49
5.5 Determinação de Elementos na Água e nos Sedimentos.....	50
6 RESULTADOS E DISCUSSOES.....	53
6.1 Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta	53
6.2 Análise Elementar da Água Bruta.....	55
6.3 Análise Granulométrica dos Sedimentos Fluviais.	57
6.4 Análise de Elementos nos Sedimentos.....	61
6.5 Matéria Orgânica dos Sedimentos Fluviais	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERENCIAS	68
APÊNDICE A	75
APENDICE B	78
APENDICE C	80
APENDICE D	82

1 INTRODUÇÃO

A mineração constitui uma atividade que realiza a extração de riquezas naturais presentes tanto na superfície quanto no subsolo de uma determinada região. Essa prática não é caracterizada pela sua presença somente na sociedade contemporânea, mas sim como atividade extremamente antiga e que tem seu uso para fins econômicos desde as sociedades mais complexas da antiguidade (NOGUEIRA, 2012).

No Brasil, a mineração exerce grande importância econômica, sendo um dos setores básicos da economia do país e que conseqüentemente contribui de forma decisiva para o bem estar e a qualidade de vida das gerações presentes e futuras (FARIAS & COELHO, 2002).

Todavia, assim como toda atividade antrópica, a mineração causa uma série de impactos ao meio ambiente, alterando intensamente a área minerada e a vizinhança, onde são realizadas a deposição de estéril e rejeito (SILVA, 2007). Os principais impactos provenientes da atividade mineira podem ser categorizados como: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno (FARIAS & COELHO, 2002). Atualmente, uma das principais preocupações, no que se refere aos impactos gerados pela exploração de mineral, são devidos à liberação de metais pesados em corpos hídricos.

Conforme Tsutiya (1999), metais pesados são aqueles elementos químicos que possuem peso específico maior que 5 g/cm^3 ou número atômico maior do que 20. Esses metais podem encontrar-se em formas diversas, tais como: solúveis em água, retidos em sítios de troca, adsorvidos ou complexados aos colóides orgânicos e inorgânicos, insolúveis precipitados ou oclusos como minerais primários, e nos compostos orgânicos e inorgânicos adicionados pelos resíduos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

A presença de metais pesados em um corpo hídrico pode afetar os ecossistemas ali presentes, por apresentar um índice de toxicidade elevado nos organismos vivos. Isto está associado ao processo de biomagnificação, onde os metais tem facilidade de entrar e se acumular a medida que se avança na cadeia alimentar por um longo período de tempo, tendo seus efeitos potencializados nos níveis tróficos mais elevados (ROCHA & AZEVEDO, 2015; BRAGA, 2002; FRANÇOSO *et al.*, 2014).

Para a identificação desse tipo de contaminação, as coletas de água e sedimentos têm sido muito utilizadas em razão da facilidade de amostragem, armazenagem, tratamento das amostras e procedimentos de análise (JESUS *et al.*, 2004). Segundo Santolin (2015), os resultados obtidos de amostras de água não são suficientes pois, representam dados somente do momento da amostragem e, por essa razão, também se faz necessário a análise dos sedimentos fluviais.

De acordo com Trindade *et al.* (2012), os sedimentos de corrente e de fundo tem grande importância em avaliações de qualidade ambiental em recursos hídricos, por terem como característica a alta capacidade de adsorver metais tóxicos, podendo refletir um processo de contaminação recente, e também, contaminações ao longo do histórico de ocupação e desenvolvimento da área de drenagem. Sendo assim, os dados obtidos nos estudos com sedimentos são mais realistas, visto que os contaminantes frequentemente ficam retidos, sofrendo menos variação com o tempo (SANTOLIN, 2015).

O Arroio João Dias é um corpo hídrico localizado em Minas do Camaquã, povoado pertencente ao 3º distrito do município de Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul, e que tem em sua história mais de um século de exploração mineral de cobre, onde as atividades somente foram encerradas no ano de 1996. Durante esse período o arroio teve suas características naturais alteradas devido às atividades mineiras, como, por exemplo, a construção de uma barragem de represamento de água e outra para o depósito de rejeitos provenientes dos processos de lavra e beneficiamento de minério (LAYBAUER & BIDONE, 1998; BETTENCOURT, 1972).

Após mais de duas décadas da desativação oficial da mina, o presente estudo visa diagnosticar, por meio de métodos geoquímicos, as condições ambientais em que esse corpo hídrico se encontra. Serão realizadas análises em relação às características físico-químicas e a presença de metais pesados de origem antropogênica na água e também levantamento das características dos sedimentos fluviais do Arroio João Dias.

2 JUSTIFICATIVA

Atualmente a preocupação com questões de âmbito ambiental vem crescendo significativamente à medida que a conscientização da população como um todo se torna cada vez maior.

No Brasil, nos últimos anos, as atenções se voltaram aos empreendimentos mineiros devido às tragédias em áreas de mineração, ocorridas no estado de Minas Gerais, nas cidades de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), com o rompimento das barragens de rejeitos que, por sua vez, geraram graves prejuízos ambientais, materiais e humanos. Sendo assim, estudos na área da mineração tem grande relevância tendo em vista a atualidade do tema e toda a problemática em relação aos riscos socioambientais envolvidos nesse tipo de atividade.

Sabe-se que mesmo após o fechamento de uma mina, as alterações que ela gera ao meio continuam causando impactos negativos. As mineradoras que atuaram desde a descoberta de cobre em Minas do Camaquã, onde as atividades exploratórias foram encerradas oficialmente em 1996, podem ter deixado para trás uma série de consequências ao meio ambiente.

O Arroio João Dias que desagua no Rio Camaquã, um dos principais rios existentes no Rio Grande do Sul, tem parte de seu curso muito próximo à extinta mineradora de cobre. Em virtude da construção de uma barragem de rejeitos e da barragem para captação de água ele acabou sendo extremamente impactado. O corpo hídrico apresenta um grande potencial de contaminação por metais pesados advindos do vertedouro da barragem de rejeitos e também de assoreamento devido à deposição de sedimentos fluviais.

Portanto, é necessário que se faça uma investigação das condições deste corpo hídrico para obter-se um diagnóstico da qualidade ambiental devido aos impactos que ainda estão sendo causados pelo que restou da antiga mineradora de cobre, mesmo após duas décadas de sua desativação.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo será o de investigar a influência da antiga atividade da mineração de cobre na alteração das características geoquímicas do Arroio João Dias, localizado em Minas do Camaquã.

3.2 Objetivos Específicos

- I. Avaliar qualitativamente a presença de metais e quantitativamente, alterações nas características físico-químicas da água;
- II. Realizar o levantamento das características físicas e composição elementar dos sedimentos fluviais;
- III. Investigar a relação da granulometria dos sedimentos com a presença de elementos metálicos;
- IV. Comparar os resultados obtidos com dados históricos e com a legislação ambiental vigente;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mineração de Cobre em Minas do Camaquã

Minas do Camaquã é uma pequena vila, famosa pela antiga atividade de exploração de minério de cobre, que foi dada graças à descoberta de rochas com tonalidade esverdeada, em meados de 1865, pelo proprietário João Dias dos Santos e que foram analisadas e identificadas por geólogos ingleses que trabalhavam na mina de ouro de Lavras do Sul na época (TEIXEIRA, 1992).

O povoado começou a se desenvolver devido a instalação de várias empresas mineradoras que faziam o beneficiamento do minério que ia sendo encontrado. Os investimentos realizados por ingleses, ainda na segunda metade do século XIX, criaram a primeira infraestrutura destinada à extração de cobre que foi construída com a abertura de uma galeria que funcionou do ano de 1970 até 1987. Logo após, um grupo de empresários alemães continuaram a investir na exploração, entre os anos de 1988 e 1899, porém desistiram de dar seguimento ao negócio devido ao encarecimento dos transportes e a queda do produto no mercado internacional (WINTER & LIMA, 2003).

Durante o período de 1899 até 1908 investidores belgas, através de negociações feitas com o proprietário João Dias, promoveram atividades de exploração de minério, atividade esta que passara a ser mais técnica (NOGUEIRA, 2012). Segundo Bettencourt (1972), devido a inserção de novas tecnologias à exploração, em Minas do Camaquã, foram construídas uma usina de concentração de minério e uma barragem no Arroio João Dias. A barragem de água tinha como finalidade a geração de energia elétrica através de turbinas.

Devido à crise em 1929, o governo brasileiro deu início à elaboração de uma legislação mineral e criou o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em busca da diversificação de sua economia, que até então era baseada na produção agrícola (WINTER & LIMA, 2003). No ano de 1932, o DNPM iniciou pesquisas na região através de prospecções geológicas, que apontaram um grande potencial a ser explorado. Avaliou-se que na reserva mineral das Minas do Camaquã, haviam cerca de 260.000 toneladas com teor de cobre de 3,7% (SILVA, 2008).

A partir do ano de 1942, Minas do Camaquã começou a ser explorada pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC), criada inicialmente como companhia de capital

misto, tendo como principais acionistas o Governo do Estado do Rio Grande do Sul e a Laminação Nacional de Metais pertencente ao Grupo Pignatari (PAIM, 2001; WINTER & LIMA, 2003).

O Grupo Pignatari passou a controlar a CBC, do ano de 1957 até o ano de 1974. As atividades de lavra e beneficiamento foram iniciadas em 1944, porém só se regularizaram a partir de 1954, com a lavra de duas minas subterrâneas (São Luiz e Uruguai) e com a ampliação da capacidade de beneficiamento de 800 t/dia de minério, no ano de 1956, até 1500 t/dia em 1971 (PAIM, 2001).

Em 1974, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Financiamento de Insumos Básicos FIBASE, adquiriram o controle acionário da CBC, e a partir daí, de 1977 a 1979 foram realizados mapeamentos e sondagens para reavaliação das reservas de minério, e também a contratação de uma empresa para a preparação da infraestrutura (SILVA, 2008; WINTER & LIMA, 2003).

A retomada das atividades mineiras em Minas do Camaquã foi marcada pela inauguração da mina a céu aberto em 1981, utilizando técnicas de extração altamente mecanizadas, tanto nas minas subterrâneas (São Luiz e Uruguai) como também na frente de lavra a céu aberto da Mina do Uruguai. Entretanto, o teor de cobre do minério lavrado ficou muito abaixo das projeções previstas. Em 1987, o BNDES assumiu o endividamento bancário da empresa e no ano seguinte (1988), a CBC foi colocada em leilão, não tendo sido arrematada por nenhuma das empresas qualificadas (PAIM, 2001).

A empresa foi comprada por um grupo de administradores e funcionários que assumiram o controle e seguiram com a extração até o ano de 1996, quando houve o esgotamento total das reservas economicamente viáveis. O processo de liquidação foi realizado conforme a assembleia de 31 de março de 1997 com a venda das ações, que gradativamente foram adquiridas pela empresa Mônimo Ltda., e também a venda de parte do patrimônio da empresa (casas, hotel), ficando restrita somente à área industrial (PAIM, 2001; WINTER & LIMA, 2003).

4.1.1 Impactos ambientais da mineração

Todas as atividades antrópicas alteram e impactam de certa forma o meio ambiente. A agricultura, exploração florestal, produção de energia, construção civil, indústrias básicas e a mineração são os responsáveis por praticamente todo o impacto

ambiental presente no planeta. No caso da mineração, a sua atividade causa impactos ambientais extremamente significativos em virtude da sua rigidez locacional. As atividades mineiras alteram intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, devido a deposição de estéril, rejeito, além dos impactos da fase de beneficiamento do minério (FERREIRA, 2013). Os impactos mais característicos causados pelas atividades mineiras são a degradação visual da paisagem, tráfego intenso de veículos pesados, geração de poeira e gases, contaminação da água e disposição de rejeitos e estéril (SILVA, 2007).

A atividade da mineração, geralmente, acarreta na supressão da vegetação ou o impedimento de sua regeneração. Além disso, frequentemente o solo superficial, que apresenta maior fertilidade, é removido e o solo restante fica exposto à processos erosivos, o que pode provocar assoreamento nos corpos hídricos próximos (MECHI & SANCHEZ, 2010).

A qualidade da água, à jusante do empreendimento minerário, pode ser afetada em razão da turbidez causada pelos sedimentos finos em suspensão e também pela poluição provocada pelo lançamento de efluentes da mineração. Também há possibilidade de haver alteração no regime hidrológico dos cursos d'água e dos aquíferos, rebaixamento do lençol freático e supressão das matas ciliares (MECHI & SANCHEZ, 2010).

4.1.2 Barragem de Rejeitos

A produção mineral é uma atividade que gera um expressivo volume de massa de minério que é rejeitada nas etapas de lavra e beneficiamento. A disposição desses rejeitos, atualmente, é um dos maiores problemas que a indústria mineral enfrenta (SOARES, 2010). Uma das alternativas mais comuns para a disposição desses materiais, aqueles que não têm mais utilidade, é a construção de barragens de contenção de rejeitos.

As barragens de contenção de rejeitos são estruturas que são utilizadas para conter materiais resultantes do beneficiamento de minério, que são executadas em etapas, conforme novos rejeitos são gerados, o que faz com que os custos com a construção e operação sejam reduzidos (DUARTE, 2008).

Atualmente a geração de rejeitos tem crescido muito, o que faz com que se aumente a quantidade de estruturas de armazenagem desses materiais, tornando as

barragens de rejeitos uma das mais importantes obras da mineração. Esse tipo de estrutura é reconhecida por gerar um significativo impacto ambiental, pois existe um grande risco de rompimento inesperado, onde falhas ocorridas em barragens de contenção de rejeitos, podem custar vidas e provocar danos ambientais consideráveis (DUARTE, 2008; SOARES, 2010).

4.1.3 Qualidade das Águas Superficiais

A água é o constituinte inorgânico mais abundante nos seres vivos, sendo que a sua presença no corpo humano representa mais de 60% de seu peso, e podendo chegar a 98% em animais aquáticos. Ela exerce papel fundamental na saúde, economia e qualidade de vida humana e, ainda, possui função importante no que se refere à construção e crescimento das civilizações (SOUZA *et al.*, 2014; SPERLING, 1996).

No seu ciclo natural, a água é um bem renovável que passa por processos como evapotranspiração, precipitação e infiltração no solo. A presença de atividades que causam poluição, do ar, solo e do corpos hídricos, põem em risco à qualidade e reduzem a disponibilidade de água doce para usos mais nobres, devido às chuvas ácidas ou ainda pelo excesso de cargas poluentes que são lançados, gerando a necessidade de tratamentos mais complexos e caros (SENRA, 2014).

A qualidade de um corpo hídrico também varia de acordo com as diferentes condições a que está acometida como, por exemplo, ao clima local, relevo e as atividades antrópicas presentes. A qualidade da água inclui as características físicas, químicas e biológicas existentes em um corpo d'água. Desta forma, a qualidade da água pode ter influências provenientes tanto de processos naturais, erosão e precipitação, como de ações antrópicas (BARBOSA, 2015).

O uso da água nas indústrias pode variar de acordo com a área e a tecnologia utilizada nos seus processos. Há a possibilidade de ser utilizada tanto na incorporação nos produtos, assim como na lavagem de materiais, equipamentos e instalações, nos sistema de refrigeração e geração de vapor. Por consequência desse tipo de consumo, o uso industrial é um dos principais fatores de poluição hídrica (SOUZA *et al.*, 2014).

Quando se fala na indústria mineral, sabe-se que o sucesso dessa atividade depende muito da sua relação com a água, pois a viabilidade técnica e econômica de

uma lavra está condicionada, frequentemente, ao devido conhecimento do contexto hidrológico da região e ao desenho das atuações hidrológico-mineiras, fatores dos quais, determinarão uma melhor eficiência e menor custo de suas atividades. A interação entre a água e a mineração não se restringe somente à exploração da jazida, mas sim todos os processos de beneficiamento do minério, e sendo assim deve-se levar em consideração a possibilidade dos impactos hidrológicos permanecerem por muito tempo, mesmo após a suspensão das atividades exploratórias (DOMINGUES *et al.*, 2006).

Para se ter um controle da qualidade da água de corpos hídricos no Brasil, há a existência de legislações que estabelecem normativas essenciais. A Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (MS), de 25 de março de 2004, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, e ainda dá outras providências (BRASIL, 2004). Também se têm a Resolução nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) de 17 de março de 2005, que dispõe de diretrizes para classificar os corpos d'água e que ainda estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

4.1.4 Drenagem Ácida de Mina (DAM)

Na área da mineração um dos maiores desafios ambientais em muitos de seus processos, têm relação com a presença de minerais sulfetados nos rejeitos. Dentro das operações de uma mina, a DAM (Drenagem Ácida de Mina) pode ser gerada a partir de diversas fontes, que incluem resíduos de rochas, pilhas de estéril, depósitos de rejeitos e o próprio poço da mina. Um dos pré-requisitos para a DAM é a geração de ácido em um ritmo mais rápido do que a neutralização do mesmo por qualquer outro material alcalino; acesso ao oxigênio e água; e uma taxa de precipitação maior que a evaporação (SALOMONS, 1995).

Inicialmente a drenagem ácida acarreta na diminuição do pH dos líquidos que percolam nos depósitos/pilhas de estéril. Por consequência disto, há a contribuição para o processo de solubilização de espécies minerais contendo metais como Al, Mn, Cu, As, Zn, Pb, Hg e Cd, que quando atingem os corpos d'água, tem a capacidade causar impactos negativos em áreas localizadas, até mesmo, a centenas de quilômetros de distância da origem da contaminação (SOUZA, 2010).

Entre os minerais sulfetados que estão relacionados à DAM, os que são considerados mais importantes são a pirita e a pirrotita, porém outros minerais podem contribuir para a geração de acidez, principalmente em pilhas de estéreis, onde o material encontra-se altamente intemperizado. Dos demais minerais que também contribuem para geração ácida, destacam-se os aluminossilicatos, óxidos de metais (especialmente óxidos de ferro e manganês) e matéria orgânica (BLOWES *et al.*, 2003; EVANGELOU, 1995; ABREU *et al.*, 2012).

De acordo com Bettencourt (1972), na mineralogia de Minas do Camaquã os sulfetos com maior frequência são a pirita (FeS_2) e a calcopirita (CuFeS_2). Pirita é uma palavra derivada do grego “pyros”, que significa fogo, e está relacionado ao fato de que quando é aquecida em presença de oxigênio queima. Calcopirita também deriva do grego sendo relacionada a palavra “chalkos”, que significa cobre, isto é, a calcopirita é uma pirita que contém cobre (BLAUTH, 2008).

A reação de oxidação da pirita pode ocorrer em várias etapas conforme há variações do meio no decorrer do processo, e também de acordo com o tipo de agente oxidante. Segundo Borma (2006), são três as principais reações que podem ocorrer: oxidação abiótica pelo O_2 ; oxidação abiótica pelo Fe(III) e oxidação catalisada por bactérias.

Ainda, de acordo com Borma (2006), essas reações podem ser apresentadas pelas seguintes equações:

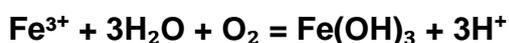
- a) Oxidação da pirita pelo oxigênio atmosférico:



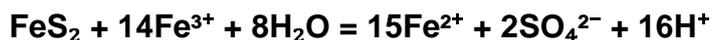
- b) Oxidação do Fe^{2+} a Fe^{3+} (catalisada por bactérias):



- c) Precipitação do Fe(OH)_3 (para $\text{pH} > 3,0$):



- d) Oxidação da pirita pelo Fe^{3+} (para $\text{pH} < 3,0$):



Existem uma grande diversidade de processos físicos e químicos que atuam em uma corrente que podem causar, direta ou indiretamente, atenuação de poluentes. Os principais processos físicos são advecção, diluição, dispersão e sedimentação. Os processos químicos incluem reações de solução, precipitação, co-precipitação e adsorção em sedimentos de leito fluidizado ou partículas suspensas. Quando se tem a neutralização da DAM, o pH aumenta e isso faz com que haja a adsorção dos metais dissolvidos nas várias fases sólidas da coluna de água. As fases sólidas que interagem com os constituintes dissolvidos nas águas naturais consistem em uma variedade de componentes como minerais argilosos, carbonatos, quartzo, feldspato e sólidos orgânicos (SALOMONS, 1995).

A erosão nas áreas de mineração ativas e inativas, descarga direta de rejeitos ou resíduos de rocha introduz metais em formas particuladas para ambientes aquáticos. Essas partículas serão parcialmente intemperizadas e conterão formas metálicas ou minerais discretos, que são estáveis somente sob as condições geoquímicas do local da mina. Além disso, esse material erodido pode ainda conter sulfetos. As concentrações resultantes de metais no ambiente aquático não são determinadas pelas reações de adsorção, mas sim pela liberação das partículas e da adsorção subsequente. No caso dos metais sulfuretos, ocorre uma mudança de concentrações de equilíbrio de metais dissolvidos que são independentes das concentrações no material erodido; determinado pelo produto de baixa solubilidade de sulfuretos, a concentrações que são determinadas por reações de adsorção (SALOMONS, 1995).

4.1.5 Estudos Realizados em Minas do Camaquã

Por sua importância regional e riqueza de temas a serem explorados, Minas do Camaquã foi objeto de diversas pesquisas na área de geociências, sendo algumas relacionadas com a contaminação gerada pela atividade mineira da exploração do minério de cobre.

No início da década de 80, uma barragem de rejeitos foi construída em Minas do Camaquã, representando o principal dispositivo de controle ambiental utilizado pela mineradora de cobre que atuava na região. Essa barragem recebeu por mais de uma

década todos os rejeitos sólidos e efluentes líquidos, que eram provenientes do processo de beneficiamento, e também parte do que era gerado no processo de lavra. Na época, apesar da construção da barragem, grande parte dos rejeitos e efluentes líquidos foram lançados diretamente na drenagem fluvial à montante da barragem (LAYBAUER *et al.*, 1996 *apud* LAYBAUER, 1997).

Estudos realizados por Fleck (2013), tiveram o objetivo de caracterizar o material presente na barragem de rejeitos, através de análise granulométrica do rejeito e análise de elementos em cada fração granulométrica das amostras. Para o levantamento da presença dos elementos, Fleck (2013), utilizou a metodologia de espectrometria de fluorescência de raios-X, os teores médios dos elementos de interesse obtidos estão na tabela abaixo:

Tabela 1 – Teor médio de elementos por granulometria.

Abertura (mm)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	Cu (%)	Zn (%)	Quant. de dados amostrados
0,5	6,7322	8,9433	0,0785	0,0011	3
0,250	6,2322	7,6505	0,0651	0,0020	41
0,125	6,0709	7,4055	0,0485	0,0018	43
0,0625	6,0099	9,6689	0,0554	0,0020	43
>0,0625	6,2111	12,9690	0,0845	0,0031	42

Fonte: Adaptado de Fleck (2013).

No Arroio João Dias, estudos geoquímicos foram realizados por Laybauer & Bidone (1998), os quais fizeram a análise de metais pesados de amostras de água e sedimentos, coletadas em dezembro do ano de 1993, 3 anos antes da desativação definitiva da mina de cobre. Esses estudos mostraram a presença de metais pesados na água, dos quais se destacaram o cobre, zinco, manganês, ferro e alumínio. Na Tabela 2, estão expostos os valores de médios dos metais presentes na água bruta do Arroio João Dias no ano de 1993, em áreas impactadas e não impactadas pela atividade da mineração.

Tabela 2 – Valores médios aproximados das concentrações de metais ($\mu\text{g.l}^{-1}$) na água bruta superficial.

REGIÃO	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
Não Impactada	60	16	60	1150	19
Impactada	154	131	164	3040	21

Fonte: Adaptado de Laybauer & Bidone (1998).

4.2 Parâmetros Importantes

4.2.1 Temperatura

A temperatura da água indica a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas e resume o fenômeno de transferência de calor à massa líquida. Quando é fornecida energia calorífica suficiente, o aumento de temperatura ocasiona a expansão e mudança de estado de líquido para gasoso (LIBANIO, 2010).

A temperatura da água pode ser alterada através de fontes naturais, principalmente pela energia emitida pelo sol, e também por atividades antrópicas como despejos industriais e águas utilizadas para o resfriamento de máquinas. Esse parâmetro exerce influência notável na velocidade de reações químicas, na atividade metabólica dos organismos e também na solubilidade de substâncias (BRASIL, 2006).

4.2.2 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) consiste na concentração de íons H^+ das águas representando a intensidade de condições ácidas ou alcalinas do ambiente aquático. Essa propriedade pode ser medida através de um equipamento denominado de potenciômetro, ou pHmetro, como é conhecido popularmente. Em temperatura ambiente, os valores de pH inferior a 7 indicam que as condições do meio estão ácidas, valores maiores que 7 demonstram um ambiente mais alcalino, enquanto que

se o pH der 7 significa que há uma situação de neutralidade (BRASIL, 2006; LIBÂNIO, 2010).

O pH tem grande influência no grau de solubilidade de muitas substâncias, e portanto, conseqüentemente isso pode afetar a intensidade da cor, na distribuição das formas livres e ionizada de compostos químicos variados, e também define o potencial de toxicidade de diversos elementos (LIBÂNIO, 2010). As mudanças de pH podem ser causadas de forma natural, através da dissolução de rochas e fotossíntese, ou por atividades antrópicas, a partir de despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2006).

De acordo com a Portaria nº 36 de janeiro de 1990, o padrão de potabilidade das águas para abastecimento público deve apresentar os níveis de pH situados no intervalo de 6,5 a 8,5 (BRASIL, 1990). A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece faixas de pH para diversas classes de águas naturais, sendo que para as classes de águas doces os valores de pH devem estar entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2005).

4.2.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é uma propriedade que indica a capacidade natural água de transmitir corrente elétrica em presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (por exemplo: K^+ , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), sendo diretamente proporcional a concentração iônica (LIBÂNIO, 2010). Esse parâmetro deve ser expresso em unidades de resistência por unidades de comprimento. Atualmente a utilização da unidade Siemens é a expressão mais recomendada para representar a resistência elétrica da água (BRASIL, 2006).

De acordo com Libânio (2010), condutividade elétrica não é um parâmetro que integra os padrões de potabilidade brasileiros, sendo monitorado somente em estações de tratamento de grande porte. Ela indica eventuais lançamento de efluentes, devido a sua relação com sólidos totais dissolvidos.

Segundo o Ministério da Saúde (2006), as águas naturais geralmente apresentam valores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu S/cm$, entretanto, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais esses valores podem chegar até 1.000 $\mu S/cm$.

4.2.4 Turbidez

A turbidez é um parâmetro do qual se expressa uma propriedade óptica que faz com que a luz seja espelhada e absorvida, e por esse motivo acaba não sendo transmitida em linha reta através da água (EMBRAPA, 2011). Esse parâmetro tem como principal responsável os sólidos em suspensão, que se apresentam em diversos tamanhos, podendo variar de partículas grosseiras até colóides. A dispersão e a absorção da luz são causadas pela existência dessas partículas no meio aquático, que acabam conferindo à água uma aparência turva (RICHTER & NETTO, 1991).

De acordo com o Ministério da Saúde, no Brasil (2006), grande parte as águas dos rios apresenta essa aparência turva de forma natural, isso se deve às características geológicas das bacias de drenagem, aos altos índices pluviométricos e utilização de práticas agrícolas inadequadas. Os sólidos em suspensão que geralmente causam turbidez na água podem ser de origem natural como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos e também podem ser de origem antrópica provenientes de atividades que resultem em despejos domésticos, despejos industriais, microrganismos e erosão (SPERLING, 1996).

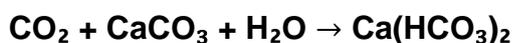
A unidade mais utilizada para medir o grau de turbidez na água é a Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). Segundo o Ministério da Saúde, as águas naturais geralmente compreendem valores de turbidez na faixa de 3 a 500 UNT, e para ser considerada potável a medida deve ser inferior a 1 UNT (BRASIL, 2006). A resolução CONAMA nº 357 estabelece que os valores de turbidez para águas doces de classe I são de até 40 UNT, já para as classes II e III não se pode ultrapassar 100 UNT (BRASIL, 2005).

4.2.5 Alcalinidade

A alcalinidade é a medida da capacidade que a água tem de neutralizar ácidos, ou seja, a quantidade de substâncias presentes que atuam como tampão. Essa capacidade é devida a presença de bases fortes, fracas e de sais de ácidos fracos. Os compostos que são responsáveis por essa alcalinidade, são aqueles que apresentam carbonatos, bicarbonatos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. Os minerais com capacidade de tamponamento mais comuns são a calcita, magnesita, dolomita e brucita (EMBRAPA, 2011).

De acordo com o Ministério da Saúde (2006), existem três formas de alcalinidade que se manifestam em função do pH. Quando a água apresenta pH na faixa entre 4,4 e 8,3 a alcalinidade se dá em virtude dos bicarbonatos, entre 8,3 e 9,4 é devido a carbonatos e bicarbonatos, e quando o pH está acima de 9,4 a alcalinidade se deve aos hidróxidos e carbonatos.

Segundo Libânio (2010), devido a essa relação com o pH, as águas naturais em sua maioria apresenta alcalinidade decorrente apenas de bicarbonatos, principalmente os de cálcio e magnésio. Essa prevalência de bicarbonatos pode ser justificado pela reação do gás carbônico com os minerais do solo, de acordo com a equação abaixo:



As águas naturais, geralmente, apresentam valores de alcalinidade na faixa entre 30 e 500mg/L de CaCO_3 . A origem pode ser através de processos naturais como, CO_2 absorvido da atmosfera ou resultante da decomposição da matéria orgânica, e também a presença de gás sulfídrico (H_2S). As atividades antrópicas como despejos industriais e a passagem da água por minas abandonadas também afetam os valores de alcalinidade (BRASIL, 2006).

4.2.6 Dureza

A dureza é uma característica dada à água por consequência da presença de íons metálicos, principalmente os íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), e também, em menor medida, íons ferrosos (Fe^{2+}) e do estrôncio (S^{2+}). Esse parâmetro é muito conhecido por dificultar a formação de espuma como sabão e, ainda, por produzir incrustações em sistemas que utilizam água quente (RICHTER & NETTO, 1991). De acordo com o Ministério da Saúde (2006), a dureza nas águas pode ser de origem natural, como por exemplo, resultado da dissolução das rochas calcárias, que são ricas em cálcio e magnésio, ou de origem antrópica, através de lançamentos de efluentes industriais.

Pode ser classificada como *dureza carbonato* ou *dureza não carbonato*, o que depende do tipo de ânion a que está associada. A dureza carbonato corresponde à alcalinidade, indicando a capacidade de tamponamento de uma amostra de água. Já

a dureza não carbonato remete-se à associação com os ânions que não sejam de cálcio e magnésio (BRASIL, 2006).

A classificação dessa propriedade também pode ser dada em termos de grau de dureza da água relacionado com a concentração de CaCO_3 . Na Tabela 3 são mostrados os diferentes graus de dureza e os suas respectivas faixas de concentração.

Tabela 3 – Classificação da Dureza.

CLASSIFICAÇÃO DA DUREZA	CaCO_3 (mg/l)
Moles	Inferior a 50
Dureza Moderada	Entre 50 e 150
Duras	Entre 150 e 300
Muito Duras	Superior a 300

Fonte: RICHTER & NETTO, 1991 (Modificado).

4.3 Sedimentos Fluviais

O termo “sedimento” é originado do latim, sendo associado à palavra *sedis*, que significa “deposição”. Deste modo, o termo é usado para descrever aquilo que tem disponibilidade para ser transportado, depositado, e o que está sujeito a se depositar. Em sua gênese, os sedimentos classificam-se em terrígenos, clásticos e litogênicos, sendo originados por fragmentos de rochas ou bioquímicos, quando há a precipitação de elementos químicos (TRINDADE, 2010).

Nos cursos d’água o sedimento presente é originado da erosão da bacia, do leito e das margens. Quando ocorrem as precipitações, o fluxo de drenagem da água age transportando muitas partículas para o rio, movendo-se em suspensão e também no leito, rolando, deslizando ou em saltos. Conforme se aumenta a intensidade do escoamento e os efeitos de turbulências, as partículas do leito do rio podem se juntar ao meio líquido ficando em suspensão até que as forças atuantes se amenizem. As partículas do leito também sofrem a ação da corrente, o que da mesma forma pode causar o seu transporte, porém estão submetidas à resistência de atrito, sendo assim sua velocidade de movimento conseqüentemente será menor do que aquelas porções em suspensão (CARVALHO *et al.*, 2000).

Os sedimentos podem ser caracterizados por meio das suas propriedades físicas, que refletem sua origem no meio ambiente. Segundo Ferreira (2001), isso é observado nos processos de deposição e pós-deposição como, por exemplo, a compactação, a diagênese, formação autogênica, e também na composição mineral, mostrando-se na textura, tamanho, e em propriedades químicas do sedimento.

Nos ambientes aquosos, os sedimentos exercem papel importante no que se refere ao destino de xenobióticos, pois refletem a quantidade corrente do sistema aquático e também possuem um grande potencial na detecção de contaminantes que não encontram-se solúveis após o seu lançamento nas águas superficiais. Na avaliação do nível de contaminação nos ecossistemas aquáticos relativos aos elementos-traço, os sedimentos são considerados de grande relevância, tendo em vista a sua capacidade de acumulá-los, e também por serem reconhecidos como transportadores e prováveis fontes de contaminação (COTTA *et al.*, 2006). De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, quando a metodologia que está disponível para a quantificação de substâncias nas águas for insuficiente, os sedimentos podem ser investigados quanto à presença dessas substâncias (BRASIL, 2005).

As partículas de sedimentos que estão presentes no corpo hídrico são formados por diversas frações granulométricas. As que geralmente são encontradas vão de seixos até argilas e colóides orgânicos (TRINDADE, 2010). Na Resolução do CONAMA nº 344/2004, consta uma classificação do tamanho dos sedimentos, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação granulométrica dos sedimentos conforme Resolução CONAMA Nº 344/2004.

CLASSIFICAÇÃO	TAMANHO (mm)
Areia muito grossa	2 - 1
Areia grossa	1 – 0,5
Areia média	0,5 – 0,25
Areia fina	0,25 – 0,125
Areia muito fina	0,125 – 0,062
Silte	0,062 – 0,00394
Argila	0,00394 – 0,0002

Fonte: CONAMA, 2004 *apud* Wentworth, 1922 (modificado).

Segundo Lima (2008), a dimensão da partícula tem grande influência sobre a capacidade de metais contaminantes em partículas inorgânicas, pois a fração mais fina (<63 μm) é ativa eletricamente e também apresenta uma grande superfície específica para adsorver esses metais. De acordo com Förstner & Wittmann (1981, *apud* TRINDADE, 2010), em frações mais grossas, (>63 μm), partindo da fração de areia, são observados uma redução dos teores de metais adsorvidos em relação as frações mais finas.

4.4 Metais Pesados

Metal pesado é um conceito utilizado comumente no cotidiano, tendo a sua associação relacionada a substâncias consideradas tóxicas, que são provenientes de rejeitos e que foram descartadas incorretamente no meio ambiente. Na literatura há diversos conceitos e definições de metal pesado que consideram suas propriedades tais como, massa atômica, número atômico, propriedades relacionadas à capacidade de formar sabões ou, ainda, definições mais antigas que empregam critérios como a sua utilização em armas de fogo. Há, ainda, cientistas que consideram que qualquer metal pode ser um metal pesado e outros que incluem somente os metais de transição nessa classificação (LIMA & MERÇON, 2011).

Apesar dessa variedade de definições sobre metais pesados, a propriedade que é mais utilizada na literatura é a massa específica. De acordo com a maior parte dos autores, os metais pesados possuem massa específica elevada, sendo igual ou maior do que um valor de referência que varia de 3,5 e 7,0 g/cm^3 (LIMA & MERÇON, 2011). Além disso, a expressão “metais pesados” frequentemente utilizada, tem ainda como sinônimos: “metais traço”, “elementos traço”, “microelementos”, dentre outros (PAULA, 2012).

Os metais pesados exercem importantes funções no organismo dos seres vivos, pois suas propriedades se mostram fundamentais na manutenção da estrutura tridimensional de biomoléculas essenciais ao metabolismo celular (LIMA & MERÇON, 2011). No entanto, em condições específicas, podem causar impactos negativos nos ecossistemas aquáticos, sendo classificados como contaminantes ou poluentes do solo e da água (GUILHERME *et al.*, 2005).

De acordo com Muniz & Filho (2006), os metais pesados e seus compostos são tóxicos, isto é, possuem capacidade de um elemento químico inerte de provocar

efeitos danosos. Os efeitos tóxicos são determinados pelo índice e o alcance do qual os metais ou compostos se convertem em uma forma biodisponível, podendo, no meio ambiente, os íons metálicos ligarem-se com a matéria orgânica, reduzindo assim a quantidade biodisponível.

4.4.1 Cobre

O cobre é um metal de transição de número atômico 29, com densidade 8,96 g/cm³, conhecido por ser um ótimo condutor de eletricidade. Atualmente, este elemento é muito utilizado pela indústria que o emprega em ligas, canos, fios elétricos e radiadores de automóveis (SARGENELLI, 1995).

Em Minas do Camaquã, o cobre é encontrado em sua maioria associado à sulfetos. De acordo com Bettencourt (1972), os minérios mais comuns contendo cobre na região são a Calcopirita (CuFeS₂), Bornita (Cu₅FeS₄), Calcosita (Cu₂S), Cuprita (Cu₂O), Malaquita (Cu₂(OH)₂CO₃), entre outros.

O cobre é um elemento essencial para todos os seres vivos. Nos humanos é incorporado em várias metaloenzimas que estão envolvidas na formação da hemoglobina, metabolismo de drogas ou xenobióticos, metabolismo de carboidratos, biossíntese de catecolaminas, reticulação de colágeno, elastina, queratina capilar, mecanismo de defesa antioxidante, entre outras funções (DORSEY & INGERMAN, 2004).

Embora se tenha efeitos positivos do cobre em seres vivos, a exposição à altos níveis de concentração deste elemento podem resultar sérios danos à saúde. Os efeitos adversos na saúde em seres humanos mais comuns são desconfortos intestinais como náuseas, vômito e dor abdominal. Quando há superexposição ao cobre e outros elementos tem sido constatado o risco de câncer de pulmão e de estômago (DORSEY & INGERMAN, 2004).

Segundo Silva (2017), a forma mais biodisponível e tóxica do cobre é o íon cúprico (Cu²⁺). Esse íon é relativamente solúvel, se ligando facilmente à matéria orgânica presente, onde sua concentração é elevada em animais encontrados em sedimentos dos leitos de corpos hídricos e em moluscos.

4.4.2 Zinco

O zinco é um metal de transição que possui número atômico 30 e densidade de 7,13 g/cm³ e ocorre principalmente em minerais compostos por sulfetos de zinco como a Blenda, Zincita e Calamina, e geralmente está associado a Pb, Cd, Cu e Fe (RIBEIRO, 2010).

As principais aplicações para o zinco podem ser na galvanoplastia de metais e em ligas, como catalizador na produção de pigmentos e borrachas industriais, estabilizador ultravioleta, e de alimentos e fertilizantes. Também pode ser empregado na fabricação *rayon*, mordentes para impressão e corantes, conservantes de madeira, fungicidas e raticidas (FERREIRA, 2001)

O zinco é um dos elementos essenciais para a saúde humana, e tem a sua toxicidade associada a concentração no organismo do ser vivo. A capacidade de bioacumulação pode oferecer risco aos ecossistemas aquáticos, local em que o zinco está presente em pequenas quantidades, principalmente quando é ingerido em doses elevadas (RIBEIRO, 2010).

4.4.3 Manganês

O manganês é um metal de transição que possui número atômico 25 e densidade de 7,43 g/cm³. Esse elemento pode ser encontrado em toda superfície terrestre, sendo um dos mais abundantes da crosta terrestre, principalmente na pirolusita, carbonatos e silicatos. Tem sua toxicidade associada à quantidade ingerida e à formação de complexos orgânicos (RIBEIRO, 2010).

De acordo com Rocha & Afonso (2012), o manganês tem papel importante no organismo de todos os seres vivos. Ele participa das enzimas fototransferases e no processo de fotossíntese e, além disso, esse elemento é o terceiro metal de transição mais importante da dieta humana, só perde para ferro e zinco.

O manganês é muito utilizado nos processos industriais em ligas não ferrosas, devido à sua baixa solubilidade, tem como principal via de exposição a inalação, sendo que a contaminação acarreta na doença denominada de manganismo, caracterizada como doença neuropsíquica (RIBEIRO, 2010).

4.6 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

O método de fluorescência de raios-X é uma técnica espectroscópica de análise multielementar que pode ser empregada em amostras sólidas e líquidas, sem a necessidade de uma preparação complexa (SCHIMIDT, 2002).

Segundo Araújo (2018), o princípio deste método passa por dois processos. O primeiro processo ocorre no interior de um tubo de Raios-X, onde é provocada a desaceleração de um feixe de elétrons de alta energia sobre a superfície do cátodo de um metal específico, onde parte dessa energia cinética é convertida em raios-X, formando um espectro contínuo de distribuição de energia, o qual está associado à alta tensão aplicada. No segundo, acontece uma transição de elétrons nas camadas mais internas dos átomos, formando um espectro discreto de distribuição de energia, estando este, relacionado ao número atômico do elemento, desta forma, os raios-X produzidos são característicos de cada elemento químico.

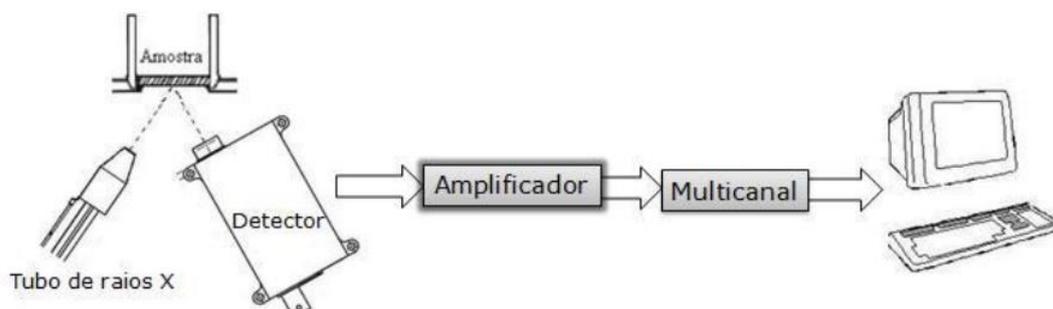
De acordo com Jenkins *et al.* (1995), os espectrômetros de raio-X consistem de três partes principais: fonte de excitação, aparelho para apresentação de amostras e o espectrômetro de raios-x. A função da fonte de excitação é a de excitar os raios-X característicos de uma amostra através do processo de fluorescência de raios X. O aparelho de apresentação da amostra mantém a amostra em uma posição definida com precisão durante a análise e ainda fornece a introdução e remoção da amostra da posição de excitação. E por fim, o espectrômetro de raios-X é responsável por separar e contar os raios-X de vários comprimentos de onda ou emitidas pela amostra.

Asfora (2010) explica que as técnicas de fluorescência de raios-X utilizadas para a identificação de raios-X característicos podem ser realizadas através da dispersão de comprimento de onda (*Wave Length Dispersive X-Ray Fluorescence – WDXRF*) ou por dispersão de energia (*Energy Dispersive X-Ray Fluorescence – EDXRF*), onde as intensidades medidas através destes raios-X característicos relacionam-se com as concentrações dos elementos na amostra.

A técnica de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF) foi desenvolvida na década de 70, quando se deu o surgimento de semicondutores. Nela as radiações características dos elementos são registradas através de um detector, produzindo um pulso eletrônico com amplitude proporcional à energia da radiação emitida pela amostra. Através de um sistema analisador multicanal é possível separar os pulsos pela sua amplitude, podendo obter-se assim um espectro em função da

energia de radiação incidente no detector (ASFORA, 2010). Atualmente, a EDXRF é muito utilizada em trabalhos como método de caracterização e quantificação de elementos químicos presentes em elevadas concentrações, tanto em amostras de água, como solos e sedimentos (MANCUSO *et al.*, 2016). Na Figura 1 é mostrado um esquema representando um sistema de fluorescência de raios-X por dispersão de energia.

Figura 1 – Sistema de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia.



Fonte: ASFORA, 2010.

A instrumentação utilizada para a técnica de fluorescência de raio-X pode ser classificada em duas grandes categorias: espectrômetros de laboratório e os espectrômetros portáteis. Os espectrômetros de laboratório são projetados para potencializar os serviços analíticos, onde os limites de sensibilidades são em torno de 10mg/kg em função do elemento. Entretanto, esses equipamentos são muito robustos, sendo a sua aplicação de baixa flexibilidade, e ainda há a necessidade de que as amostras estejam homogêneas e com uma geometria padrão. Os espectrômetros portáteis são aparelhos que podem ser usados *in situ* e permitem uma aproximação adequada da amostra a ser analisada, o que garante a não-destrutividade da técnica. Embora a praticidade da utilização desse equipamento, os limites de sensibilidade da detecção são de 10 a 100 vezes maiores comparados aos sistemas fixos (FERRETI & TIRELLO, 2008).

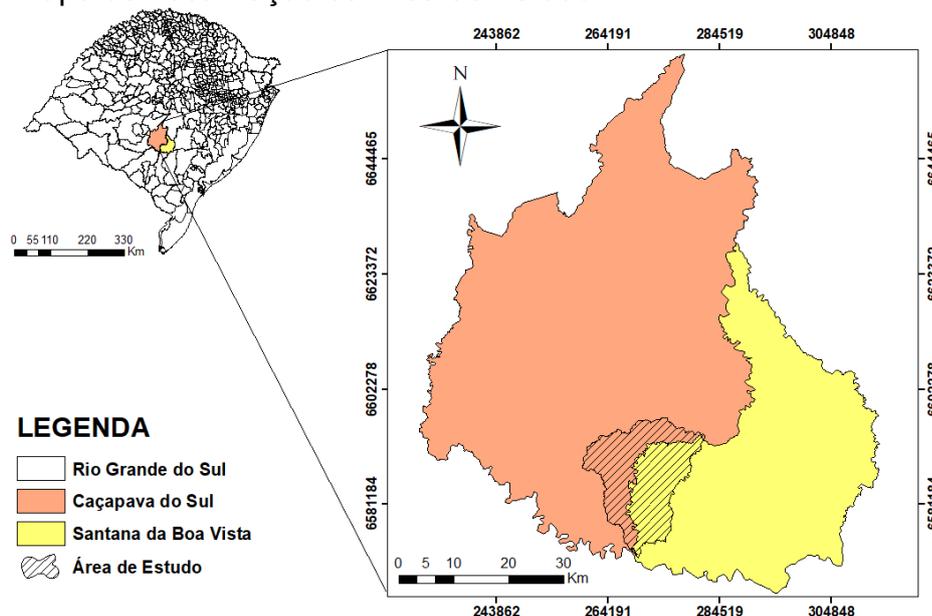
5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos objetivos do presente estudo foram realizadas análises químicas e físicas na água e nos sedimentos fluviais no percurso do Arroio João Dias. As principais análises no que se refere à água superficial foram: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade total, dureza total e o teor elementar de metais (Cu, Zn, Mn, Fe, Al). Os testes relativos aos sedimentos fluviais que foram feitos são: análise granulométrica, teor de matéria orgânica e determinação de metais adsorvidos.

5.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho está situada em Minas do Camaquã, localidade pertencente ao 3º distrito do município de Caçapava do Sul, próxima da divisa com o município de Santana da Boa Vista, ambas cidades situadas na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. Minas do Camaquã se encontra distante aproximadamente 300 km da capital, Porto Alegre, e cerca de 66 km da zona urbana da sede do município de Caçapava do Sul (Figura 2). O principal acesso se dá a partir da BR-392, seguindo pela BR-153, que são rodovias pavimentadas, até chegar à RS-625, estrada de terra que conduz até o perímetro urbano do distrito.

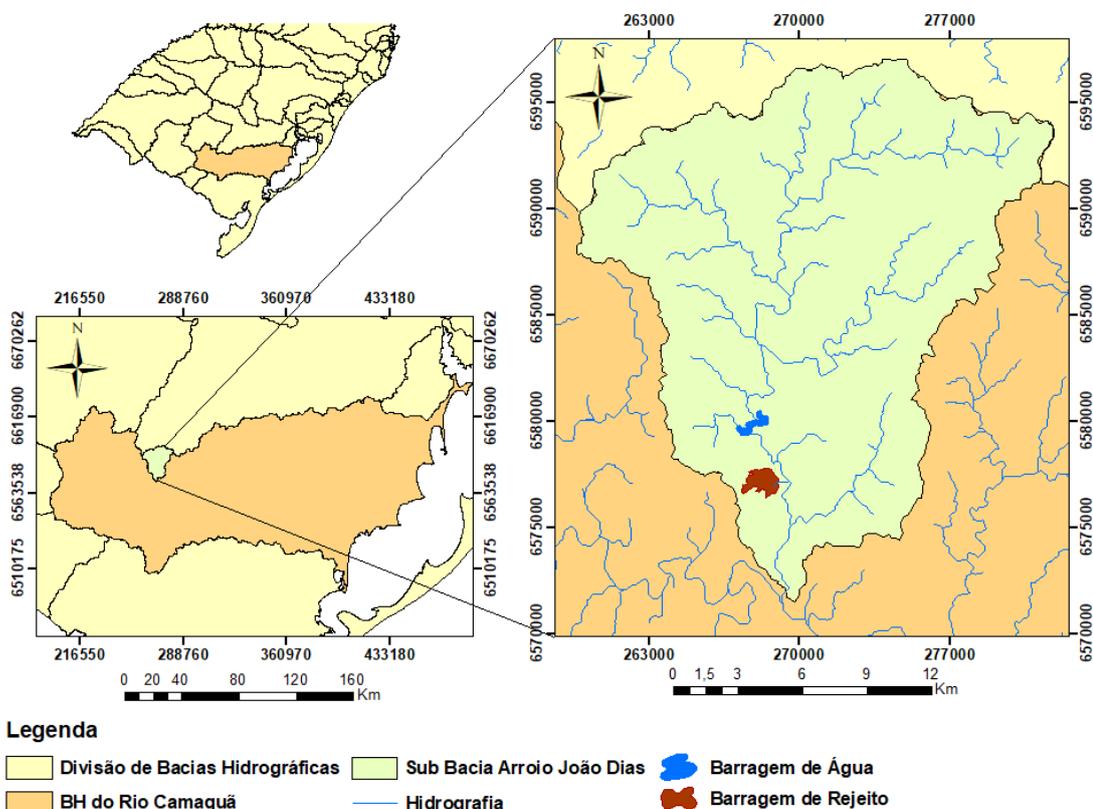
Figura 2 – Mapa de Localização da Área de Estudo.



Fonte: do autor, 2019.

Minas do Camaquã se encontra no segmento centro-sul da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, e possui uma área total de 308 km² desaguando no Rio Camaquã, que é um dos principais rios que desembocam na laguna dos Patos (LAYBAUER, 1997; MARCHI & JARENKOW, 2008). A localização da Sub-bacia do Arroio João Dias está apresentada no mapa apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Delimitação da Sub-bacia Arroio João Dias.

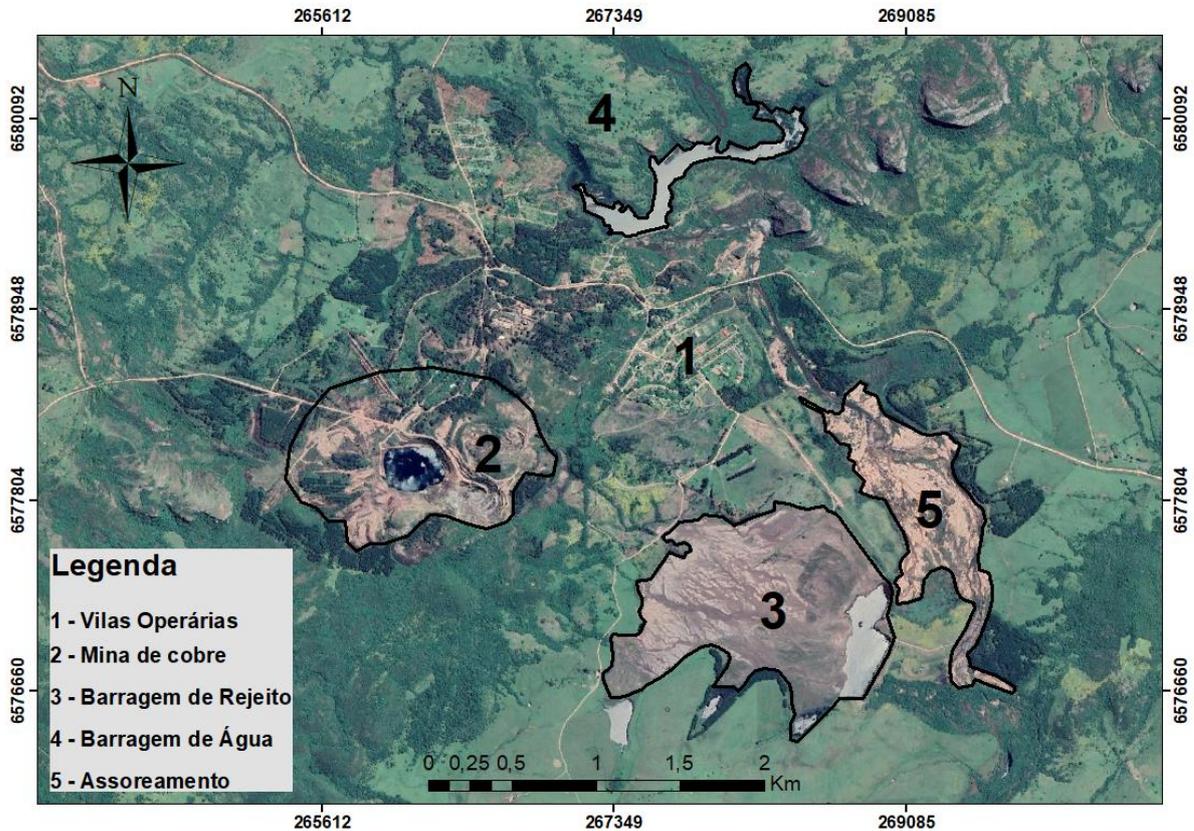


Fonte: do autor, 2019.

As características de Minas do Camaquã são marcadas por uma série de alterações e deformações na paisagem da localidade, devidas às ações da antiga mineradora de cobre que foi desativada no fim do século XX. A Figura 4 mostra onde estão os impactos mais significativos na área natural da região. As zonas numeradas indicam a posição das edificações das vilas operárias, mina de cobre, barragem de

rejeitos, barragem de água e também a presença de um forte processo de assoreamento em parte do curso do Arroio João Dias.

Figura 4 – Imagem de Satélite de Minas do Camaquã.



Fonte: Modificado do Google Earth Pro, 2019.

As moradias das vilas operárias, que foram construídas com o próprio capital da empresa minerária, eram situadas de acordo com a localização das instalações e dos equipamentos (SILVA, 2008). Atualmente, 150 famílias habitam o conjunto de vilas de Minas do Camaquã, a população neste local é formada basicamente por ex-trabalhadores das minas e funcionários públicos aposentados. As principais atividades econômicas da região são a agropecuária e o turismo (SILVA, 2017; CONTE, 2016).

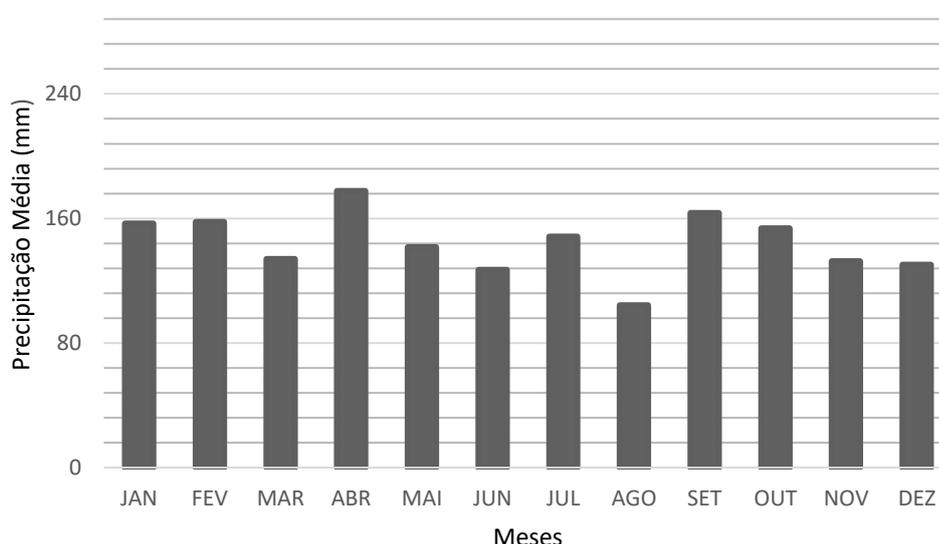
5.1.1 Clima

Segundo a classificação climática de Köppen *et al.* (1953), o estado do Rio Grande do Sul se enquadra nas classificações de zona temperada (C) e temperado úmido (Cf). De acordo com Moreno (1961), Caçapava do Sul é classificada como Cfa

II 1c – escudo sulriograndense-uruguaio, pois a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a altitude é superior a 400m.

Na Figura 5 é mostrado a curva de precipitação pluviométrica mensal acumulada para o município de Caçapava do Sul, disponibilizado no Atlas Climático da Região Sul do Brasil, desenvolvido pela EMBRAPA. As médias de precipitação pluvial durante o ano são bem distribuídas ao longo dos meses. Ainda segundo os dados da EMBRAPA, Caçapava do Sul apresenta uma média de precipitação anual de 1727,4 mm (WREGE *et al.*, 2012).

Figura 5 – Curva da Média da Precipitação Pluviométrica Mensal para o município de Caçapava do Sul.



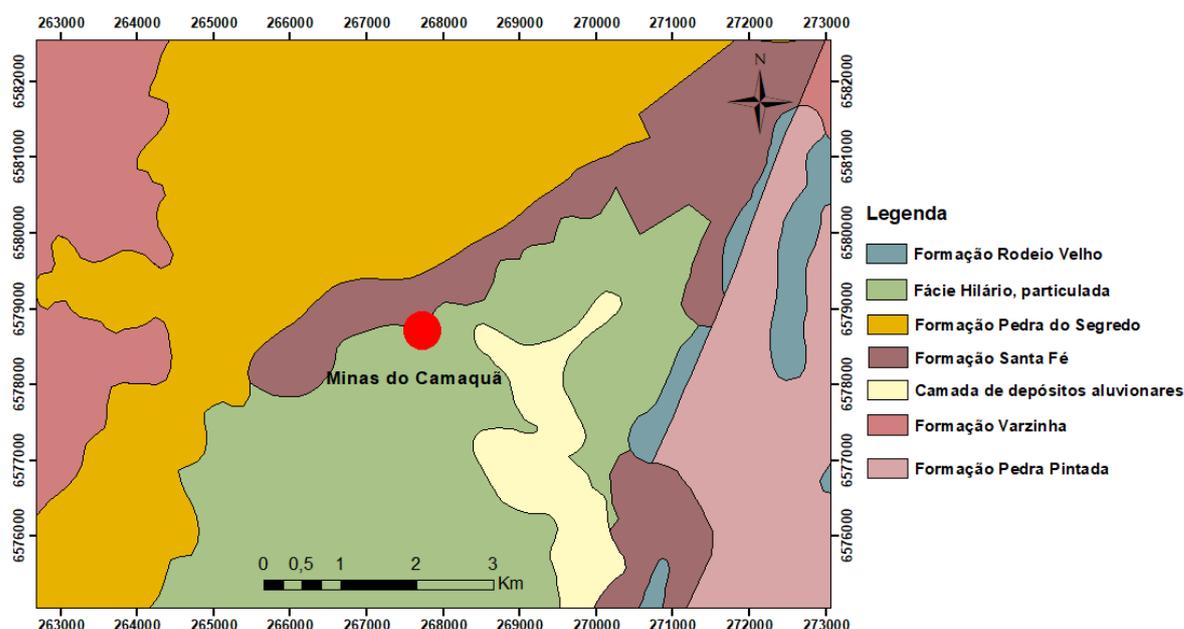
Fonte: Dados obtidos da EMBRAPA (2012).

5.1.2 Geologia Local

A área de estudo está inserida no contexto evolutivo da Bacia do Camaquã, situada na porção central do Escudo Sul-rio-grandense, subdividida nos alogrupos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas. Minas do Camaquã tem uma área muito estudada e ocupa o núcleo conhecido como “Janela Bom Jardim”, que é uma feição estrutural formada principalmente por rochas sedimentares com uma pequena contribuição de rochas vulcânicas, sendo delimitada por estruturas tectônicas de expressão regional (LAYBAUER & BIDONE, 1998; CANARIM, 2013).

As mineralizações das Minas do Camaquã abrangem dois principais corpos de minério, chamados de Mina Uruguai e São Luiz, ocorrendo em duas formas, filões e disseminações. São constituídas principalmente por sulfetos de cobre: calcopirita, bornita, calcosita, além de pirita (CANARIM, 2013). Na Figura 6 estão apresentadas as divisões litológicas de Minas do Camaquã.

Figura 6 – Mapa Geológico de Minas do Camaquã.

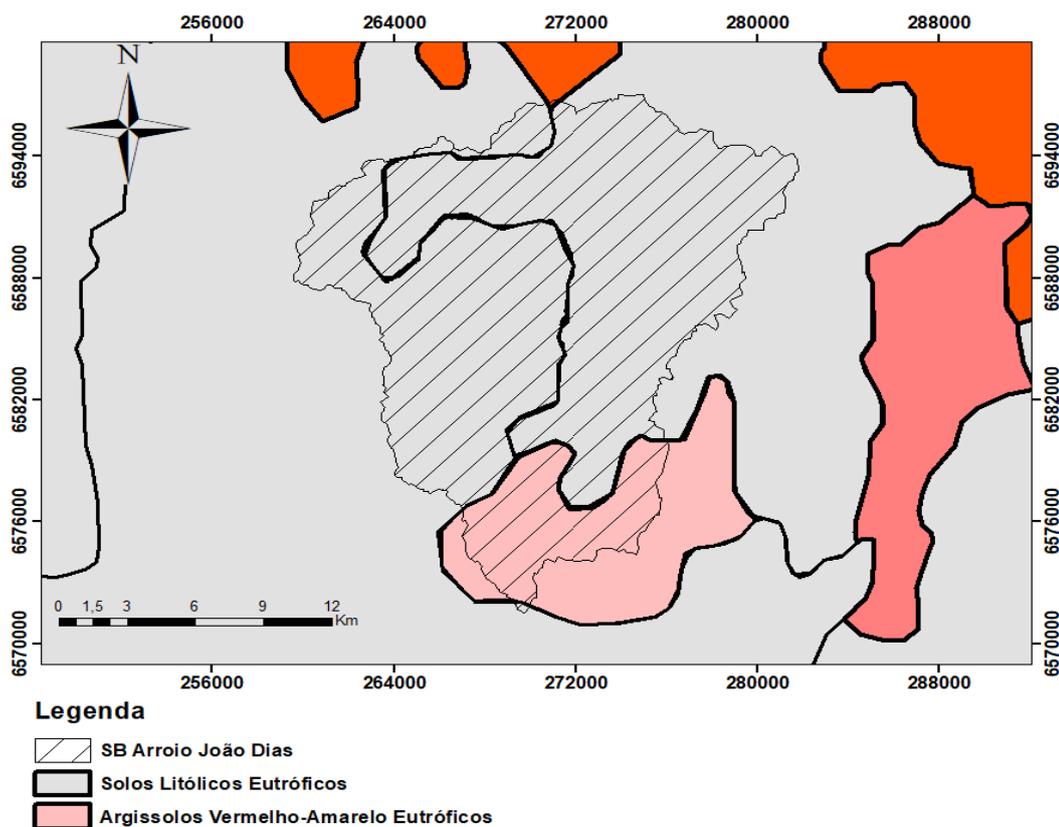


Fonte: Modificado da CPRM (2009).

5.1.3 Pedologia

De acordo com o IBGE (2002), na sub-bacia Arroio João Dias, predominam solos litólicos eutróficos, com horizonte A sobreposto diretamente à rocha, ou sobre um horizonte C, pouco espessos, geralmente com fragmentos de rocha em decomposição. Também há a presença de solos classificados como Argissolos Vermelho-Amarelo eutrófico. O relevo predominante da área é classificado como forte ondulado, ondulado, montanhoso e afloramentos de rocha. Na Figura 7 está mostrado a distribuição de tipos de solos presentes na sub-bacia do Arroio João Dias.

Figura 7– Pedologia Minas do Camaquã.



Fonte: Modificado do IBGE (2002).

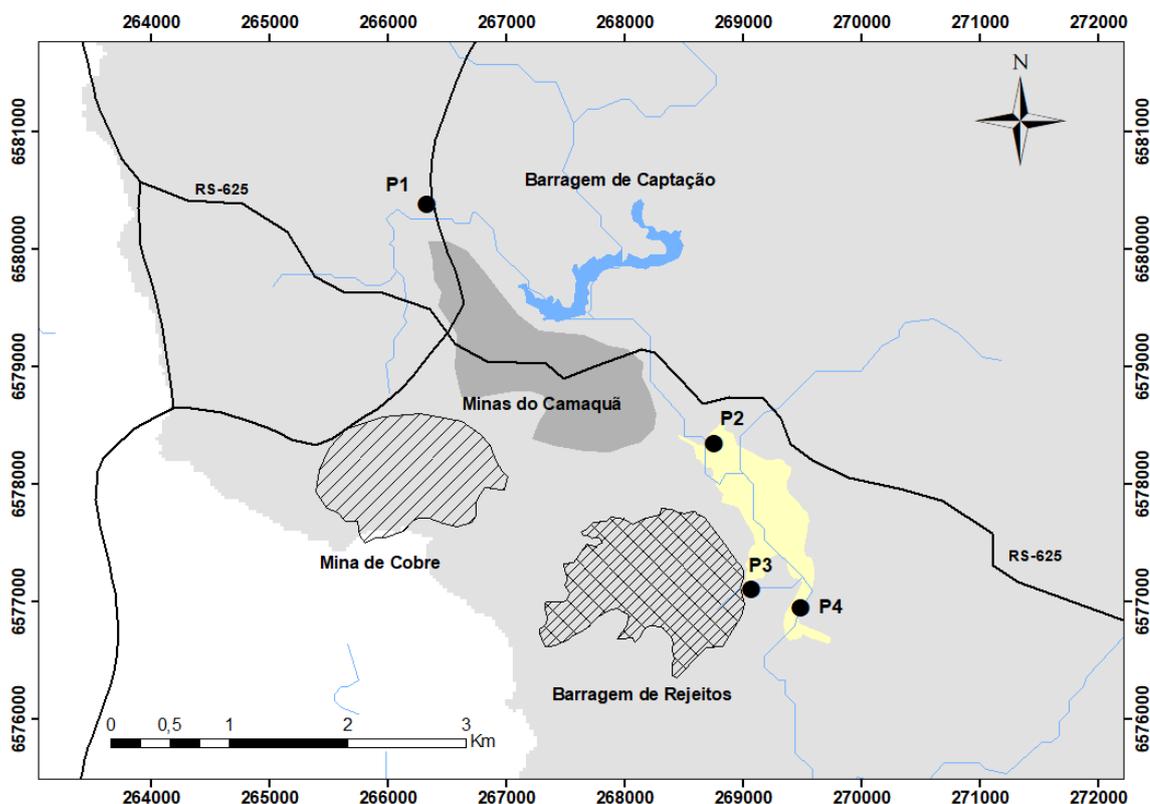
5.2 Coleta de Amostras

5.2.1 Pontos de Amostragem

As coletas de amostras no Arroio João Dias, em Minas do Camaquã, foram feitas no dia 02 de outubro de 2019. Para realizar a caracterização das condições ambientais do corpo hídrico, escolheu-se diferentes locais para a amostragem da água e sedimentos ao longo do corpo hídrico. A localização dos pontos de amostragem buscou demonstrar a diferença entre regiões que não fossem influenciadas pela presença de atividades mineiras das que são diretamente afetadas. Portanto, os pontos de amostragem foram definidos de montante à jusante das barragens de água e rejeitos.

No presente estudo, estabeleceu-se 4 pontos de amostragem de água e sedimento no curso do Arroio João Dias que estão arranjados conforme a Figura 8.

Figura 8 – Mapa de localização dos pontos de amostragem.



Fonte: do autor, 2019.

A Tabela 5 mostra as coordenadas dos pontos de coleta de amostras. O primeiro ponto (P1) está localizado a uma distância maior dos demais, em uma região não influenciada pelas atividades antrópicas, constituindo assim resultados que devem refletir o estado natural do corpo hídrico. Os pontos P2, P3 e P4 se situarão na região que é a mais afetada pela atividade da mineração (LAYBAUER, 1997). P2 e P4 estarão posicionados no começo e no fim da ação mais severa da deposição de sedimentos no arroio, enquanto P3 estará fixado no vertedouro da barragem de rejeitos.

Tabela 5 – Coordenadas dos pontos de coleta em UTM.

PONTOS	N	E
P1	6580376,04	266330,03
P2	6578343,00	268764,99
P3	6577101,00	269077,04
P4	6576944,98	269494,03

Fonte: dados obtidos pelo autor, 2019.

5.2.2 Tratamento das Amostras

A água superficial do Arroio João Dias foi coletada em cada um dos pontos em frascos de polietileno de 5 litros. Logo em seguida foram encaminhadas para as análises dos parâmetros físico-químicos no laboratório de análises químicas da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

Figura 9 – Coleta de água no Arroio João Dias.



Fonte: do autor, 2019.

Parte das amostras de água foram armazenadas em frascos menores de polietileno de 500ml (Figura 10) e preservadas com HNO_3 1:1 e refrigeradas (+/- 4°C) até as análises dos metais (APHA, 1985).

Figura 10 – Amostras de água.



Fonte: do autor, 2019.

As amostragens dos sedimentos fluviais foram realizadas no leito do corpo hídrico, com o auxílio de um amostrador do tipo “*Van Veen*”, tomando-se cuidado para evitar a perda de finos. Depositou-se o material em sacos plásticos, eliminando-se os excessos de água. Após a coleta, as amostras foram secas ao sol e dispostas em formas de poliestireno (Figura 11), sendo encaminhadas à uma secagem mais avançada na estufa em uma temperatura de 60°C, eliminando a umidade para que os ensaios posteriores fossem realizados (CARVALHO *et al.*, 2000).

Figura 11 - Amostras de Sedimentos.



Fonte: do autor, 2019.

5.3 Análises na Água Superficial

Para águas superficiais foram realizadas a determinação de metais presentes na água bruta do corpo hídrico, representando a quantificação dos metais totais nas amostras. Ao todo foram levantados o teor de metais em 4 amostras, sendo o cobre, zinco, alumínio e ferro os elementos fundamentais a serem avaliados, porém abrangendo outros metais como manganês e cádmio, caso fossem detectados. Além das concentrações de metais foram analisados parâmetros importantes da água como Temperatura, pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, Alcalinidade Total e Dureza Total.

5.3.1 Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Turbidez

A determinação da temperatura na água em cada ponto do corpo hídrico foi feita no momento da coleta com o auxílio de um termômetro. O Potencial Hidrogeniônico (pH) foi medido no laboratório de análises químicas utilizando um pHmetro e a condutividade elétrica através do condutivímetro. Já a turbidez foi estabelecida através de um equipamento chamado turbidímetro.

5.3.2 Alcalinidade Total e Dureza Total

Para o presente trabalho, as análises de Alcalinidade Total e Dureza total seguiram o Manual Prático de Análise de Água desenvolvido pela Fundação Nacional de Saúde, que descreve os procedimentos mais comuns para análise de água (FUNASA, 2013).

A alcalinidade foi determinada a partir de titulação com ácido sulfúrico. Os materiais e reagentes estão descritos a seguir:

- I. Pipeta Volumétrica de 50 mL;
- II. Frasco *Erlenmeyer* de 250mL;
- III. Bureta de 50 mL
- IV. Indicador Verde de Bromocresol + Vermelho de Metila;
- V. Solução de ácido sulfúrico 0,02N (H₂SO₄).

O procedimento experimental consistiu em tomar 50 mL da amostra de água bruta e transferir para um *Erlenmeyer*, e logo após, adicionou-se 3 gotas da solução indicadora de verde de bromocresol + vermelho de metila. A partir daí, foi titulado com a solução de ácido sulfúrico 0,02N até observar a mudança de cor de azul-esverdeada para róseo. Ao final da titulação, foi anotado o volume total de ácido sulfúrico gasto em mL.

A Alcalinidade Total foi determinada através da Equação 1, exposta a seguir:

$$\text{CaCO}_3(\text{mg/L}) = V \times 20 \quad (1)$$

A dureza foi medida através do método de titulação com EDTA. Os materiais e reagentes a serem utilizados foram:

- I. Bureta de 50mL;
- II. Pipeta volumétrica de 25mL;
- III. Balão volumétrico de 50mL;
- IV. Becker de 100mL;
- V. Frasco *Erlenmeyer* de 250mL;
- VI. Solução-padrão de EDTA 0,01M;
- VII. Solução tampão (pH 10);
- VIII. Indicador Negro de Eriocromo-T.

Foram recolhidas 25mL da amostras e diluídas em 50mL de água destilada em balão volumétrico, e logo após, transferi-las para o becker. Adicionou-se de 1 a 2 mL da solução tampão para elevar o pH até 10. A partir daí, a solução foi transferida para um *Erlenmeyer* e adicionou-se aproximadamente 0,05 gramas do indicador Negro de Eriocromo-T. Após essa preparação, deve-se titular com EDTA 0,01M até a mudança da cor púrpura avermelhada para a cor azul.

Para esse experimento foi necessário realizar a titulação do branco com água destilada. O valor obtido da titulação do branco foi subtraído do volume de EDTA gasto na titulação da amostra. A fórmula utilizada na determinação da dureza foi a seguinte:

$$\text{CaCO}_3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{\text{ml de EDTA} \times 1000 \times F_c}{\text{ml de amostra}} \quad (2),$$

Onde F_c é o fator de correção do EDTA se houver e for diferente de 1.

5.4 Análise dos Sedimentos Fluviais

5.4.1 Análise Granulométrica

As granulometrias do material do leito do corpo hídrico foram estabelecidas através de ensaios de peneiramento e, se o material fino representar valores maiores que 5% da amostra total, pelo método da pipeta. Para a determinação do material arenoso, foram utilizadas peneiras com diâmetro de abertura $>0,062\text{mm}$. A pipetagem teria o objetivo de caracterizar o material mais fino, como argila e silte, onde os grãos possuem tamanhos $<0,062\text{mm}$. Para a realização da análise granulométrica do sedimentos, os procedimentos realizados seguiram o indicado no Guia de Práticas Sedimentométricas proposto pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (CARVALHO et al, 2000; TEIXEIRA et al., 2017).

No ensaio de peneiramento, as amostras passaram por uma série de peneiras com malhas padronizadas, da série de Tyler. As aberturas das peneiras foram: #7, #9, #16, #32, #60, #115 e # 325.

As peneiras foram empilhadas de forma que, aquela que tivesse o maior diâmetro de malha deve ficar no topo, enquanto na base fica a peneira chamada de fundo, que recebeu os finos. O conjunto de peneiras empilhadas foi agitada manualmente. As porções do material retido em cada peneira foi pesado, onde a porcentagem retida foi obtida através da divisão com o peso total da amostra (CARVALHO et al., 2000).

Após a realização do ensaio de peneiramento e de pipetagem, os resultados obtidos foram traçados em curvas granulométricas, onde foram apresentados a porcentagem do material nos diversos tamanhos de partícula. Segundo Carvalho et al. (2000), geralmente, o material em suspensão apresenta porcentagens maiores de finos (silte e argila), enquanto que a curva característica do material de leito apresenta porcentagens significativas de areias.

5.4.2 Teor de Matéria Orgânica

A quantificação do teor de matéria orgânica dos sedimentos fluviais dos 4 pontos de amostragem, foi realizado através da secagem das amostras em mufla por incineração. Nesse método a matéria orgânica é quantificada através da diferença entre a massa do solo seco em estufa e a massa do resíduo após a incineração na mufla. Os materiais e procedimentos seguiram o que é indicado no Manual de Métodos de Análise de Solo produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (TEIXEIRA et al., 2017).

Os materiais utilizados para o procedimento de incineração foram os seguintes:

- I. Balança com precisão de 0,001g;
- II. Estufa com controle de temperatura (pelo menos 105 °C);
- III. Mufla com controle de temperatura para 600°C;
- IV. Cadinhos de porcelana;
- V. Dessecador com sílica gel;
- VI. Espátulas.

Inicialmente os sedimentos foram pesados, macerados e peneirados (malha 80 mesh) 5 g dos sedimentos, dispostos em cadinhos de porcelana e deixados na estufa a uma temperatura de 65°C por 24 horas. Logo após a secagem, o material foi transferido da estufa para dessecador até esfriar. O solo seco foi pesado e elevado no cadinho até a mufla em uma temperatura de 600°C em um período de 6 horas. Após a incineração na mufla o material foi retirado e deixado no dessecador até esfriar, sendo o sedimento incinerado, novamente pesado.

A determinação da concentração de matéria orgânica nos sedimentos foi feita através da seguinte equação:

$$\text{MOS} = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \cdot 1000 \quad (5)$$

Onde,

MOS – concentração de matéria orgânica do solo (g/kg)

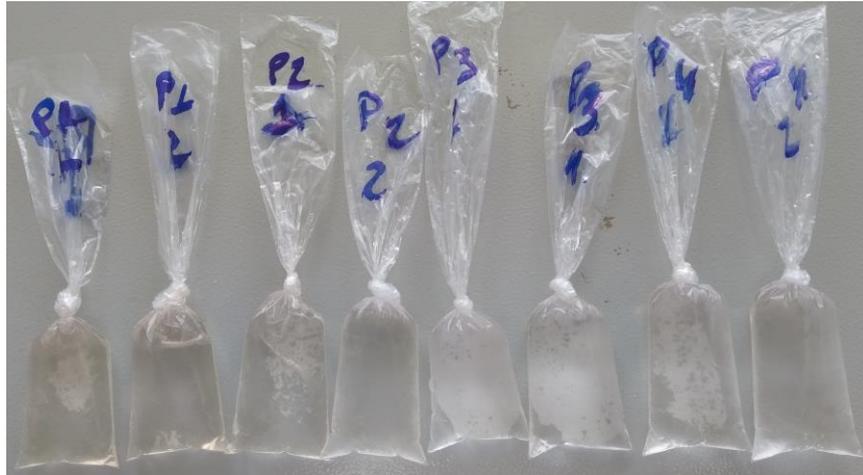
M_s – massa do solo seco em estufa a 65°C (g)

M_r – massa do resíduo após mufla a 600°C (g)

5.5 Determinação de Elementos na Água e nos Sedimentos

Para o presente estudo foi necessário estabelecer a presença de metais, principalmente cobre, zinco, manganês, ferro, alumínio e cádmio nas amostras de água bruta e sedimentos fluviais coletadas no Arroio João Dias. Para a análise de água, as amostras foram dispostas em pequenos sacos de polietileno, como é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Preparação das amostras de água para análise elementar.



Fonte: do autor, 2019.

Para a determinação dos elementos nas amostras de sedimentos, o material que passou pelo ensaio de peneiramento foi separado em frações de cascalho, areia grossa, areia média e areia fina, onde foram feitas leituras no espectrômetro de fluorescência de raios-X em cada uma delas. As amostras de sedimentos fluviais foram quarteadas em cada granulometria e dispostas em recipientes de polietileno, com intuito de uma melhor leitura, representado na Figura 13.

Figura 13 – Preparação das amostras de sedimentos para análise elementar.



Fonte: do autor, 2019.

Os metais foram reconhecidos através de uma análise qualitativa com a utilização de um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X (EDFRX) da marca Bruker, modelo S1 Turbo SD. Este equipamento consiste de um tubo de raios-X metálico de 1W que vai de 2 a 60 μA . Ele utiliza um ânodo fino de Ag que lhe permite a medição de 25 elementos. Possui um detector SDD (*Silicon Drift Detector*) de 10mm² com resfriamento termoelétrico com resolução de aproximadamente 145eV para MnK α , que permite manter uma taxa de contagem de 100.000 contagens por segundo (BAZAES CASANOVA, 2013).

O equipamento foi programado para analisar as amostras durante 120 segundos, onde nos primeiros 60 segundos ele faz uma busca em sua biblioteca interna, ligas com teores semelhantes para ser comparado com a amostra que está sendo analisada. Nesse primeiro momento o equipamento faz uma análise de forma geral identificando todos os elementos presentes na amostra, com exceção daqueles elementos com o número atômico abaixo do magnésio, ou seja, Z menor do que 12. Nos últimos 60 segundos, o equipamento realiza diversas leituras dentro de uma mesma análise, apresentando uma margem de erro em relação à essas leituras.

O equipamento espectrômetro de fluorescência de raios-X realiza uma análise qualitativa, portanto, todos os elementos com número atômico maior que 12 foram identificados dentro dos limites de detecção, porém as quantidades indicadas não apresentam um grau de exatidão comparáveis a outros tipos de espectrômetros. Na Figura 14 está uma imagem do equipamento utilizado.

Figura 14– Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X.



Fonte: do autor, 2019.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta

Os parâmetros físico-químicos dos 4 pontos de coleta são mostrados na Tabela 6. No momento da coleta a temperatura ambiente era de aproximadamente 22°C.

Tabela 6 – Parâmetros Físico-Químicos.

Ponto	Temperatura (°C)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Turbidez (UNT)
P1	17	6,86	164,3	48,2
P2	20	6,84	49,9	30,4
P3	28	7,55	45,7	35,5
P4	19	7,42	131,8	24,9

Fonte: do autor, 2019.

Observa-se na Tabela 6, que a temperatura da água, medida no momento da coleta, nos pontos P1, P2 e P4, mostravam-se abaixo da temperatura ambiente. O ponto P3 foi afetado pela exposição ao sol dentro do vertedouro da barragem, onde a velocidade do fluxo de água é menor, devido a vazão ser menor e a sua estrutura ter muitas curvas, tendo assim um valor de temperatura maior que os demais pontos.

O pH das amostras encontra-se próximo à neutralidade, tendo um comportamento levemente mais ácido nos primeiros dois pontos e um pouco mais alcalino nos dois últimos. Quando a água apresenta valores de pH menores que 7, ou seja, mais ácido, os metais presentes tendem a solubilizar, enquanto que os valores de pH maiores que 7, mais alcalinos, tendem a sedimentar no leito do corpo hídrico.

Nota-se que a condutividade elétrica diminui nos pontos P2 e P3, que são os pontos mais impactados pela mineração, em relação ao P1 (ponto de controle), voltando a aumentar em P4, mostrando que nessas zonas a concentração de íons metálicos é menor que os demais pontos. Em comparação aos resultados de Laybauer (1998), observa-se nos dados levantados, uma diminuição significativa na condutividade elétrica dos pontos P2, P3 e P4 com o passar dos anos.

Laybauer (1998), em sua pesquisa fez o levantamento das características de pH e Condutividade em locais muito próximos aos pontos P2, P3 e P4. Os resultados

foram adquiridos quando ainda havia atividade mineradora, onde os efluentes do beneficiamento de minério ainda eram lançados no Arroio João Dias. Os dados dessa época mostram que nas águas superficiais o pH era neutro e condutividade elétrica variando de 14 a 308 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A turbidez apresentou valores dentro da faixa para águas naturais indicados pelo Ministério da Saúde (2006), que são de 3 a 500 UNT, porém longe do recomendado para água potável, que é 1 UNT (BRASIL, 2006).

As análises titulométricas para a determinação da alcalinidade e dureza presente na água bruta foram realizadas um dia após a coleta das amostras. Os resultados obtidos estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros obtidos de análises titulométricas.

Ponto	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
P1	42	71,76
P2	16	23,53
P3	17,4	20,78
P4	48	61,57

Fonte: do autor, 2019.

De forma geral a água coletada no corpo hídrico apresentou valores baixos para alcalinidade total e dureza total, mostrando uma baixa concentração de carbonatos e bicarbonatos, e como consequência, baixa capacidade do arroio na neutralização de ácidos. De acordo com o Ministério da Saúde (2006), os valores de alcalinidade no ponto de controle P1 e no ponto P4 estão dentro da faixa considerada normal para águas naturais, porém nos pontos P2 e P3, os valores estão muito abaixo. Segundo a classificação de Richter & Netto (1991), os pontos P2 e P3 se classificam como moles, enquanto que as águas dos pontos P1 e P4 como moderadamente duras.

Assim como a condutividade elétrica, a alcalinidade e a dureza apresentaram declínios de mais de 50%, nos pontos P2 e P3, em relação ao ponto de controle P1 e P4. Esses pontos estão diretamente relacionados com a mineração de cobre do passado. De acordo com Laybauer (1997), o ponto P2, apesar de ser à montante a barragem de rejeitos, recebeu, por muitos anos, os efluentes líquidos e rejeitos sólidos

da mineração. O ponto P3 está localizado no vertedouro da barragem por onde o excesso de água da bacia de rejeitos é conduzido até o Arroio João Dias.

Embora P4 esteja muito próximo aos pontos mais influenciados pela bacia de rejeitos, este ponto não apresenta características físico-químicas relativamente semelhantes. Acredita-se que devido à distância e a baixa vazão do vertedouro, parte da água provinda da barragem infiltra no solo, fazendo com que dessa forma o volume que chega até o arroio seja muito baixo, e graças à vazão do corpo hídrico, acabe sendo bem diluído. O comportamento dos parâmetros físico-químicos da água bruta, em cada um dos pontos, está ilustrado no Apêndice A, onde estão os gráficos de cada propriedade citada.

6.2 Análise Elementar da Água Bruta

Para a análise elementar com o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, foram realizadas triplicatas com as amostras de água, sendo assim, os resultados obtidos correspondem às médias dos valores dessas triplicatas. O equipamento possibilita visualizar os teores dos elementos em ppm (partes por milhão), porém para fins de comparação e melhor entendimento, os valores foram convertidos em $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Na Tabela 8, estão expostos os teores dos elementos mais significativos, que foram detectados na espectrometria de fluorescência de raios-X.

Tabela 8 – Teor em $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ dos elementos.

Amostra	MgO	K ₂ O	SiO ₂	Cl	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cu	Cd	Zn
1	98,43	1,170	4,697	0,5940	2,313	0,1373	0,0042	1,917	-
2	111,3	1,184	6,233	0,6387	8,138	0,1223	0,0032	4,007	-
3	91,17	1,220	4,225	0,5827	7,626	0,1417	0,003	4,622	-
4	92,80	1,227	3,403	0,4523	4,880	0,1317	0,0033	2,067	-

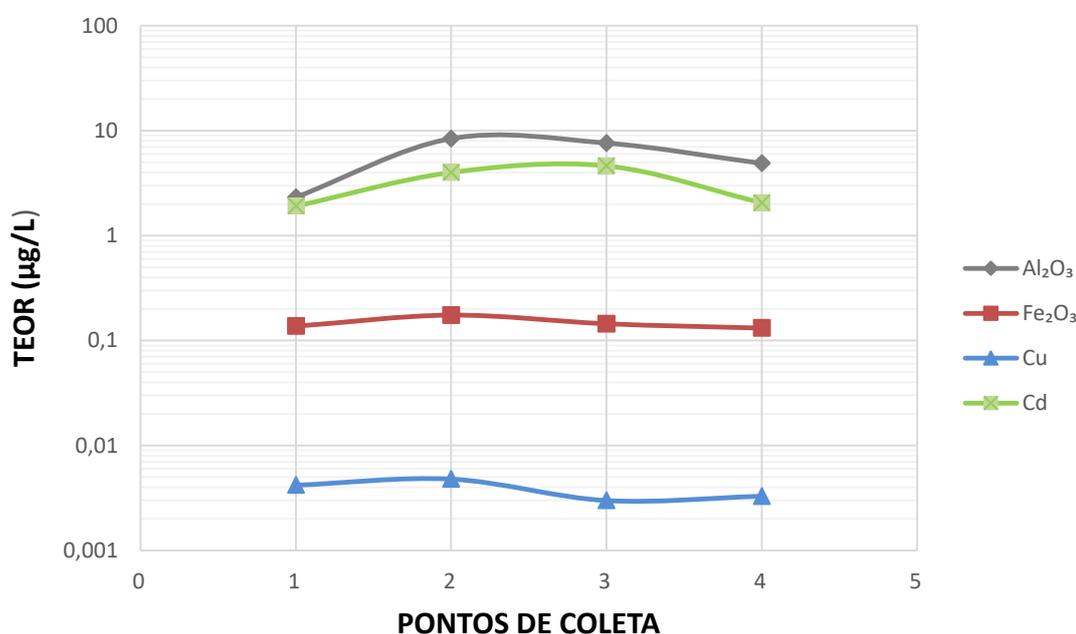
Fonte: do autor, 2019.

Os metais alumínio, ferro, cobre e cádmio foram detectados em todas as amostras de água, em diferentes teores, ao longo do curso do Arroio João Dias, com exceção do zinco, que não foi detectado pela análise qualitativa de espectrometria de fluorescência de raios-X em nenhuma das amostras de água bruta.

No equipamento foi utilizado o método de leitura “General” do tipo “GeoChem General FP”, onde o limite de detecção para o elemento zinco é de 5 ppm, ou seja, valores menores que este não são apontados nos resultados da leitura. Portanto, observa-se que os teores de zinco na água do Arroio João Dias, são extremamente baixos e que não é possível se detectar com análises qualitativas desta natureza. Fleck (2013), na caracterização química do rejeito da mina mostrou, em dados qualitativos e quantitativos, que o material não apresenta grandes quantidades de zinco em sua composição, corroborando com a ausência do elemento no efluente que sai da barragem.

Dos elementos detectados na análise tem-se um destaque para o óxido de alumínio (Al_2O_3) e também para o cádmio (Cd), que apresentam teores mais elevados se comparados com os demais metais (Fe_2O_3 e Cu). No gráfico da Figura 15, tem-se o comportamento dos metais presentes no corpo hídrico nos quatro pontos de coleta de água bruta.

Figura 15 – Teor de elementos metálicos na água bruta.



Fonte: do autor, 2019.

Observa-se que os teores de alumínio e cádmio crescem nos pontos P2 e P3, em comparação ao ponto de controle (P1) e ao ponto à jusante (P4). Nesses pontos, os quais sofrem influência direta da mineração, os valores de Al_2O_3 mais que triplicam,

enquanto que os de Cd dobram em relação aos outros pontos. Nota-se também que os teores de ferro se mantiveram praticamente constantes, enquanto que o cobre teve uma leve decaída em P2, P3 e P4 em relação ao ponto de controle.

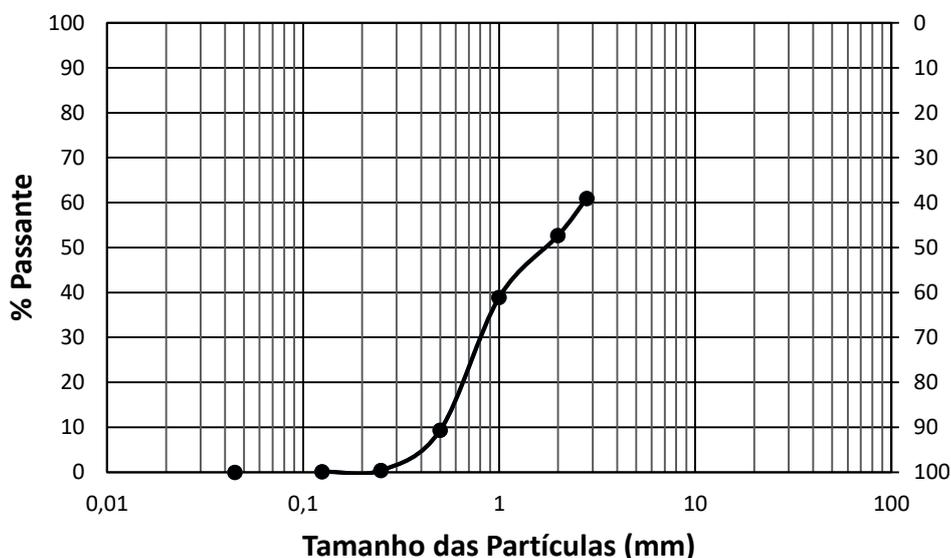
Os valores médios para todos os elementos detectados na água bruta, através da espectrometria de fluorescência de raios-x, estão mostrados nas tabelas presentes no Apêndice B.

6.3 Análise Granulométrica dos Sedimentos Fluviais

Após o ensaio de peneiramento foi possível identificar as características de tamanho das partículas dos sedimentos presentes no leito do Arroio João Dias em cada um dos quatro pontos de coleta. Nenhuma das amostras apresentou quantidade de silte e argila maiores que 5% da massa total da amostra, desta forma, não houve necessidade da realização do teste da pipeta, onde há a distinção de quantidade nestas frações.

Para uma melhor interpretação dos dados, os resultados foram expostos em gráficos de análise granulométrica com a porcentagem acumulada de grãos passante e retida no conjunto de peneiras escolhidas. Na Figura 16, tem-se o gráfico correspondente às porcentagens do ponto de controle P1, que não sofreu influência direta da mineração.

Figura 16 – Análise granulométrica do ponto P1

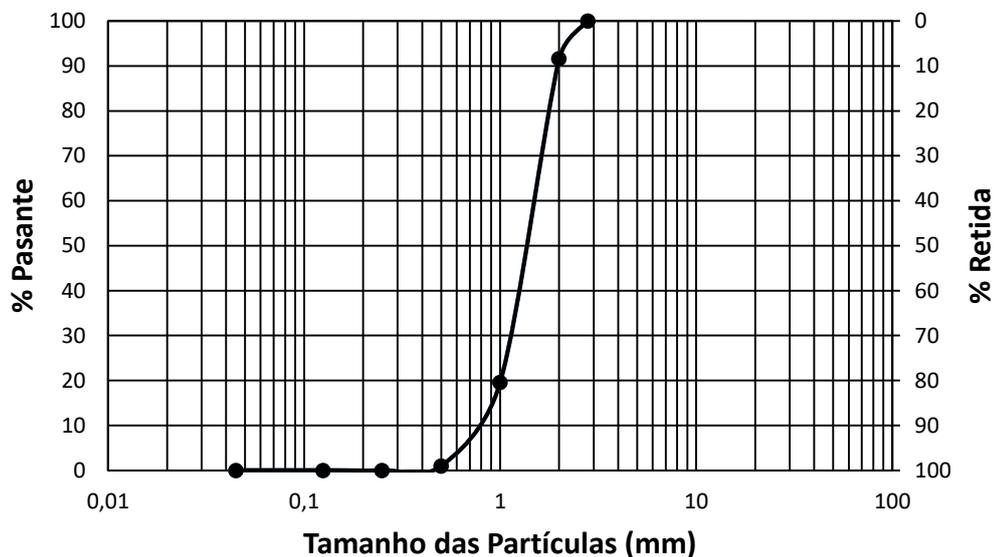


Fonte: do autor, 2019.

Observa-se que a maior parte dos sedimentos da amostra do ponto de controle apresenta grãos acima de 2,8mm de diâmetro, mostrando uma grande quantidade de cascalho, cerca de 39%. Do restante da amostra a maior parte representa as areias grossas e médias, sendo as areias finas as que apresentam menor porcentagem.

O ponto P2 é o primeiro ponto a ser influenciado pela mineração, neste ponto há a ocorrência de deposição de sedimentos trazidos pela corrente. A Figura 17 mostra que há a predominância das frações de areia grossa e média neste ponto.

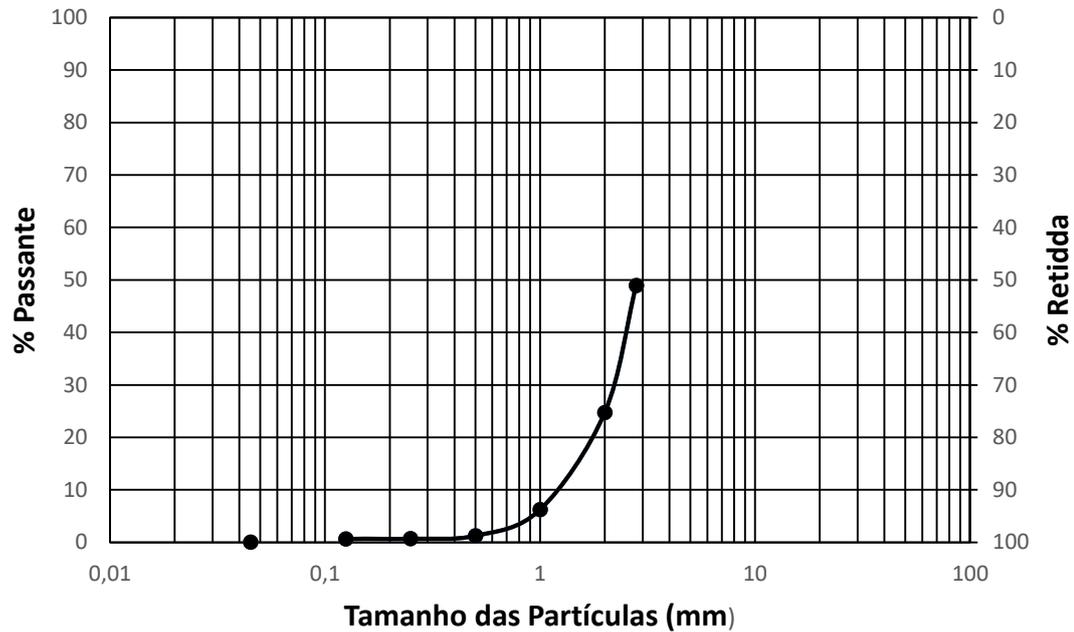
Figura 17 – Análise granulométrica do ponto P2.



Fonte: do autor, 2019.

As amostras de sedimentos do ponto P3 apresentaram grandes porcentagens na fração cascalho e areia grossa. Isso se deve ao ponto de coleta ser dentro da estrutura do vertedouro, onde as partículas de maior tamanho acabam decantando até a base e os finos, por serem mais leves e estarem em suspensão, acabam seguindo o fluxo de água, não tendo tempo de se depositar. Na Figura 18, tem-se o gráfico da análise granulométrica do ponto P3.

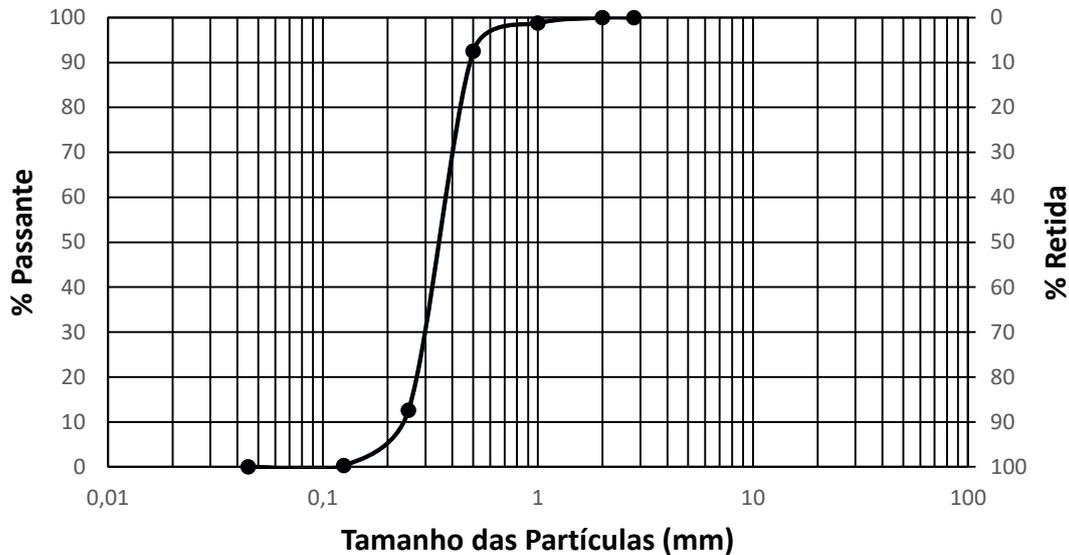
Figura 18 – Análise granulométrica do ponto P3.



Fonte: do autor, 2019.

Na região imediatamente à jusante a barragem tem-se o ponto P4 que, conforme a Figura 19, apresenta em suas amostras de sedimentos o predomínio da fração de areia média. Esse ponto, assim como o ponto P2, sofre com a deposição de sedimentos devido à erosão que ocorre no corpo hídrico, especificamente no trecho onde está a bacia de rejeitos. A diferença entre os dois pontos é que as partículas maiores de areia acabam sedimentando antes, no ponto P2, e as partículas médias de areia carregadas pela correnteza e depositadas no ponto P4.

Figura 19– Análise granulométrica do ponto P4.



Fonte: do autor, 2019.

Em 1993, estudos realizados por Laybauer (1997), quanto ao tamanho de partículas de sedimentos no Arroio João Dias foram realizados em pontos próximos aos escolhidos nesse estudo, com exceção do ponto de controle P1. Na Tabela 9 tem-se os resultados das análises em diferentes frações obtidos no passado (1993) e no presente (2019).

Tabela 9 – Comparação das porcentagens das frações nos sedimentos.

Amostras	Cascalho (1993)	Cascalho (2019)	Areia (1993)	Areia (2019)	Lama (1993)	Lama (2019)	Silte e Argila (1993)	Silte e Argila (2019)
P1	2,34	39,05	97,44	60,84	0,22	0,11	0	0
P2	0,05	0	99,81	100	0,14	0	0	0
P3	41,11	51,029	10,37	48,31	48,52	0,66	48,52	0
P4	0,64	0	99,25	99,69	0,11	0,31	0	0

Fonte: LAYBAUER, 1997.

Os pontos de controle P1, utilizados nos dois estudos estão posicionados ambos à montante da barragem de água e rejeitos com uma distância de aproximadamente 1,4 km entre si. Esses pontos não fazem parte do mesmo curso de

drenagem, mas ambos desaguam na barragem de água. Observa-se que eles apresentam maior diferença na quantidade de cascalho, maior em 2019, e que em 1993 a areia apresenta porcentagem mais elevada.

As frações dos pontos P2 e P4 mostraram grande semelhança com os valores do passado, com predominância de quase 100% de areia no leito do corpo hídrico. Já nos pontos dentro do vertedouro da barragem, P3, diferem em todas as frações. Os dados mostram que com o passar do tempo, há um aumento nas frações de cascalho e areia nos sedimentos presentes na estrutura do vertedouro, tendo uma diminuição considerável de finos, se comparados os dados do presente com os dados de 26 anos atrás. Isso pode ter relação com a possibilidade de o pontos não terem sido coletados na mesma posição, tendo em vista que na saída do vertedouro havia muita lama com material mais fino do que dentro da estrutura.

Acredita-se que, em 1993, devido às atividades de mineração ainda serem intensas, se tinha muito efluente do beneficiamento sendo lançado e carregado pelo escoamento superficial, fazendo com que no vertedouro fosse acumulado mais material com partículas de dimensões menores. Atualmente, não há mais lançamento de rejeito e efluentes provindos de beneficiamento de minério, e conseqüentemente há menos material em suspensão sendo carregado pelo escoamento, refletindo na diminuição de finos acumulados no interior da estrutura do vertedouro da barragem.

Os dados obtidos no ensaio de peneiramento com a massa e as porcentagens retida simples, retida acumulada e passante acumulada, estão expostos em tabelas no apêndice C.

6.4 Análise de Elementos nos Sedimentos

Na tabela 10, mostra-se os teores de metais que foram detectados na análise química obtida por espectrômetro de fluorescência de raios-X.

Tabela 10 – Teores de metais nos sedimentos em mg.g⁻¹.

Elementos	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3			Ponto 4		
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cu	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cu	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cu	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cu
Cascalho	-	-	-	-	-	-	33,3	22,1	-	-	-	-
Areia Grossa	29,3	17,8	0	27,2	8,65	-	41	20,8	0	-	-	-
Areia Média	29,4	10,2	0	28,3	9,15	0,143	47,4	26,3	0,14	38,8	6,49	0
Areia Fina	47,8	13,8	0	-	-	-	35	31,2	0	-	-	-

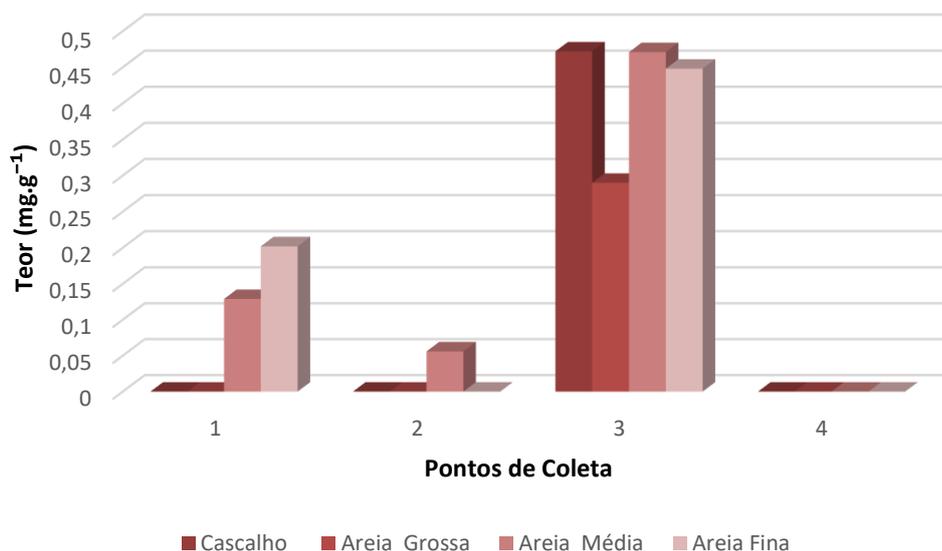
Fonte: do autor, 2019.

Analisando os teores de elementos metálicos em cada uma das frações dos sedimentos observou-se que:

- Os elementos Zinco e Cadmio não foram apontados em nenhuma das leituras feitas nas amostras de sedimentos, estando estes fora do limite de detecção, onde a concentração mínima para Zn é de 5ppm e para o Cd é de 27ppm;
- No ponto 1 os valores de alumínio crescem conforme o diâmetro da partícula diminui de tamanho e que o teor de ferro é maior na fração de areia grossa, a qual apresenta grãos maiores, ou seja, Al e Fe foi mais adsorvido em frações mais finas. O cobre não foi detectado em nenhuma das granulometrias deste ponto;
- O ponto 2 apresenta somente duas frações, areia grossa e média, onde os valores de alumínio e ferro se mantiveram parecidos em cada granulometria, sendo o cobre mais adsorvido na fração de areia média;
- O ponto 3 apresenta os teores mais elevados de alumínio e ferro em relação aos demais pontos. A adsorção do alumínio tem maior presença na areia média, enquanto que do ferro está mais presente na fração de areia fina. Assim como no ponto 2, o cobre foi detectado somente na fração de areia média;
- No ponto 4 se têm somente leitura na fração de areia média. Nota-se que há uma menor presença do elemento ferro em sua composição, quando comparado com as outras amostras de sedimentos.

Além dos metais alumínio, ferro e cobre, o manganês foi detectado nas amostras de sedimentos. Na Figura 20 tem-se o comportamento do manganês nos pontos de amostragem na Bacia do Arroio João Dias.

Figura 20 – Gráfico dos teores de manganês nos sedimentos.



Fonte: do autor, 2019.

Esse metal apresentou variações no percurso do arroio, tendo concentrações significativamente maiores no ponto P3 em comparação ao ponto de controle P1 e aos pontos à montante e à jusante da barragem, P2 e P4.

Em P1 a presença de MnO é maior na areia média e fina, enquanto que em P2 somente foi detectado na fração de areia média. Os teores presentes no ponto P3 são muito semelhantes nas frações cascalho, areia média e fina, enquanto que na fração areia grossa, a presença de MnO decai, mas, apesar disso, ainda continua relativamente maior que as demais amostras. O manganês não foi detectado em nenhuma das frações do sedimento do ponto P4.

Os valores para todos os elementos detectados nas frações cascalho, areia grossa, areia media e areia fina, através da espectrometria de fluorescência de raios-X, estão mostrados nas tabelas presentes no Apêndice D.

6.5 Matéria Orgânica dos Sedimentos Fluviais

Com o ensaio da mufla, foi possível determinar a concentração de matéria orgânica nos sedimentos no percurso do Arroio João Dias. Os dados obtidos estão expostos na Tabela 11.

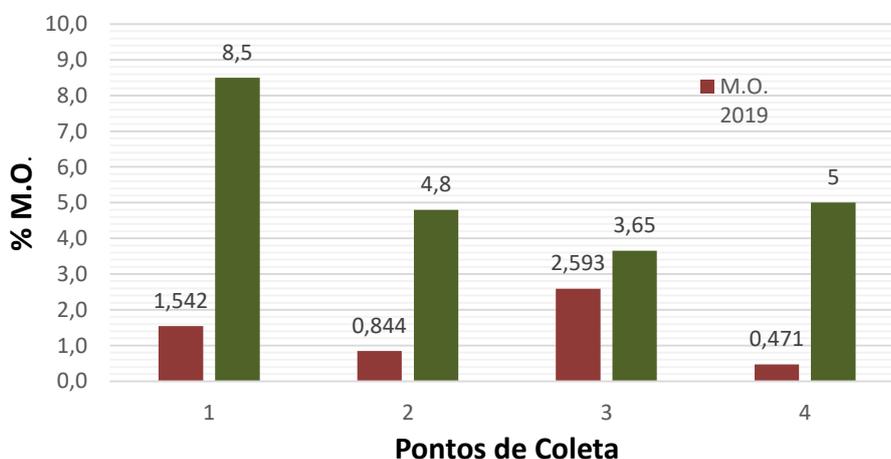
Tabela 11 – Valores do cálculo de matéria orgânica nos sedimentos.

Amostra	Massa Inicial (g)	Massa Estufa (g)	Massa Mufla (g)	M.O. (g.kg ⁻¹)	M.O. (%)
P1	5,007	4,941	4,865	15,422	1,542
P2	5,007	4,837	4,796	8,436	0,084
P3	4,993	4,925	4,797	25,93	2,593
P4	5,005	4,929	4,906	4,707	0,047

Fonte: do autor, 2019.

No gráfico da Figura 21, observa-se que há grandes variações nas porcentagens de matéria orgânica nos sedimentos do leito do arroio. Nota-se que nos pontos P2 e P4 a porcentagem de matéria orgânica é extremamente baixa em relação ao ponto de controle P1. Percebe-se que nestes pontos há uma menor distribuição granulométrica, apresentando em suas amostras quase uma totalidade de areia.

Figura 21 – Gráfico comparativo de M.O. (1993 – 2019).



Fonte: adaptado de LAYBAUER, 1997.

O ponto P3 foi o que apresentou maiores valores, demonstrando a presença de material orgânico nos sedimentos do vertedouro mais elevados do que P1. De forma geral, os resultados mostram que os sedimentos do corpo hídrico apresentam baixa taxa de matéria orgânica, caracterizando-os como praticamente inorgânicos.

Em relação aos dados levantados em 1993 por Laybauer (1997), os resultados corroboram com a baixa concentração de M.O. no curso hídrico. Porém houve uma diminuição significativa com o passar dos anos quando se compara os valores do ponto P2 e P4 com os dados de 1993. Já no ponto P3 os dados mostram diminuição de cerca de 1% na presença de matéria orgânica nos sedimentos em relação à época em que a mina estava ativa.

Segundo Froehner & Martins (2008), as maiores fontes de matéria orgânica em sedimentos fluviais são provenientes de plantas terrestres e aquáticas. No trecho do Arroio João Dias, em que houve influência da mineração, há um grande processo erosivo, onde se tem a deposição de sedimentos fluviais, o que faz com que esse ambiente seja pobre em nutrientes devido à erosão, tornando as margens do arroio com baixa ou nenhuma quantidade de mata ciliar.

De acordo com Laybauer (1997), a matéria orgânica é um suporte geoquímico importante das frações disponíveis de metais nos sedimentos, onde a retenção dos metais pesados na interface sedimento-água, estando fortemente relacionado aos diferentes teores de M.O. e substância húmicas existentes no substrato sedimentar. Essa informação corrobora com o fato dos teores de metais como Zn e Cd não terem sido detectados em nenhuma das frações dos sedimentos, assim como a baixa taxa de detecção de cobre.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente estudo, foi possível realizar um diagnóstico ambiental do Arroio João Dias, em Minas do Camaquã, através de análises geoquímicas. Por meio dessas análises específicas, levantou-se dados importantes em relação à água e os sedimentos fluviais deste recurso hídrico, os quais, caracterizam as condições ambientais em que mesmo se encontra.

Os resultados das análises mostraram um grande contraste entre os pontos de coleta de amostras no corpo hídrico. De forma geral a água do arroio apresenta características de neutralidade, baixa alcalinidade e dureza, e além disso, turbidez dentro dos padrões para ambientes naturais. Quando se fala na água bruta, observou-se que os valores de condutividade elétrica, alcalinidade total e dureza total decaem muito nos pontos mais afetados pela mineração.

A granulometria dos sedimentos também se mostrou, de certa forma, diferente em cada ponto de amostragem, tendo destaque na baixa variação de tamanho de grãos nos pontos P2 e P4, que fazem parte de uma região à jusante a barragem de água e de rejeitos, onde há uma grande deposição de sedimentos gerados através da erosão do arroio. Já a matéria orgânica presente nos sedimentos mostrou-se muito baixa, caracterizando o material quase como inorgânico em alguns dos pontos. Quando comparado com dados levantados no passado, nota-se que as granulometrias não variaram muito, porém a matéria orgânica decaiu significativamente com o passar dos anos.

Quanto à composição elementar da água e dos sedimentos, nota-se a grande presença dos óxidos dos metais alumínio e ferro em ambas amostras, elementos dos quais historicamente já apresentavam grandes concentrações em relação aos outros. O cobre, metal que era extraído na mina, foi detectado em todas as amostras de água bruta, embora tenha aparecido muito pouco nos sedimentos, mostrando que a concentração de cobre adsorvido no leito do arroio é muito baixa. Além disso, há um destaque para o elemento cádmio, que teve comportamento parecido com o do alumínio na água, e também ao magnésio que teve um pico muito grande nas amostras de sedimentos do vertedouro da barragem.

Conclui-se, com o presente trabalho, que há uma grande diferença entre as condições ambientais do Arroio João Dias no presente e as do passado, quando a mina de cobre ainda estava ativa. Sugere-se para estudos posteriores a realização de

amostragens periódicas durante um ano para que se abranja todas as estações. Também é necessário que se faça a análise quantitativa dos metais traço da água do Arroio João Dias, utilizando equipamentos e metodologias mais sensíveis, como por exemplo, espectrofotometria de absorção atômica.

Por fim, esse estudo serve como incentivo para que se realizem mais pesquisas voltadas aos impactos ambientais causados pelas atividades mineiras feitas de forma ambientalmente incorreta, objetivando a geração de conhecimento e viabilização do desenvolvimento sustentável na sociedade atual e futura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Adriana Trópia de et al. **Avaliação em laboratório do uso de sistemas de coberturas alcalinas para prevenção da drenagem ácida de mina.** 2012.
- AMORIM, Fábio Alan Carqueija et al. **Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares.** 2008.
- ARAÚJO, Acácio José Silva. **Metodologia para Caracterização Geoquímica de Meteoritos de Ferro Utilizando a Fluorescência de Raios-X Portátil.** 2018. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 77p.
- ASFORA, V. K. **Fluorescência de Raios X por dispersão de energia aplicada à caracterização de tijolos de sítios históricos de Pernambuco.** 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado), Recife: Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco.
- BAKER, A. J. M.; BROOKS, RR1989. **Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry.** Biorecovery., v. 1, n. 2, p. 81-126, 1989.
- BARBOSA, THAÍS BAÊTA COSTA. **Avaliação da qualidade das águas Superficiais da sub-bacia do rio Paracatu em função do uso e Ocupação do solo.** 2015. 156 f. 2015. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BAZAES CASANOVA, Aliosha Andro W. **Comparación de corrección teórica de efecto matriz, análisis de interferencias y corrección por compensación para equipos portátiles de fluorescencia de rayos x en minerales y suelos.** 2013.
- BETTENCOURT, J. S. **A mina de cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul.** São Paulo: Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 1972. 175 p. (Tese de Doutorado).
- BLAETH, Pricila Lidiane. **Oxidação da calcopirita (CuFe S'IND.2') por Acidithiobacillus ferrooxidans em presença de cisteína e de Acidithiobacillus thiooxidans.** 2008. 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química. 2008.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental 2ª.** Reimpressão. São Paulo. Ed Prentice Hall. 305p, 2002.
- BRASIL, Portaria No. 518/2004, do Ministério da Saúde. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigência de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União, Brasília, v. 13.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 jan. 1990. p. 1651- 1654.

BLOWES, D. W. et al. **The geochemistry of acid mine drainage**. Treatise on geochemistry, v. 9, p. 612, 2003.

BORGES, Daniel L. Gallindo et al. **Fundamentos da espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua**. Revista Analytica, v. 18, n. 18, p. 58-67, 2005.

BORMA, L. S. **A drenagem ácida de minas e o uso de barreiras capilares na interface depósito de resíduos-atmosfera**. Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Tocantins, 2006.

CANARIM, D. M. **Datação 40K-40Ar de Ilitas associadas a processos hidrotermais em regiões mineralizadas—uma aplicação nas Minas do Camaquã (Bacia do Camaquã, sul do Brasil)**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2013.

CARVALHO, N. de O. et al. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Aneel, 2000.

CONAMA, Resolução. 344, de 25 de março de 2004. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**, v. 344, 2004.

CONAMA, Resolução. 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**, v. 357, 2005.

CONTE, Manoela. **Complexo Turístico Minas do Camaquã**. 2016. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

COTTA, Jussara Aparecida Oliveira et al. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-PETAR, São Paulo, Brasil**. Química nova, v. 29, n. 1, p. 40, 2006.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2009. **Mapa Geodiversidade do Rio Grande do Sul**. SGMATM, CPRM, Brasília.

DE JESUS, Honório Coutinho et al. **Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória - ES**. Química Nova, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

DE MARCHI, Tiago Closs; JARENKOW, João André. **Estrutura do componente arbóreo de mata ribeirinha no rio Camaquã, município de Cristal, Rio Grande do Sul, Brasil**. Iheringia. Série Botânica. v. 63, n. 2, p. 241-248, 2008.

DE SOUZA, Juliana Rosa et al. **A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil**. REDE-Revista Eletrônica do Prodepa, v. 8, n. 01, 2014.

DOMINGUES, Antônio Félix; BOSON, Patrícia Helena Gambogi; ALÍPAZ, Suzana. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Brasília: ANA/IBRAM, 2006.

DORSEY, Alfred; INGERMAN, Lisa. **Toxicological profile for copper**. 2004.

DUARTE, Anderson Pires. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 2008.

EVANGELOU, V. P. Pyrite oxidation and its control: solution chemistry, surface chemistry, acid mine drainage (AMD), molecular oxidation mechanisms, microbial role, kinetics, control, ameliorates and limitations, microencapsulation. In: **Pyrite oxidation and its control: solution chemistry, surface chemistry, acid mine drainage (AMD), molecular oxidation mechanisms, microbial role, kinetics, control, ameliorates and limitations, microencapsulation**. CRC, 1995.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório do CGEE/PNUD, v. 76, p. 2, 2002.

FERREIRA, Patrick Luiz de Castro Rocha. **Impactos ambientais e a Possibilidade de Implantação do Sistema de Gestão Ambiental (NBR ISO 14001:2004) em uma Mineração de Agregados**. 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

FERREIRA, Raquel Jussara Sá. **Determinação de Metais Traço em Sedimentos de Rios: Caso da Bacia do Baixo Itajaí-Açu**. 2001. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FERRETTI, Marco; TIRELLO, Regina Andrade. **Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais**. Revista CPC, n. 7, p. 74-98, 2009.

FLECK, Angela Cristina Bertoi. **Estudo e caracterização para o reaproveitamento do rejeito remanescente na mineração de cobre das Minas do Camaquã, Caçapava do Sul - RS**. 2013. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Mineração, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2013

FROEHNER, Sandro; MARTINS, Raquel Fernandes. **Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba**. Química Nova, v. 31, n. 8, p. 2020-2026, 2008.

FÖRSTNER, Ulrich; WITTMANN, Gottfried TW. **Metal pollution in the aquatic environment**. Springer Science & Business Media, 2012.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. São Paulo: Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 105p, 2004.

GUILHERME, L.R.G. et al. **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos**. Tópicos em Ciências do Solo, v. 4, p. 345-390, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. 2002. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>>. Acesso em: 26 maio 2019.

JENKINS, Ron. **Quantitative X-ray spectrometry**. CRC Press, 1995.

SENRA, João Bosco. **Água Para Todos: Avaliação Qualitativa do Processo de Implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. 2014. 324 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

KABATA-PENDIAS, Alina. **Trace elements in soils and plants**. CRC press, 2000.

KRUG, Francisco José; NÓBREGA, Joaquim Araújo; OLIVEIRA, Pedro Vitoriano de. **Espectrometria de Absorção Atômica: Parte 1: Fundamentos e Atomização com Chama**. 2004. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2019.

LAYBAUER, L. **Análise das transferências de metais pesados em águas e sedimentos fluviais na região das minas do Camaquã, RS**. Porto Alegre. 164p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

LAYBAUER, L.; BIDONE, E. D. **Partição de Metais Pesados em Águas Superficiais Impactadas por Mineração – Minas do Camaquã, RS**. Geochimica Brasiliensis, v. 12, n. 1, 2011.

LAYBAUER, LUCIANO. **Influência da Mineração no Incremento e na Disponibilidade Geoquímica de Cobre em Sedimentos Fluviais - O Caso das Minas do Camaquã, RS, Brasil**. Pesquisas em Geociências, v. 23, n. 1-2, p. 51-61, 1996.

LIBANIO, M. Características das Águas Naturais. In: LIBANIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água**. 3.ed. Campinas: Ed. Átomo. 2010. Cap.2. p.25-78.

LIMA, Enjôlras de Albuquerque Medeiros. **Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco**. 2008.

LIMA, Verônica Ferreira; MERÇON, Fábio. **Metais pesados no ensino de química**. Química nova na escola, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

MANCUSO, Malva Andrea et al. **Determinação das propriedades químicas de águas e sedimentos em área agrícola utilizando espectrometria de fluorescência de raios X por energia dispersiva**. Geologia USP. Série Científica, v. 16, n. 1, p. 85-100, 2016.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4ª ed. Brasília: Funasa; 2013. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

MECHI, Andréa; SANCHES, Djalma Luiz. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. Estudos avançados, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MORENO, J.A. **Clima do Rio grande do Sul - Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236>>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

MOREIRA, FM de S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. UFLa, 2006.

NOGUEIRA, Jader Escobar. **Mineiros e Engenheiros: Memória, Identidade e Trabalho nas Minas do Camaquã entre 1970 e 1996**. 2012. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.

PAULA, Bruno Martins Dala. **Metais Traço e Aminas Bioativas em Alface Proveniente da Agricultura Urbana**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Farmácia, Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora–MG: metais pesados e atividades antropogênicas. 2010. 198p.** 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. In: **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Edgard Blucher, 2003.

ROCHA, César Henrique Barra; DE AZEVEDO, Leonardo Pimenta. **Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil**. Revista Espinhaço| UFVJM, p. 33-44, 2017.

ROCHA, R. A.; AFONSO, J. C. **Manganês**. Quím Nova Esc, v. 34, n. 2, p. 103-105, 2012.

SALOMONS, W. **Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention.** Journal of Geochemical exploration, v. 52, n. 1-2, p. 5-23, 1995.

SANTOLIN, Camila Vidal Alves. **Quantificação e Avaliação Ambiental da Contaminação por Metais e Arsênio em Sedimentos da Bacia do Rio Doce - MG.** 2015. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SARGENTELLI, Vagner; MAURO, Antônio Eduardo; MASSABNI, Antônio Carlos. **Aspectos do metabolismo do cobre no homem.** Química Nova, v. 19, n. 3, p. 290-293, 1996.

SILVA, Amanda Garcia da. **Estudo da ocorrência de arsênio, cobre, chumbo e zinco em drenagens na área da mina Cerro Rico em Lavras do Sul – RS - Brasil.** 2017. 87 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral) Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

SILVA, João Paulo Souza. **Impactos ambientais causados por mineração.** Revista espaço da Sophia, v. 8, n. 1, 2007.

SILVA, Rogério Marques. **Espaço e Tempo nas Minas do Camaquã em Caçapava do Sul/RS.** 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SILVA, Rogério Marques. **Análise das Relações Sociais e Espaciais nas Minas do Camaquã, em Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul.** Revista Percurso, v. 9, n. 2, p. 155-175, 2017.

SCHIMIDT, Fernando et al. **Aplicação de alguns modelos quimiométricos à espectroscopia de fluorescência de raios-x de energia dispersiva.** Química Nova, 2002.

SOARES, Lindolfo. **Barragem de Rejeitos.** In: Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap. 19, p. 829-896.

SOUZA, Cláudio Marcelo Bernardes de. **Modelagem e Simulação de Drenagem Ácida de Mina em Colunas.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

TEIXEIRA, E. 1992. **Lavras do Sul e Caçapava do Sul na bateia do tempo.** Lavras do Sul, 1992.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo.** 3ª edição revista e atualizada. Brasília, DF: EMBRAPA. 573p, 2017.

TRINDADE, Wallace Magalhães; HORN, Adolf Heinrich; RIBEIRO, Elizêne Veloso. **Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental.** Revista Geonomos, v. 20, n. 1, 2012.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999. p. 753-761.

Trindade W. M. 2010. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: fatores naturais e antrópicos.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 111p.

Vogel, A.I. in: S.H. Jeffery, J. Bassett, J. Mendham, R.E. Denney (Eds.) **Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis.** 5th ed. Longman, UK; 1989. p. 696–698.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, 1996.

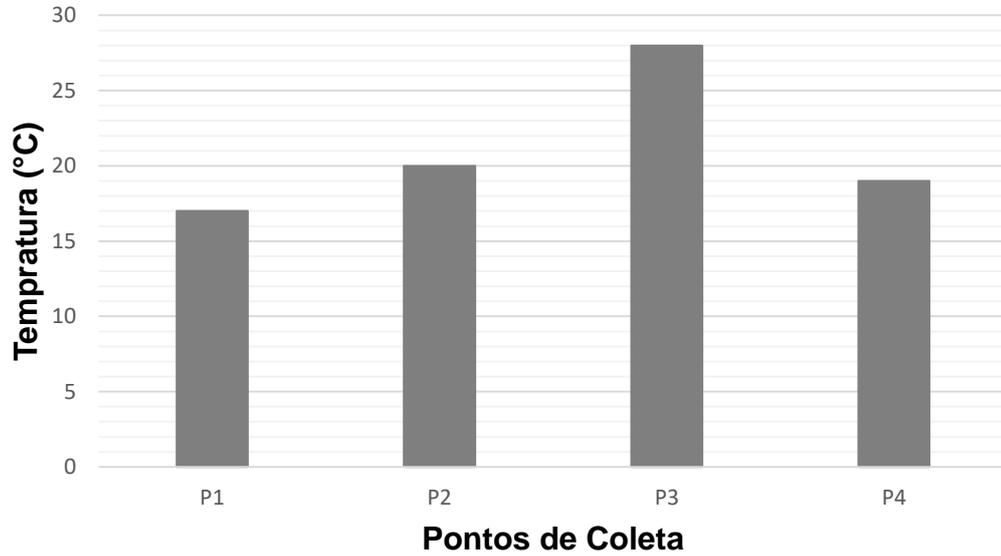
SKOOG, D.A.; WEST, D.M.; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R. **Fundamentos de Química Analítica.** 8. ed. (Grassi, M.T., tradutor e Célio Pasquini, revisão), São Paulo: Pioneira - Thomson Learning, 2006.

WINTER, S.K; LIMA, D.A. **Espaços e Identidades Culturais: o caso das Minas do Camaquã - Caçapava do Sul – RS.** 9º Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevideu, 2003.

WREGGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

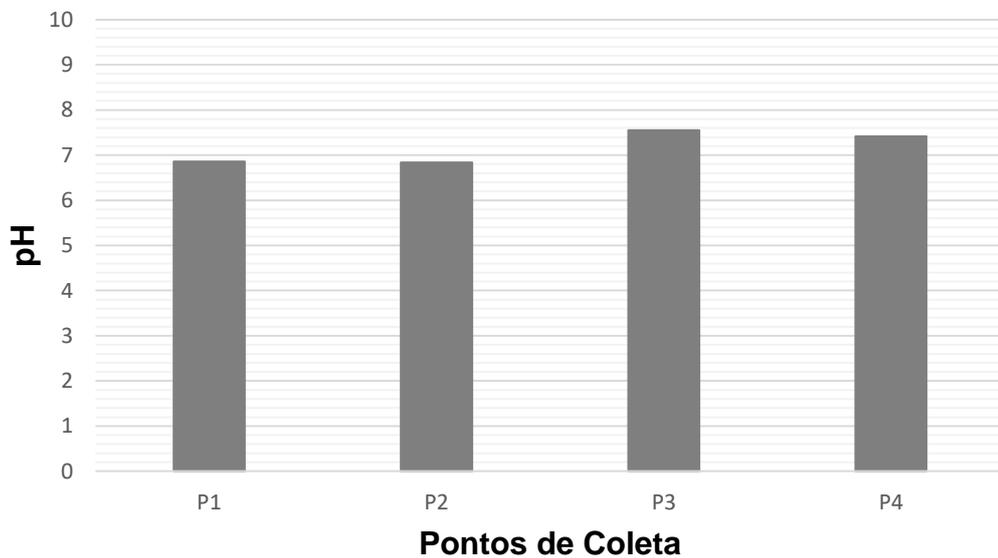
APÊNDICE A – GRÁFICOS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA BRUTA.

Figura – Comportamento da temperatura da água bruta.



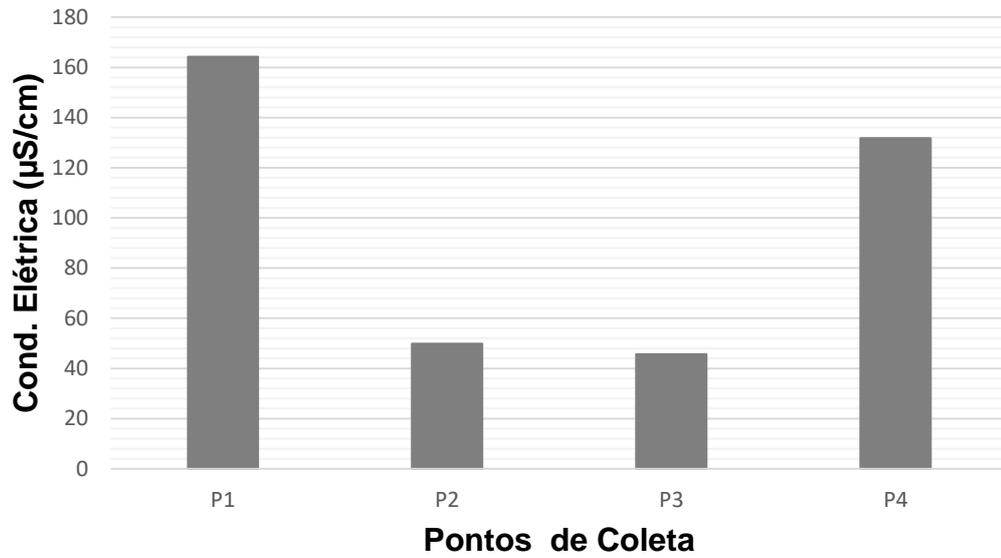
Fonte: do autor, 2019.

Figura – Comportamento do pH da água bruta.



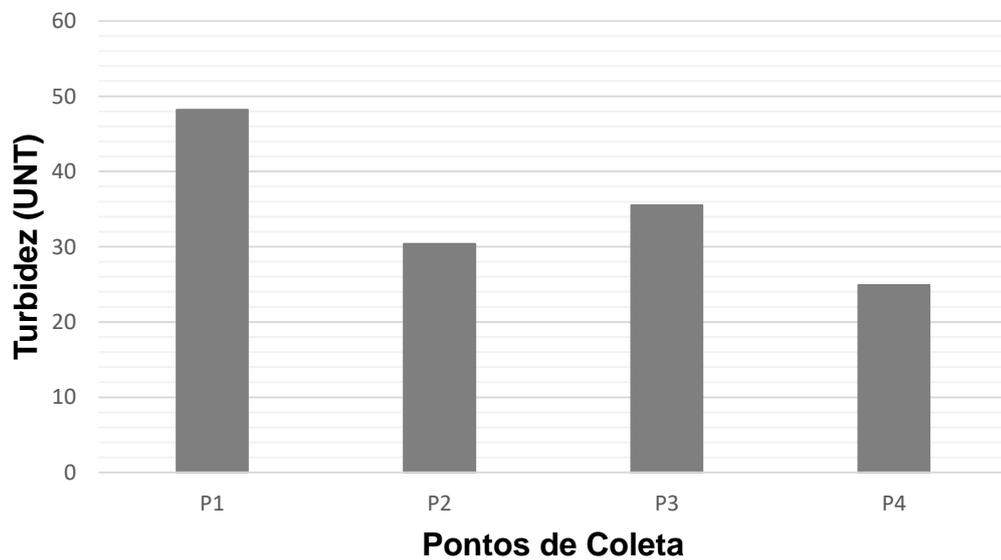
Fonte: do autor, 2019.

Figura – Comportamento da condutividade elétrica da água bruta.



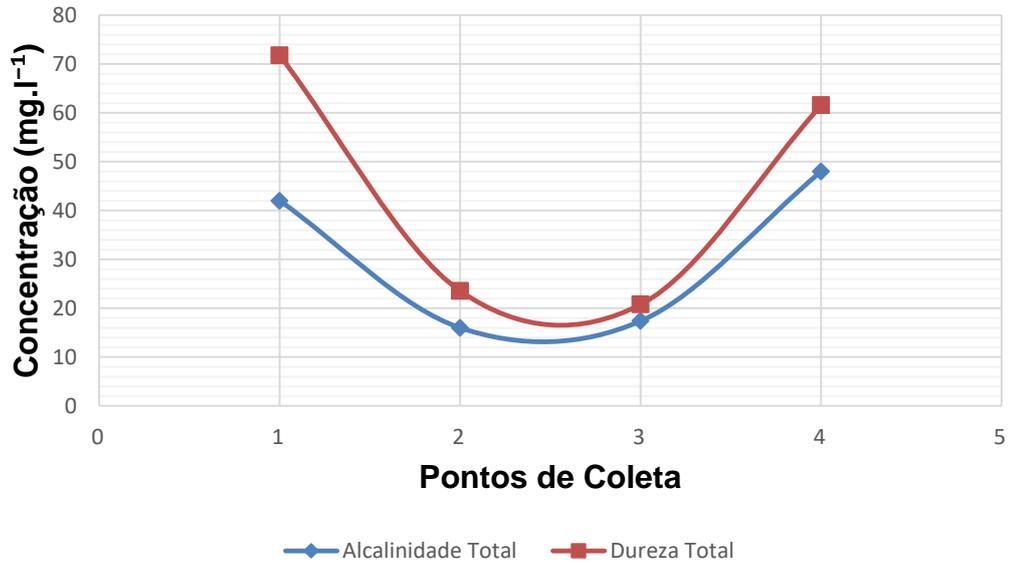
Fonte: do autor, 2019.

Figura – Comportamento da turbidez da água bruta.



Fonte: do autor, 2019.

Figura – Comportamento da alcalinidade total e dureza total na água bruta.



Fonte: do autor, 2019.

APÊNDICE B – VALORES DA ANÁLISE ELEMENTAR NA AGUA BRUTA

Tabela – Teores médios dos elementos na água bruta do ponto P1.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em µg/l
MgO	98433,33	98,43
Al ₂ O ₃	2313,33	2,313
SiO ₂	4696,67	4,697
Cl	594,00	0,594
K ₂ O	1170,00	1,170
Fe ₂ O ₃	137,33	0,137
Cu	42,00	0,042
Y	61,67	0,062
Rh	16333,33	16,33
Cd	1916,67	1,92

Fonte: do autor, 2019.

Tabela – Teores médios dos elementos na água bruta do ponto P2.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em µg/l
MgO	106725	106,72
Al ₂ O ₃	7932,50	7,93
SiO ₂	3570	3,57
Cl	594	0,594
K ₂ O	1184,25	1,18
Fe ₂ O ₃	130,75	0,131
Cu	36,25	0,036
Zr	94,50	0,094
Rh	16250	16,25
Cd	7437,5	7,44

Fonte: do autor, 2019.

Tabela – Teores médios dos elementos na água bruta do ponto P3.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em µg/l
MgO	91166,67	91,12
Al ₂ O ₃	4933,33	4,93
SiO ₂	3756,67	3,76
Cl	582,67	0,583
K ₂ O	1220	1,22
Fe ₂ O ₃	144,67	0,145
Cu	29,67	0,030
Rb	42,67	0,043
Y	110,33	0,110
Rh	16233,33	16,23
Cd	3983,33	3,98

Fonte: do autor, 2019.

Tabela – Teores médios dos elementos na água bruta do ponto P4.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em µg/l
MgO	94466,67	94,47
Al ₂ O ₃	4880	4,88
SiO ₂	3403,33	3,40
Cl	452,33	0,452
K ₂ O	1226,67	1,23
Fe ₂ O ₃	131,67	0,131
Cu	32,67	0,033
Sr	73,67	0,074
Y	71,67	0,072
Rh	16000	16,00

Fonte: do autor, 2019.

APENDICE C – DADOS ENSAIO DE PENEIRAMENTO

Tabela – Dados obtidos para o ponto P1 através do ensaio de peneiramento.

Tyler	Abertura (mm)	Amostra (g)	% Retida Simples	% Retida Acum.	% Passante Acum.
7#	2,8	1122,8	39,05	39,05	60,95
9#	2	238,1	8,28	47,33	52,67
16#	1	396,5	13,79	61,12	38,88
32#	0,5	850,1	29,56	90,68	9,32
60#	0,25	256,3	8,91	99,60	0,40
115#	0,125	8,6	0,30	99,90	0,10
325#	0,045	2,8	0,10	99,99	0,01
F	0	0,2	0,01	100,00	0,00

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Dados obtidos para o ponto P2 através do ensaio de peneiramento.

Tyler	Abertura (mm)	Amostra (g)	% Retida Simples	% Retida Acum.	% Passante Acum.
7#	2,8	0	0,00	0,00	100,00
9#	2	118,9	8,39	8,39	91,61
16#	1	1021	72,05	80,44	19,56
32#	0,5	263,5	18,59	99,03	0,97
60#	0,25	13,70	0,97	100,00	0,00
115#	0,125	0,00	0,00	100,00	0,00
325#	0,045	0,00	0,00	100,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Dados obtidos para o ponto P3 através do ensaio de peneiramento.

Tyler	Abertura (mm)	Amostra (g)	% Retida Simples	% Retida Acum.	% Passante Acum.
7#	2,8	1128,3	51,029	51,03	48,97
9#	2	535,7	24,23	75,26	24,74
16#	1	409,2	18,51	93,76	6,24
32#	0,5	110,0	4,97	98,74	1,26
60#	0,25	12,40	0,56	99,30	0,70
115#	0,125	0,90	0,04	99,34	0,66
325#	0,045	14,3	0,65	99,99	0,01
F	0,00	0,30	0,01	100,00	0,00

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Dados obtidos para o ponto P4 através do ensaio de peneiramento.

Tyler	Abertura (mm)	Amostra (g)	% Retida Simples	% Retida Acum.	% Passante Acum.
7#	2,8	0	0,00	0,00	100,00
9#	2	0	0,00	0,00	100,00
16#	1	15,5	1,25	1,25	98,75
32#	0,5	77,2	6,22	7,47	92,53
60#	0,25	992,4	79,92	87,39	12,61
115#	0,125	152,7	12,30	99,69	0,31
325#	0,045	3,9	0,31	100,00	0,00
F	0	0	0,00	100,00	0,00

Fonte: do autor, 2019.

APÊNDICE D – VALORES DE ELEMENTOS NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS

Tabela – Elementos ponto P1 fração areia grossa.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	75200	75,20
Al ₂ O ₃	29300	29,30
SiO ₂	154000	154,00
S	445	0,445
Cl	1080	1,08
K ₂ O	3560	3,56
CaO	1920	1,92
TiO ₂	633	0,633
Fe ₂ O ₃	17800	17,8
Rh	2570	2,57
Ce	1720	1,72

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P1 fração areia média.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	55800	55,80
Al ₂ O ₃	29400	29,40
SiO ₂	170000	170,00
Cl	1120	1,12
K ₂ O	8180	8,18
CaO	243	0,243
TiO ₂	622	0,622
MnO	129	0,129
Fe ₂ O ₃	10200	10,20
Rh	2730	2,73

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P1 fração areia fina.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	47900	47,90
Al ₂ O ₃	47800	47,80
SiO ₂	248000	248,00
S	470	0,47
Cl	992	0,992
K ₂ O	11100	11,10
CaO	857	0,857
TiO ₂	1390	1,39
MnO	202	0,202
Fe ₂ O ₃	13800	13,80
Rh	2420	2,42

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P2 fração areia grossa.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	86400	86,40
Al ₂ O ₃	27200	27,20
SiO ₂	151000	151,00
S	618	0,618
Cl	1070	1,07
K ₂ O	6970	6,97
Fe ₂ O ₃	8650	8,65
Rh	2370	2,37

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P2 fração areia media.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	69400	69,40
Al ₂ O ₃	28300	28,30
SiO ₂	170000	170,00
S	656	0,656
Cl	1120	1,12
K ₂ O	6270	6,27
TiO ₂	265	0,265
MnO	56	0,056
Fe ₂ O ₃	9150	9,15
Cu	143	0,143
Rh	2360	2,36

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P3 fração cascalho.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	64900	64,90
Al ₂ O ₃	33300	33,30
SiO ₂	112000	112,00
Cl	1090	1,09
K ₂ O	8900	8,90
CaO	1750	1,75
TiO ₂	2640	2,64
MnO	472	0,472
Fe ₂ O ₃	22100	22,10
Rh	1940	1,94
Ce	1190	1,19

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P3 fração areia grossa.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	64000	64,00
Al ₂ O ₃	41000	41,00
SiO ₂	153000	153,00
Cl	1140	1,14
K ₂ O	8480	8,48
CaO	1560	1,56
TiO ₂	2000	2,00
MnO	290	0,29
Fe ₂ O ₃	20800	20,8
Mo	73	0,073
Rh	2180	2,18
Ce	815	0,815

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P3 fração areia média.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	63800	63,80
Al ₂ O ₃	47400	47,40
SiO ₂	152000	152,00
S	412	0,412
Cl	1030	1,03
K ₂ O	13400	13,40
CaO	1320	1,32
TiO ₂	2430	2,43
MnO	471	0,471
Fe ₂ O ₃	26300	26,30
Cu	140	0,14
Rh	2280	2,28
Ce	842	0,842

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P3 fração areia fina.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	70600	70,60
Al ₂ O ₃	35000	35,00
SiO ₂	135000	135,00
Cl	1040	1,04
K ₂ O	8620	8,62
CaO	2380	2,38
TiO ₂	2220	2,22
MnO	448	0,448
Fe ₂ O ₃	31200	31,20
Mo	38	0,038
Rh	1690	1,69
Ce	1520	1,52

Fonte: do autor, 2019.

Tabela - Elementos ponto P4 fração areia média.

Elemento	Concentração em PPM	Concentração em mg/g
MgO	64600	64,60
Al ₂ O ₃	38800	38,80
SiO ₂	267000	267,00
S	418	0,418
Cl	1050	1,05
K ₂ O	9230	9,23
Fe ₂ O ₃	6490	6,49
Co	249	0,249
Rh	2290	2,29
Ce	841	0,841

Fonte: do autor, 2019.