

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**RAFAEL CESAR DE OLIVEIRA CYRNE
RENATA ALVARENGA SALES**

**PROJETO CONCEITUAL DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO
DA ÁGUA DO RIO PARAPEBA NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO -
MG**

**VOLTA REDONDA
2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PROJETO CONCEITUAL DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO
DA ÁGUA DO RIO PARAPEBA NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO -
MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Alunos:

Rafael Cesar de Oliveira Cyrne

Renata Alvarenga Sales

Orientador:

Prof. Me. Marcus Vinicius Faria de Araujo

Coorientadora:

Eng. Marina Jardim Faria de Araujo

**VOLTA REDONDA
2019**



Fundação Oswaldo Aranha



Anexo 10 FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: **Engenharia Ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

“Projeto Conceitual de Tratamento para Recuperação de Água do Rio Paraopeba no Município de Brumadinho - MG”

Elaborado por:

Acadêmico (s)	Matrícula (s)
Rafael Cesar de Oliveira Cyrne	201610537
Renata Alvarenga Sales	201510059

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 05 de novembro de 2019

Banca Examinadora:

Professor Orientador
Marcus Vinícius de Faria Araújo, Mestre (UniFOA)

Professor Avaliador
André Fernão Martins de Andrade, Doutor

Professor Avaliador
Francisco Jacome Gurgel Junior, Doutor (UniFOA)

Dedicamos este trabalho a todos os moradores do município de Brumadinho e à memória de todos os trabalhadores que perderam suas vidas no maior acidente de trabalho já registrado no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, porque sem Ele nada disso seria possível. Aos nossos pais, que sempre nos incentivaram e acreditaram em nossos sonhos. Ao nosso orientador Marcus Vinicius Faria de Araújo, que além de nos proporcionar o tema, acreditou em nós e em nossa capacidade.

Agradecemos, de igual forma, a nossa amiga e coorientadora Engenheira Marina Jardim Faria de Araujo, por ser uma fonte de inspiração para nós e por todo o apoio que proporcionou para a execução deste trabalho. À Professora Joice Andrade de Araujo, pela forma generosa que sempre nos incentivou, e sua forma exigente que facilitou a realização deste sonho.

Nossos sinceros agradecimentos à professora Ana Claudia de Almeida Cardinot, ao responsável técnico pelo laboratório de química do Centro Universitário de Volta Redonda Charles e ao Técnico de laboratório Genessi pela atenção e proatividade em nos auxiliar nos processos de análises laboratoriais.

Não poderíamos deixar de agradecer ao sr. Wilson, que nos hospedou na pacata cidade de Brumadinho e a todos os moradores que, de alguma forma, apoiaram para chegarmos até aqui.

Finalmente, aos colegas do curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário de Volta Redonda, pela amizade e companheirismo.

RESUMO

O rompimento da barragem de Brumadinho, em 25 de janeiro de 2019, resultou em um dos maiores desastres com rejeitos de mineração no Brasil. Tais rejeitos provenientes da mina Córrego do Feijão, da Vale, verteram sob o Rio Paraopeba, que abastece uma mancha urbana de cerca de dois milhões de pessoas. Metais presentes no material da barragem rompida, como Ferro, Manganês, Alumínio, Níquel e Chumbo, podem prejudicar os usos preponderantes a partir da contaminação da água. Considerando os impactos hídricos de uma possível descaracterização química de tal curso d'água, torna-se fundamental estudar processos de recuperação da água do Rio Paraopeba utilizando um meio ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável. Nesse sentido, este trabalho visa elaborar um projeto conceitual de um sistema de tratamento de água de forma a contribuir com o restabelecimento dos usos preponderantes deste corpo hídrico, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Ensaios de tratabilidade com filtro de carvão ativado, resina catiônica e zeólita foram realizados com amostras de água bruta do rio em três taxas diferentes: 5, 10 e 15 m³/m².h e os resultados mostraram remoção de 100% do alumínio dissolvido nas três taxas, 100% do ferro dissolvido nas três taxas, 100% do manganês total na taxa de 15 m³/m².h e de 100% do níquel total na taxa de 15 m³/m².h.. Mediante tais análises, foi possível concluir uma melhor eficiência na taxa de 15 m³/m².h cuja remoção dos metais pesados foi completa, ou seja, 100% dos metais foram extraídos da água do rio.

Palavras-Chave: rompimento de barragem; rejeitos; tratamento de água; mina Córrego do Feijão.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Estratégia da Pesquisa	15
1.4	Estrutura do Trabalho	16
1.5	Objetivo Geral	16
1.6	Objetivos Específicos	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Panorama da Mineração no Brasil	18
2.2	Panorama da Mineração no Estado de Minas Gerais	19
2.3	Panorama do Uso de Recursos Hídricos	21
2.4	Legislação Aplicada a Qualidade das Águas	22
2.5	Gerenciamento de Resíduos na Indústria de Mineração	24
2.6	Aspectos Toxicológicos da Água	27
2.7	Tipos de Tratamento	28
2.7.1	Tratamento Preliminar	28
2.7.2	Tratamento Primário	29
2.7.3	Tratamento Secundário	29
2.7.4	Tratamento Terciário	29
3.	METODOLOGIA	30
3.1	A Área de Estudo: Bacia do Rio Paraopeba	30
3.1.1	Classificação do Rio Paraopeba	32
3.1.2	O rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão em Brumadinho/MG	33
3.2	Coleta de Amostras	34
3.3	Os Aspectos Toxicológicos Analisados	36
3.4	Determinação de Alumínio Dissolvido	37
3.5	Determinação de Ferro Dissolvido	38
3.6	Determinação de Manganês Total	38
3.7	Determinação de Chumbo Total	39
3.8	Determinação de Níquel Total	40
3.9	Determinação da Turbidez	40
3.10	Ensaio de Tratabilidade	41
3.10.1	Preparação dos filtros	41

3.10.2	Filtração	42
3.10.3	Cálculos	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Caracterização da água do Rio Paraopeba	44
4.2	Análise das Taxas de Filtração	44
4.2.1	Taxa de Filtração de 5 m ³ /m ² .h	45
4.2.2	Taxa de Filtração de 10 m ³ /m ² .h	45
4.2.3	Taxa de Filtração de 15 m ³ /m ² .h	46
4.3	Comparação das Taxas	47
4.4	Remoção de Metais.....	47
4.4.1	Remoção de Alumínio Dissolvido	48
4.4.2	Remoção de Ferro Dissolvido	49
4.4.3	Remoção de Manganês Total.....	50
4.4.4	Remoção de Níquel Total	51
4.4.5	Remoção de Chumbo Total.....	52
4.5	Remoção da Turbidez	53
4.6	Fluxograma do Processo.....	54
5.	CONCLUSÃO	55
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	APÊNDICES	62
	Apêndice 1 – Registros Fotográficos.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das águas de acordo com o uso preponderante.	23
Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos.....	24
Quadro 3 - Resumo dos principais métodos construtivos de barragens.....	25
Quadro 4 - Relação de parâmetros e indicadores de poluição considerados para análise e seus aspectos toxicológicos.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química da água do Rio Paraopeba.	44
Tabela 2 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 5m ³ /m ² .h.	45
Tabela 3 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 10 m ³ /m ² .h.	46
Tabela 4 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 15 m ³ /m ² .h.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do PIB brasileiro indicativo em percentual.....	18
Figura 2 - Mapa da expansão da mineração no estado de Minas Gerais desde os anos 1980 até 2014.....	20
Figura 3 - Cronologia da legislação aplicada a qualidade das águas.....	22
Figura 4 - Gráfico de projeção de rejeitos minerais no período de 2010 a 2030.	26
Figura 5 - Fluxograma dos Tratamentos.....	28
Figura 6 - Estrutura Analítica do Projeto.....	30
Figura 7 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba.	31
Figura 8 - Vista aérea da barragem I da mina Córrego do Feijão 24 horas antes e quatro dias depois do rompimento.	33
Figura 9 - Caminho até a margem do Rio Paraopeba.....	35
Figura 10 - Margem do Rio Paraopeba no município de São Joaquim de Bicas.....	35
Figura 11 - Coleta de Água do Rio Paraopeba.....	36
Figura 12 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Alumínio.....	37
Figura 13 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Ferro.....	38
Figura 14 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Manganês.....	39
Figura 15 - Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo 55B da Agilent Technologies utilizado para determinação de Chumbo Total e Níquel.	39
Figura 16 - Parâmetros de calibração do Espectrofotômetro de Absorção Atômica para determinação de Níquel.	40
Figura 17 - Turbidímetro sendo utilizado para mensurar a turbidez da água bruta ..	41
Figura 18 - Filtro utilizado para remoção de metal pesado.....	42
Figura 19 – Efluente filtrado nas três taxas utilizadas e efluente bruto do Rio Paraopeba. Da esquerda para direita: 5 m ³ /m ² .h, 10 m ³ /m ² .h, 15 m ³ /m ² .h e efluente bruto.	43
Figura 20 - Gráfico da Remoção do Alumínio Dissolvido em função das taxas analisadas.....	48
Figura 21 – Gráfico de Remoção do Ferro Dissolvido em função das taxas analisadas.....	49
Figura 22 - Gráfico de Remoção de Manganês Total em função das taxas analisadas.....	50
Figura 23 - Gráfico de Remoção de Níquel Total em função das taxas analisadas.	51
Figura 24 - Gráfico de representação do Chumbo Total em função das taxas analisadas.....	52
Figura 25 - Gráfico de representação da Turbidez em função das taxas analisadas.....	53
Figura 26 - Fluxograma de Processo do Tratamento da Água do Rio Paraopeba ...	54
Figura 27 - Estrada de acesso ao município de Brumadinho.	62
Figura 28 - Rua tomada pela lama de rejeitos de mineração.	63
Figura 29 - Placas indicando acesso à Mina Córrego do Feijão.....	63
Figura 30 - Manchas de rejeitos de mineração no Rio Paraopeba.....	64
Figura 31 - Acúmulo de sedimentos de rejeitos na margem do Rio Paraopeba.....	64

Figura 32 - Acesso à margem do Rio Paraopeba no município de São Joaquim de Bicas.....	65
Figura 33 - Monumento na entrada da cidade de Brumadinho com cruces representando as vítimas.	65
Figura 34 - Ponte sobre o Rio Paraopeba pintada demonstrando apoio ao município.	66
Figura 35 - Homenagem ao morador José Carlos Domenegueti, que trabalhava no momento do rompimento e foi sepultado em 4 de fevereiro de 2019.....	66

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Registros Fotográficos.....	61
---	-----------

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANM – Agência Nacional de Mineração

ARP - Alto Rio Paraopeba

BHRP - Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

BRP – Baixo Rio Paraopeba

CBSHF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CIBAPAR – Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba

CNDH – Conselho Nacional de Direitos Humanos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

EAP – Estrutura Analítica do Projeto

GEARA - Gerência de Saneamento e Regularização Ambiental

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MG - Minas Gerais

MRP - Médio Rio Paraopeba

NBR – Norma Brasileira

PIB – Produto Interno Bruto

PMB - Produção Mineral Brasileira

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

1 INTRODUÇÃO

A mineração de substâncias metálicas acompanhou o desenvolvimento do Brasil desde a época da colônia. A procura por metais preciosos, principalmente o ouro por parte dos bandeirantes, culminaram novos caminhos para a interiorização do país. À medida que aumentavam a ocupação territorial e o conhecimento sobre novas tecnologias, novos depósitos minerais foram descobertos e alguns metais - como o ferro e o manganês - passaram a ser vistos com um maior interesse (ANM, 2018).

Atualmente, de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (2018), o valor da produção comercializada das onze principais substâncias metálicas – Alumínio, Cobre, Cromo, Estanho, Ferro, Manganês, Nióbio, Níquel, Ouro, Vanádio e Zinco – totalizou mais de 88 bilhões de reais, com destaque para as produções dos estados do Pará e de Minas Gerais, que obtiveram 90% deste valor, e para o minério de ferro, responsabilizado por mais de 71% do valor total.

É certo que a exploração de minério gera preocupações na esfera ambiental. Tais preocupações estão diretamente relacionadas a instabilidades de barragens de rejeitos da mineração, aos desafios encontrados pelo sistema de fiscalização ambiental do país, e, principalmente, aos impactos negativos sob a esfera social e sob os diversos aspectos ambientais (RAMOS *et al.*, 2017).

Dentre tais aspectos ambientais tem-se a depreciação qualitativa dos corpos hídricos próximos a estas mineradoras, os quais possuem diversos usos preponderantes para o desenvolvimento socioeconômico das cidades circunvizinhas. Sabe-se que tais corpos d'água, uma vez depreciados por contaminação de lamas de rejeitos provenientes de rompimento de barragens ratificam um descumprimento do que se tem como direito do cidadão brasileiro em termos de desfrutar de um “meio ambiente ecologicamente equilibrado”, direito este que está contido no artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988).

Aliado a esses aspectos e ao rompimento da barragem, é notável um cenário de impacto ambiental de dimensões regionais sobre a bacia hidrográfica do rio Paraopeba que corta a cidade e serve como principal afluente para o abastecimento público de 48 municípios mineiros (CBHSF, 2017).

1.1 Problema

O caso do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, ocorrido em 25 janeiro de 2019 no município de Brumadinho-MG, dispensou 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, vitimou centenas de trabalhadores e moradores locais, além de ter levado a interrupção do consumo da água do Rio Paraopeba (CNDH, 2019).

Segundo Romão *et al.* (2019) metais presentes no material da barragem rompida prejudicam os usos preponderantes da água. Por meio de caracterização feita após o rompimento da barragem pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), pode-se dizer que o cenário do rio Paraopeba encontra-se com níveis altos de alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, chumbo total, níquel total e turbidez.

Mediante ao cenário apresentado, a argumentação deste projeto fundamenta-se na seguinte investigação: “qual o melhor processo de recuperação da água do Rio Paraopeba utilizando um meio ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável?”.

1.2 Justificativa

A relevância do presente trabalho reside no fato de ser necessário um tratamento para recuperação da água do Rio Paraopeba, o que possibilita a retomada do corpo hídrico - que abastece uma mancha urbana de cerca de dois milhões de pessoas - de volta aos seus usos preponderantes, considerando o convívio social e seu equilíbrio ecológico.

1.3 Estratégia da Pesquisa

Trata-se de uma pesquisa de natureza básica, pois visa fornecer dados para um projeto de tratamento que solucione a contaminação do Rio Paraopeba por metais pesados. A Abordagem é mista: qualitativa por interpretar os fenômenos que ocorreram na bacia e quantitativa por traduzir em números os resultados obtidos.

A pesquisa possui um objetivo explicativo com procedimentos experimentais para obtenção de uma melhor forma de tratamento. Também, é classificada como documental pela utilização de relatórios técnicos do Instituto Mineiro de Gestão das Águas e bibliográfica por ser fundamentada em pesquisas.

1.4 Estrutura do Trabalho

O atual trabalho é constituído de cinco capítulos sendo eles: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Discussões e Conclusão. Os capítulos apresentam subtítulos, assim, facilitando a compreensão do texto.

No capítulo 1 apresenta-se uma síntese delimitando o tema que será abordado no trabalho e, também, a Problemática, Justificativa, Delimitação da Pesquisa, Estrutura e Objetivos do trabalho em questão.

No capítulo 2 são abordados os principais temas que compõem o desenvolvimento do projeto, que são o Panorama da Mineração no Brasil, Panorama da Mineração no Estado de Minas Gerais, Panorama do Uso de Recursos Hídricos, Legislação Aplicada a Qualidade das Águas, Gerenciamento de Resíduos na Indústria de Mineração e Aspectos Toxicológicos da Água.

No capítulo 3 encontram-se a metodologia utilizada com os processos que foram realizados e os recursos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 4 estão detalhadas todas as informações, dados e resultados obtidos durante os processos de análises.

Por fim, no capítulo 5 tem-se a conclusão do trabalho, contendo as limitações do trabalho e o melhor método para alcançar o objetivo final.

1.5 Objetivo Geral

O presente estudo tem por objetivo elaborar um projeto conceitual de um sistema de tratamento de água de forma a contribuir com o restabelecimento dos usos preponderantes do Rio Paraopeba segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

1.6 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a água do rio Paraopeba à montante e à jusante da Mina Córrego do Feijão situada em Brumadinho/MG, segundo os parâmetros definidos;
- b) Efetuar ensaios de tratabilidade da água de jusante da referida Mina tendo como finalidade obter qualidade compatível com àquela encontrada à montante;
- c) Comparar os resultados obtidos com a legislação pertinente;
- d) Projetar um sistema de tratamento de água, a nível conceitual, que contribua para a recuperação daquela área degradada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama da Mineração no Brasil

A história da mineração como parte da atividade econômica do Brasil teve seu início no século XVII, período em que a busca por metais preciosos por parte dos europeus era acentuada. Nesse período, áreas como o estado de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Mato Grosso foram visadas como berço de minérios do Brasil colonial; minérios estes que serviriam de matéria-prima para o desenvolvimento econômico das realidades e que deu gás ao ciclo do ouro (IBRAM, 2003).

A indústria da mineração é um dos segmentos produtivos mais importantes para a economia do País. O setor dos minérios no Brasil é constituído por quase 70% de pequenas e médias minerações (ANM, 2018).

O Brasil é um dos maiores produtores de minério do planeta (ARAÚJO; FERNANDES, 2016). Nesse contexto, a indústria mineral brasileira representa 1,4% de todo o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, empregando aproximadamente 180 mil pessoas de modo direto (IBRAM, 2018).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2019), o PIB é constituído majoritariamente pelo setor de serviços, com mais de 70% de participação, seguido da indústria com 20% e do setor agropecuário com 6%, conforme mostra a Figura 1.

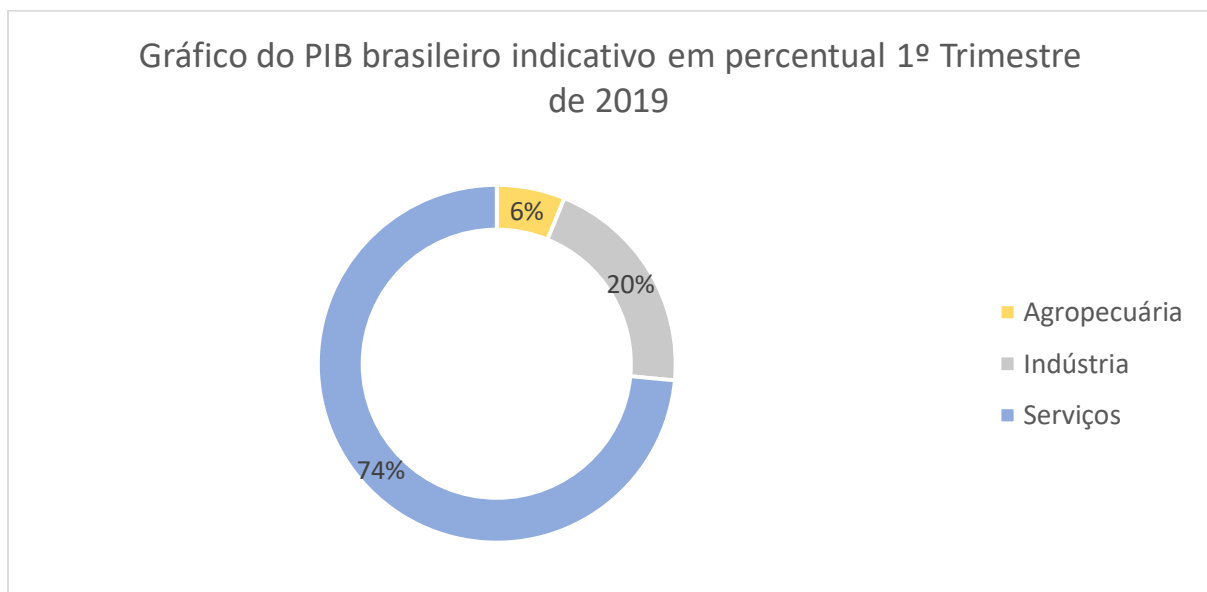


Figura 1 - Gráfico do PIB brasileiro indicativo em percentual.
Fonte: IBGE (2019).

A indústria extrativista corresponde a 3,7% do PIB total do país, sendo 1,4% deste total representado somente pela extração mineral (IBGE, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), no ano de 2017, a Produção Mineral Brasileira (PMB) ficou em 32 bilhões de dólares. As substâncias da classe dos metálicos corresponderam a 80% do valor total dessa produção.

2.2 Panorama da Mineração no Estado de Minas Gerais

No início do século XVII, iniciou-se a procura de ouro no estado de Minas Gerais por parte dos portugueses (SOBREIRA E FONSECA, 2001) e, quatro séculos depois, a produção de minério por parte deste estado continua a todo vapor.

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2018), Minas Gerais é o estado que mais fatura com a produção mineral comercializada no Brasil, com um valor superior a 41 bilhões de reais, o que equivale a 47,19% da produção nacional. Grande parte desse valor se deve pela produção da região do Quadrilátero Ferrífero, uma área equivalente a 7000 km², localizado no centro-sudeste de Minas Gerais, que é a maior produtora de minério de ferro no Brasil. Abrange os municípios de: Barão de Cocais, Congonhas, Mariana, Nova Lima, Ouro Preto, Brumadinho, entre outros (ROESER E ROESER, 2010).

Para se ter uma ideia da expansão da mineração no estado de Minas Gerais, Rezende (2016) analisou os dados de mineração desde 1935 até 2014 e comparou as áreas requeridas para cada período de dez anos (1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 e 2010-2014). É notória tal expansão, desde a década de 1980, quando o setor atraiu investimentos na exploração mineral. Os resultados são demonstrados na Figura 2.

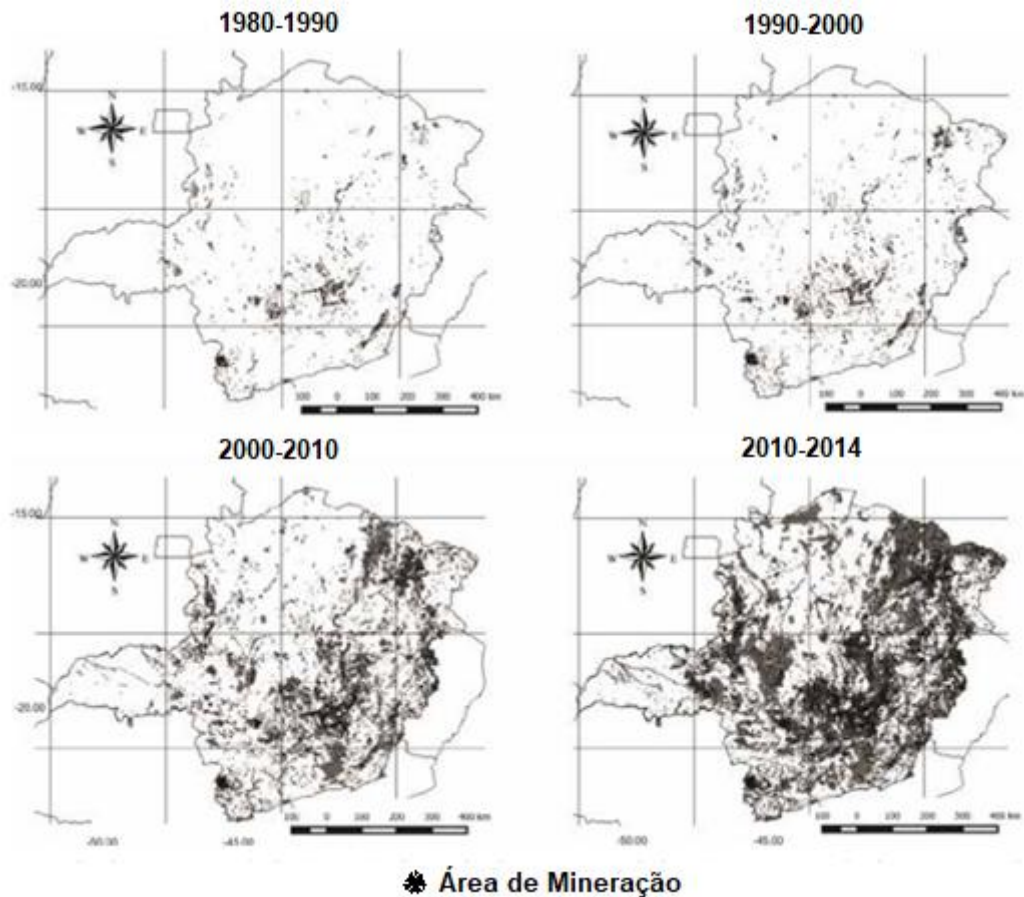


Figura 2 - Mapa da expansão da mineração no estado de Minas Gerais desde os anos 1980 até 2014.

Fonte: Rezende (2016).

Todavia, esse setor enfrenta um grande desafio oriundo da disposição de rejeitos. Tais rejeitos frequentemente são dispostos em pilhas de estéril ou em barragem de rejeitos (PEREIRA, 2016).

No estilo de disposição do tipo barragens de rejeitos, há grande preocupação relacionada à segurança, uma vez que o controle sob a disposição da lama de rejeito pode ocorrer de formas não-previsíveis, ocasionando diferentes comportamentos geotécnicos os quais aumentam os riscos de acidentes (FONSECA, 2018).

Em acidentes envolvendo barragens de rejeitos muitos são os impactos gerados, não só na esfera econômica como, também, na esfera socioambiental. O caso do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão revela o potencial dano socioambiental do setor de mineração (CNDH, 2019).

2.3 Panorama do Uso de Recursos Hídricos

A água é indispensável para o ser humano e o desenvolvimento global, pois ela conduz os nutrientes básicos à vida, é empregada na área industrial, na agropecuária, na geração de energia, entre outros usos, além de ser a composição majoritária do corpo humano. Porém, ainda há muitos desafios em relação a seu uso.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2017), mais de 2 bilhões de pessoas não têm acesso a água potável e disponível em casa e 60% da população mundial não possuem um saneamento considerado seguro. No Brasil, 35 milhões de pessoas não são atendidos com abastecimento de água tratada e cerca de 50% de toda esta água é perdida nas redes de distribuição, enquanto este valor não passa de 10% nos países desenvolvidos.

Comparado a outros países, o Brasil pode ser considerado um país rico em quantidade de água (ARNT, 1995 *apud* CARVALHO, 2004, p. 5), no entanto, ainda há uma grande preocupação sobre a qualidade de seus recursos hídricos. É possível dizer que ainda se vive em um cenário extremamente insustentável no que diz respeito aos recursos hídricos. Este cenário se deve principalmente a dois quesitos: aos distúrbios climáticos, como enchentes e secas e, do outro lado, a degradação dos rios.

No Brasil, o consumo médio de água por habitante ao dia é de 153,56 litros. O consumo médio no estado de Minas Gerais encontra-se bem próximo a média nacional com 154,07 litros, sendo o estado com menor consumo médio per capita da região Sudeste (SNIS, 2019).

O lançamento de esgoto *in natura* nos corpos hídricos é o principal degradador da qualidade da água no Brasil. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019), apenas 46% de todo esgoto gerado no país é tratado, isso corresponde a 4,2 bilhões de m³ por ano.

Tratando-se de mineração, existe uma série de degradação hídrica causada pela lama e compostos químicos solúveis dos rejeitos minerais. As atividades provenientes da extração mineral e de lavra acabam contribuindo para essa degradação, tanto das águas superficiais quanto subterrâneas, visto que, no Brasil, não se tem um controle rigoroso das operações envolvidas.

2.4 Legislação Aplicada a Qualidade das Águas

A Figura 3 apresenta a cronologia da legislação aplicada sobre as águas do Brasil.

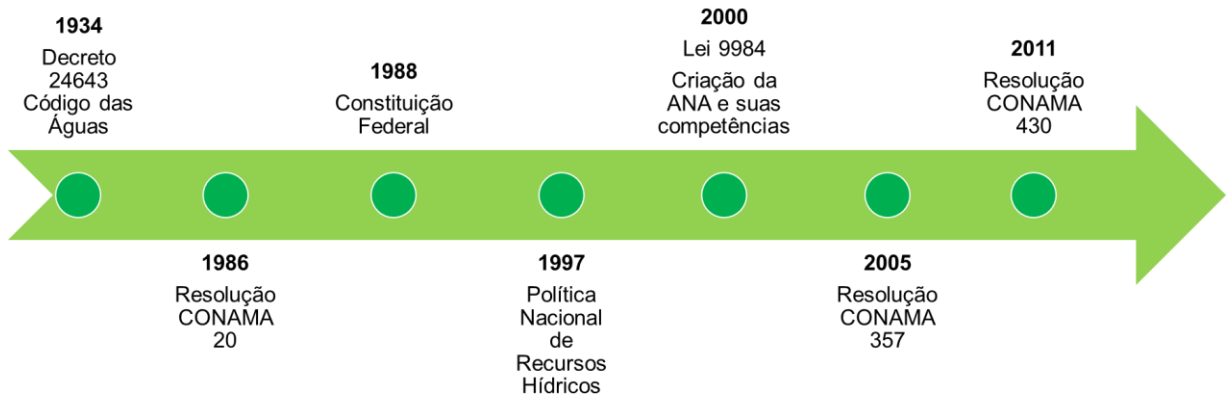


Figura 3 - Cronologia da legislação aplicada a qualidade das águas.
Fonte: Os autores, 2019.

Em 1934 foi decretado o Código das Águas, que autorizou o poder público coordenar e fomentar a exploração industrial das águas (BRASIL, 1934). Em 1986, surgiu a classificação das águas doce, salobra e salina, bem como seus níveis de qualidade e, desta forma, a segurança de seus usos preponderantes a partir da Resolução CONAMA 20 (BRASIL, 1986).

A Constituição Federal de 1988, define os corpos hídricos que estejam dentro do domínio territorial brasileiro, abasteçam mais de um estado, sejam um limite fronteiro, deságuem ou nasçam em um território estrangeiro e, ainda, que se originem de margens ou praias pluviais como “bens da União” (BRASIL, 1988). Ela também afirma que legislar e assegurar a qualidade desses recursos é competência da União.

Em 1997, foi promulgada a Lei 9.433, conhecida como a Lei das Águas ou Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que implantou no país o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Tal lei reconhece que a água é um bem de todos, proibindo sua privatização e obrigando as instituições a viabilizar um uso coerente e garantindo sua qualidade e sua quantidade. No plano de gerenciamento, constam metas e ações que responsabilizam instituições representantes do poder público e da sociedade para realizar fiscalizações, determinar padrões de lançamentos de efluente ao setor industrial não considerando se são de grande, médio ou pequeno porte e

tomar decisões a respeito da cobrança pelo uso da água e pelo abatimento de poluição de indústrias (BRASIL, 1997).

No ano de 2000, a partir da Lei nº 9984, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal responsável por implementar a PNRH e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 2000).

Um dos frutos importantes da PNRH foi a Resolução CONAMA 357 de 2005, que dispõe sobre a classificação dos recursos hídricos (BRASIL, 2005) e foi complementada pela Resolução CONAMA 430 de 2011, com os limites máximos de lançamento de efluentes de acordo com o tipo de uso que cada corpo d'água possui considerando seus parâmetros biológicos, químicos e físicos (BRASIL, 2011).

É importante ressaltar que essa classificação não considera apenas o estado atual do corpo hídrico, mas, também, seus níveis de qualidade desejáveis para atender o equilíbrio do meio. A partir do Quadro 1 é possível analisar as cinco classificações de acordo com os usos preponderantes de água doce no país.

Quadro 1 - Classificação das águas de acordo com o uso preponderante.

Classificação	Uso Preponderante
Classe Especial	Abastecimento para consumo humano com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe I	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas sem remoção de película; Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
Classe II	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; Aquicultura e atividade de pesca.
Classe III	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário; Dessedentação de animais.
Classe IV	Navegação; Harmonia paisagística.

Fonte: CONAMA 357 (2005).

2.5 Gerenciamento de Resíduos na Indústria de Mineração

De acordo com Chehebe (1997), grande parte dos problemas ambientais está diretamente ligada a industrialização do planeta. Tudo que é produzido impacta o meio ambiente de alguma forma, seja no material necessário para produção, seja no seu uso ou em sua disposição. No que tange à disposição final, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) assume a classificação apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos

I - Quanto à origem	Características
Resíduos Domiciliares	Procedente de atividades domésticas em residências urbanas;
Resíduos Industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
Resíduos de Serviços de Saúde	Gerados nos serviços de saúde
Resíduos de Mineração	Gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
II - Quanto à periculosidade	Características
Resíduos Perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental
Resíduos Não Perigosos	Aqueles não enquadrados como perigosos

Fonte: BRASIL (2010).

Pereira (2016) separa os resíduos sólidos da mineração em dois tipos: os rejeitos e os estéreis. Os estéreis são os elementos escavados, produzidos no decapeamento da mina, não possui valor financeiro e são dispostos em pilhas. Já os rejeitos da mineração, são os resíduos oriundos da etapa de beneficiamento do minério.

Tais rejeitos são dispostos em barragens de contenção construídas por meio de alteamentos sucessivos, objetivando a dissolução dos custos já gastos na etapa de extração dos minérios. Desta maneira, é construído um dique de partida e conforme o volume dos rejeitos aumenta, alteamentos vão sendo construídos ao logo de sua vida útil, podendo ser compactado com material procedente de áreas de empréstimos ou com o próprio rejeito havendo três métodos: à montante, à jusante e linha de centro (IBRAM, 2018).

O método mais comumente utilizado é a disposição à montante visto que este é o mais antigo e econômico dentre os supracitados. Para dar início a essa construção, primeiramente, é estruturado um dique de partida, onde, a partir daí caminhões lançam os rejeitos em direção à montante da linha de simetria do dique, gerando uma praia de deposição. O método à jusante, conta, também, com um dique de partida inicial, porém, a deposição do rejeito vai sendo feita à jusante do dique até que atinja a cota final estabelecida em projeto. E, por fim, o método linha de centro apresenta uma disposição mediana entre os dois métodos citados, havendo vantagens e desvantagens em todos eles elencados.

No Quadro 3 é apresentado um resumo comparativo dos três métodos, destacando algumas de suas características, vantagens e desvantagens (IBRAM, 2018).

Quadro 3 - Resumo dos principais métodos construtivos de barragens

	Montante	Jusante	Linha de centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para que ocorra segregação	Qualquer tipo	Areias de lama de baixa plasticidade
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistência a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos de 10 m/ano	Nenhuma restrição	Pouca restrição
Vantagens	Menor custo	Maior segurança	Flexibilidade construtiva
Desvantagens	Baixa segurança e suscetibilidade a liquefação	Grande quantidade de material requerido	Necessidade de eficiente sistema de drenagem

Fonte: Instituto Brasileiro de Mineração (2018).

A mineração modifica profundamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são praticados os depósitos de rejeito e de estéril. No que tange a questão ambiental, a existência de substâncias químicas nocivas na etapa de beneficiamento das substâncias minerais é o ponto principal. Por outro lado, sem a mineração, não existiria as etapas subsequentes da industrialização (SILVA, 2007).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2016), para saber a quantidade de rejeitos gerados na produção de substâncias minerais basta subtrair a produção beneficiada da produção bruta. Estima-se que há uma produção de 400 kg de rejeito para cada tonelada de minério de ferro produzido. A Figura 4 aponta uma projeção de produção mineral brasileira até o ano de 2030, e indica que o minério de ferro será responsável por 41% dos rejeitos de mineração no país.

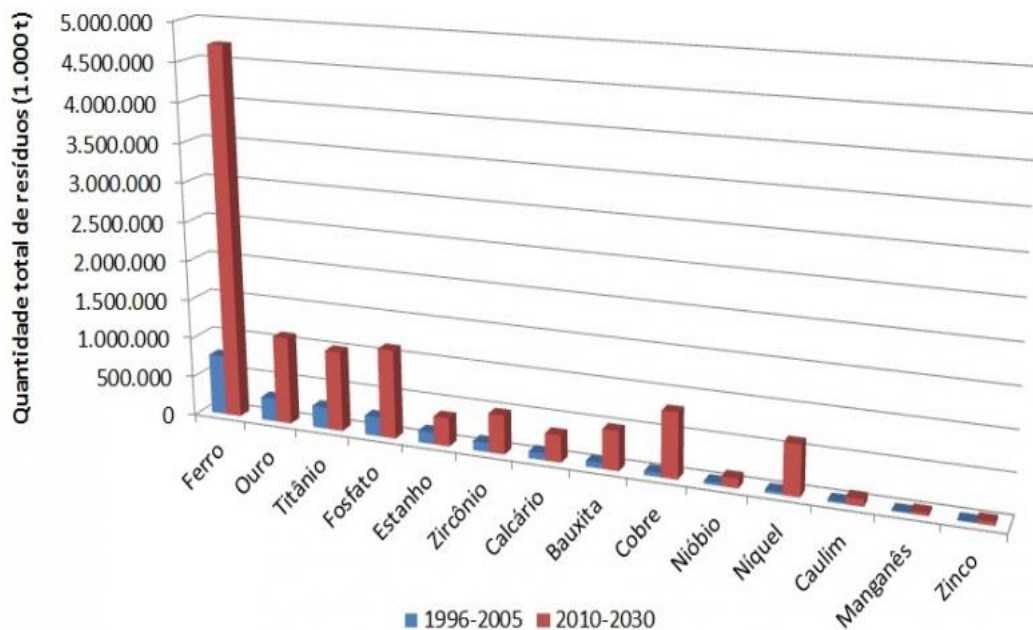


Figura 4 – Gráfico de projeção de rejeitos minerais para o período de 2010 a 2030.
Fonte: IPT (2016).

É de responsabilidade do produtor a gestão dos resíduos gerados em suas atividades e, segundo o parágrafo 3º do Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, em caso de má gestão, o responsável pode responder com multas e até ser preso (BRASIL, 1988).

2.6 Aspectos Toxicológicos da Água

É importante observar que as atividades potencialmente poluidoras, incluindo as atividades mineradoras, em seus diversos processos produtivos, utilizam matérias primas e insumos sendo que estes possuem características físicas, químicas, biológicas e até mesmo bacteriológicas peculiares os quais repassam uma parte dessas características ao conteúdo de seus efluentes líquidos.

Nesse sentido, a seguir, apresenta-se uma breve exposição (Quadro 4) sobre os aspectos toxicológicos de alguns poluentes e alguns indicadores de poluição presentes nos efluentes líquidos, os quais serão relevantes para a análise ambiental do rio Paraopeba à montante e à jusante da barragem da Mina Córrego do Feijão, uma vez que são estes os parâmetros considerados primordiais para a recuperação da água do rio em questão.

Quadro 4 - Relação de parâmetros e indicadores de poluição considerados para análise e seus aspectos toxicológicos.

INDICADORES DE POLUIÇÃO	PADRÃO DE QUALIDADE	EFEITOS NA SAÚDE E/OU AMBIENTAIS
Turbidez	≤ 100 NTU	O aumento da turbidez oferece quedas nas taxas de fotossíntese, levando a desequilíbrio nas cadeias tróficas. A turbidez pode estar associada a presença de sólidos suspensos ou dissolvidos, podendo transportar metais pesados, pesticidas e outras substâncias químicas nocivas à saúde da população.
Ferro Dissolvido	≤ 0,3 mg/L	Pode ocasionar deposição de ferro nos tecidos de órgãos como fígado e coração, lesão cardíaca, diabetes, disfunção sexual e entre outros.
Manganês	≤ 0,1 mg/L	Pode acarretar em doenças respiratórias, redução na produção de hemoglobina, insônia e fraqueza.
Alumínio Dissolvido	≤ 0,1 mg/L	Está atrelado a ocasionar doenças do Sistema Nervoso, cefaleia, convulsões e disfunção intestinal.
Chumbo	≤ 0,01 mg/L	Pode levar a encefalopatia saturnínica, neuropatia periférica desmielinizante, anemia com inclusões basofílicas, nefropatia tubular.
Níquel	≤ 0,025 mg/L	Pode ocasionar câncer nas vias respiratórias, alergias, náuseas e palpitações.

Fonte: Adaptado de Dias *et al.*, (2018); Medeiros (2015); e SWRCB (2002).

2.7 Tipos de Tratamento

Para tratamento de efluente, seja ele água de rio, industrial ou sanitário, são classificados diferentes tipos de tratamento de acordo com o grau de remoção de sólidos e outros componentes presentes.

Segundo Von Sperling (2005), os métodos mais utilizados para os tratamentos incluem:

- a) **Operações Físicas Unitárias:** Aplica-se forças físicas para retirada dos poluentes. Exemplo: Filtração.
- b) **Processos Químicos Unitários:** Utiliza-se produtos ou reações químicas para a retirada dos poluentes presentes. Exemplo: Precipitação.
- c) **Processos Biológicos Unitários:** Retira-se os poluentes através de operações biológicas.

Estes métodos são aplicados durante o ciclo de tratamento. Este ciclo é classificado, através dos seguintes níveis: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário, conforme a Figura 5.

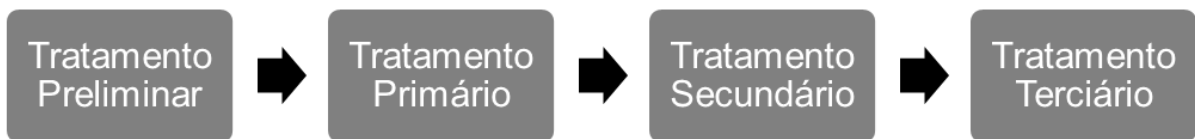


Figura 5 - Fluxograma dos Tratamentos.
Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

2.7.1 Tratamento Preliminar

É a etapa inicial do tratamento. Refere-se a extração física de sólidos grosseiros, areia e gorduras para que estes não prejudiquem a tubulação do sistema, a partir de instalação de grades, caixas de areia, peneiras e crivos. Utiliza-se basicamente operações de níveis físicos.

2.7.2 Tratamento Primário

Refere-se a retirada de sólidos em suspensão ou sedimentáveis a partir da filtração, decantação, flotação por ar dissolvido ou sistemas conjugados de tanque imhoff e fossas sépticas. Também há o tratamento do material extraído no tratamento anterior, neutralização, equalização e remoção de óleos.

2.7.3 Tratamento Secundário

Refere-se a remoção bioquímica da matéria orgânica através de filtração biológica, sistema de lodos ativados, lagoas de estabilização e decantação intermediária ou final. Utiliza-se geralmente, uma fase biológica nesta etapa.

2.7.4 Tratamento Terciário

Refere-se a eliminação de microrganismos patogênicos, nutrientes e metais pesados a partir dos métodos de desinfecção por cloração, filtração ultra e nano, ozonólise, eletro-oxidação, eletroflotação, osmose reversa e adsorção como, por exemplo, por carvão ativado e resina catiônica.

3. METODOLOGIA

A Figura 6 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho, em forma de estrutura analítica do projeto (EAP). A EAP busca apresentar de forma simplificada o escopo do trabalho, mostrando em pacotes as partes integrantes do projeto.

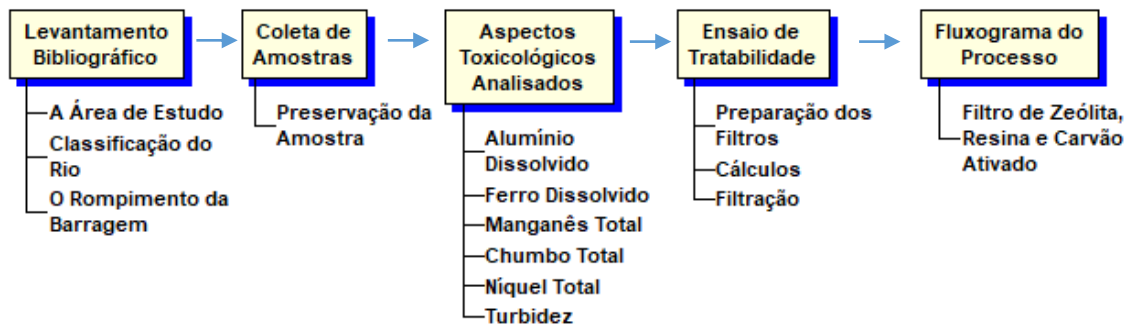


Figura 6 - Estrutura Analítica do Projeto.
Fonte: Os autores (2019)

3.1 A Área de Estudo: Bacia do Rio Paraopeba

A Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba (BHRP) abrange uma área de 13.643 km², o que corresponde a 5,14% do território da bacia do rio São Francisco no estado de Minas Gerais e 2,5% da área total do estado. O rio tem sua nascente ao sul do município de Cristiano Ottoni, desenvolve-se por cerca de 510 km tendo seus principais afluentes os rios Águas Claras, Macaúbas, Betim, Camapuã e Manso, até encontrar sua foz no lago da represa de Três Marias, no município de Felixlândia (IBGE/CENSO 2010). A Figura 7 demonstra a área de abrangência da BHRP em relação aos municípios e todo seu curso desde a sua nascente até a foz.

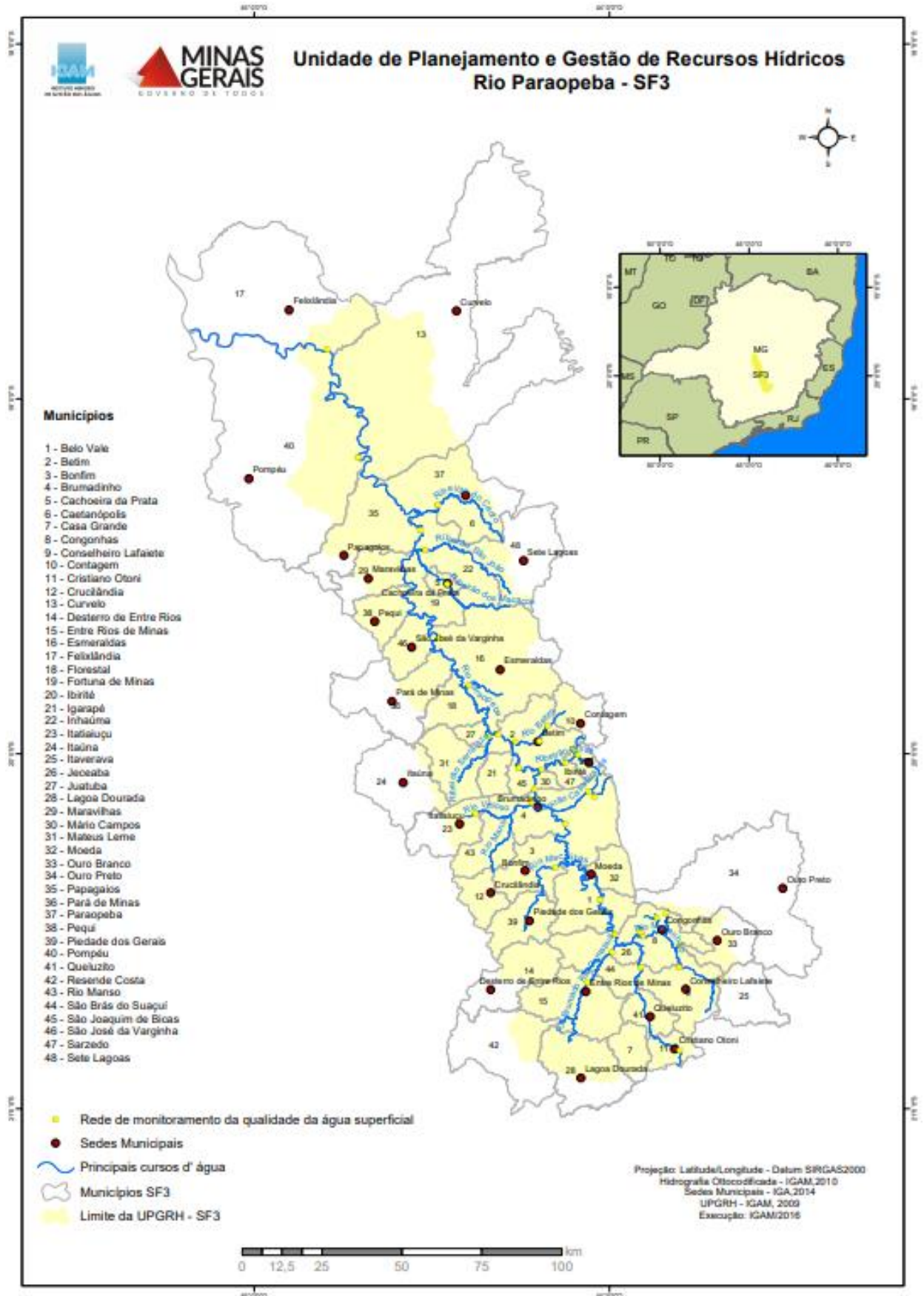


Figura 7 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba.
Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), 2017.

Cerca de 2 milhões de pessoas vivem na bacia, o que corresponde a 48 municípios, sendo que 35 destes possuem suas sedes urbanas dentro dos limites da bacia, segundo dados do Censo do IBGE (2010), a BHRP é dividida em três regiões, a partir dos cursos alto, médio e baixo do rio Paraopeba.

A região do Alto Rio Paraopeba (ARP) é composta por 18 municípios e apresenta população total de 305.356 habitantes, sendo a região com a menor concentração populacional da BHRP. O ARP tem como limite municípios como Conselheiro Lafaiete e Crucilândia (IBGE, 2010).

Se tratando da região do Médio Rio Paraopeba (MRP), este abrange 16 municípios, sendo considerado o maior contingente populacional da BHRP, com uma população total de 1.476.925 habitantes, também segundo dados do censo do IBGE (2010). A região possui expressivo desenvolvimento econômico, concentrada principalmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). O MRP inicia-se no limite norte do ARP e no limite sul do BRP faz divisa com os municípios de Esmeraldas e São José da Varginha.

A região do Baixo Rio Paraopeba (BRP) é composta por 14 municípios, contando com população total equivalente a 428.811 habitantes. O sul do BRP faz fronteira com os municípios de Esmeraldas e São José da Varginha, e o norte da região contém os municípios de Felixlândia e Curvelo, limítrofes do norte da bacia.

Foi verificada a ocorrência das seguintes classes de solo na Bacia do Rio Paraopeba: argissolo, cambissolo, latossolo e neossolo litólico, sendo o latossolo e o cambissolo as classes de solo mais abundantes na BHRP (DURÃES, 2010).

Segundo Durães (2010), o uso do solo na bacia é marcado por exploração agrícola, pastagens, ocupação urbana, áreas de cerrado e mata nativa, uma pequena extensão de plantio de eucalipto e extensa área de solo exposto.

3.1.1 Classificação do Rio Paraopeba

A norma estadual que enquadra os cursos hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba é a Deliberação Normativa COPAM nº 14 de 28 de dezembro de 1995. Segundo esta norma, a Bacia do Rio Paraopeba pertence à classe 2.

3.1.2 O rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão em Brumadinho/MG

Esta barragem estava em operação desde 1976, possuía uma altura total de cerca de 86m e no momento do rompimento os diques já estavam construídos entre as elevações 899,0m e 937,0m, alteamentos que utilizaram o próprio rejeito depositado na praia como material de construção, para redução do custo de transporte e dos impactos ambientais (GEOCONSULTORIA, 2006).

No dia 25 de janeiro de 2019, a Barragem I da mina Córrego do Feijão rompeu-se, dispensando 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração. A amplitude da barragem era de aproximadamente 13 milhões de metros cúbicos. A abundância de lama devastou equipamentos, o centro administrativo da Vale, casas, sítios das comunidades de Córrego do Feijão e de Parque da Cachoeira, vitimando centenas de trabalhadores e pessoas da comunidade local. Após o rompimento e vazamento, os rejeitos passaram a deslocar-se a velocidade de 1 km/h, tapando córregos e destruindo matas e vegetações locais, chegando então ao Rio Paraopeba, principal rio que abastecia a região de Brumadinho e mais 48 municípios mineiros (CNDH, 2019).

A Figura 8 apresenta uma vista aérea da barragem da Vale antes e após o rompimento.



Figura 8 - Vista aérea da barragem I da mina Córrego do Feijão 24 horas antes e quatro dias depois do rompimento. Fonte: MapBiomias (2019).

Segundo dados logrados na Gerência de Saneamento e Regularização Ambiental do IGAM, foi possível estipular as principais aplicações do Rio Paraopeba, sendo elas: abastecimento humano e industrial, aquicultura, agricultura, pecuária e atividades minerárias. (IGAM, 2010).

A partir de análises relacionados a quantificação dos usos da água do Rio, o programa Águas de Minas do IGAM evidenciou que quase 90% das águas superficiais são utilizadas na mineração, menos de 5% é destinada ao abastecimento doméstico e menos de 3% destinada ao abastecimento industrial.

Tais dados ratificam que o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho/MG causou grandes impactos socioeconômicos ao longo dos municípios abrangidos pela Bacia do Rio Paraopeba.

3.2 Coleta de Amostras

Para a coleta das amostras realizada em maio de 2019, estabeleceu-se um ponto de amostragem específico, não coincidentemente o mesmo do IGAM, no município de São Joaquim de Bicas, 5 km à jusante da captação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e 24,8 km à jusante da Barragem B1 da mina Córrego do Feijão. Foram utilizados recipientes plásticos de seis litros, posteriormente armazenados em um freezer. As Figuras 9, 10 e 11 retratam o local da coleta.



Figura 9 - Caminho até a margem do Rio Paraopeba.
Fonte: Os autores (2019).



Figura 10 - Margem do Rio Paraopeba no município de São Joaquim de Bicas.
Fonte: Os autores (2019).



Figura 11 - Coleta de Água do Rio Paraopeba.
Fonte: Os autores (2019).

A metodologia de coleta e preservação das amostras de água está descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998), publicado pela *American Public Health Association*.

3.3 Os Aspectos Toxicológicos Analisados

Logo após o rompimento da barragem, muitos metais pesados apresentavam-se em quantidades alarmantes na água do rio. Porém, pelo fato de o desastre ter ocorrido em janeiro e a coleta realizada em maio, alguns metais já se encontravam dentro dos padrões, segundo dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2019) e, diante disto, foram analisados somente os parâmetros cujas concentrações apresentavam-se acima do limite estabelecido como: Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Manganês, Chumbo Total, Níquel Total e Turbidez.

As análises foram realizadas no Laboratório de Poluição Hídrica do Campus Olezio Galotti do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, nos Laboratórios da Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense e no Laboratório da VWA Serviços e Consultoria Ambiental Ltda.

3.4 Determinação de Alumínio Dissolvido

A concentração de alumínio dissolvido foi determinada pela metodologia colorimétrica 3500-B descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Utilizou-se o kit colorimétrico da Alfakit, que se baseia na reação do íon Alumínio com a *Eriocromocianina* – um composto orgânico – que forma um complexo de coloração rosada proporcional a quantidade de Alumínio presente. A Figura 12 apresenta o kit utilizado.



Figura 12 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Alumínio.
Fonte: Os autores (2019)

As análises de Alumínio Dissolvido foram realizadas no Laboratório de Poluição Hídrica do Campus Olezio Galotti do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

3.5 Determinação de Ferro Dissolvido

A concentração de ferro dissolvido foi determinada pelo método do Tiocianato, descrita na página 114 do livro *Análisis del agua* da Merck (1996). Utilizou-se o kit colorimétrico da Alfakit, que se baseia na reação dos íons de Ferro com íons Tiocianato. Quanto mais intensa a cor salmão, maior a concentração deste íon. A Figura 13 apresenta o kit utilizado.



Figura 13 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Ferro.
Fonte: Os autores (2019)

As análises de Ferro foram realizadas no Laboratório de Poluição Hídrica do Campus Oezio Galotti do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

3.6 Determinação de Manganês Total

A concentração de Manganês Total foi determinada pelo método da Formaldoxima, descrita na página 236 do livro *Organic Reagents for Trace Analysis* de Fries e Getrost (1977). Utilizou-se o kit colorimétrico da Alfakit, que se baseia na reação dos íons de manganês com a formaldoxima. Quanto mais intensa a cor vermelho-castanhado, maior a concentração deste íon. A Figura 14 apresenta o kit utilizado.



Figura 14 - Kit colorimétrico da Alfakit para determinação de Manganês.
Fonte: Os autores (2019)

As análises de Manganês foram realizadas no Laboratório de Poluição Hídrica do Campus Olezio Galotti do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

3.7 Determinação de Chumbo Total

A concentração de chumbo total foi determinada no Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo 55B da Agilent Technologies. A Figura 15 apresenta o equipamento utilizado.



Figura 15 - Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo 55B da Agilent Technologies utilizado para determinação de Chumbo Total e Níquel. Fonte: Os autores (2019).

As análises de Chumbo Total foram realizadas no da Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense.

3.8 Determinação de Níquel Total

A concentração de Níquel total foi determinada no Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo 55B da *Agilent Technologies*. A Figura 16 apresenta o equipamento sendo calibrado.

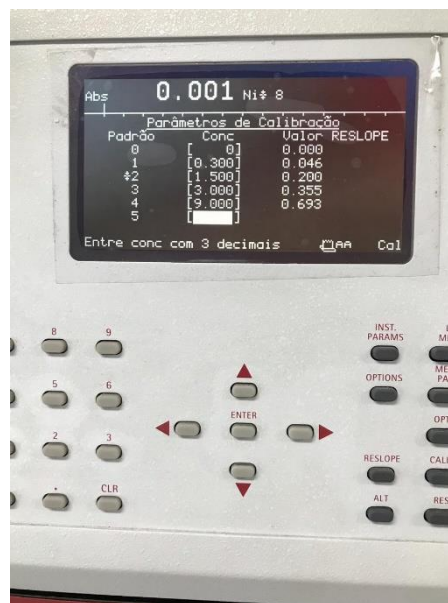


Figura 16 - Parâmetros de calibração do Espectrofotômetro de Absorção Atômica para determinação de Níquel. Fonte: Os autores (2019).

As análises de Níquel Total foram realizadas no da Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense.

3.9 Determinação da Turbidez

A determinação da Turbidez foi determinada pela metodologia descrita na NTS 008:1999 (SABESP,1999). Utilizou-se o turbidímetro microprocessado digital modelo DLT-WV da marca Del Lab para avaliar a turbidez das amostras. A Figura 17 apresenta o turbidímetro utilizado.



Figura 17 - Turbidímetro sendo utilizado para mensurar a turbidez da água bruta.
Fonte: Os autores (2019).

As análises de turbidez foram realizadas no Laboratório de Poluição Hídrica do Campus Oezio Galotti do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.

3.10 Ensaio de Tratabilidade

Para elaborar um projeto de tratamento de água necessita-se o uso da NBR 12216, que estabelece as condições necessárias para elaborar um projeto de estação de tratamento de água. Porém, os especialistas na área convergem da necessidade de elaborar ensaios de tratabilidade para o aprimoramento do projeto.

Os ensaios de bancada, além de necessitarem de um tempo menor, apresenta baixos custos quando comparados com ensaios em escala-piloto (DI BERNARDO *et al.*, 2003). Eles, também, demonstram qual a melhor tecnologia indicada e os melhores parâmetros para o tratamento.

3.10.1 Preparação dos filtros

Primeiramente, cortou-se um frasco de plástico com seção de 12 x 12 x 11,5 cm. O volume total do filtro foi de 1,656 L. Com uma faca, foram realizados pequenos rasgos no fundo (cerca de 8). Esses rasgos serviram para escoar a água filtrada.

No filtro utilizou-se na camada inferior 360 cm³ de carvão ativado, 360 cm³ de resina catiônica e 360 cm³ de zeólita. Entre as mídias filtrantes colocou-se 1,3 cm de fibra de coco, conforme ilustra a Figura 18.

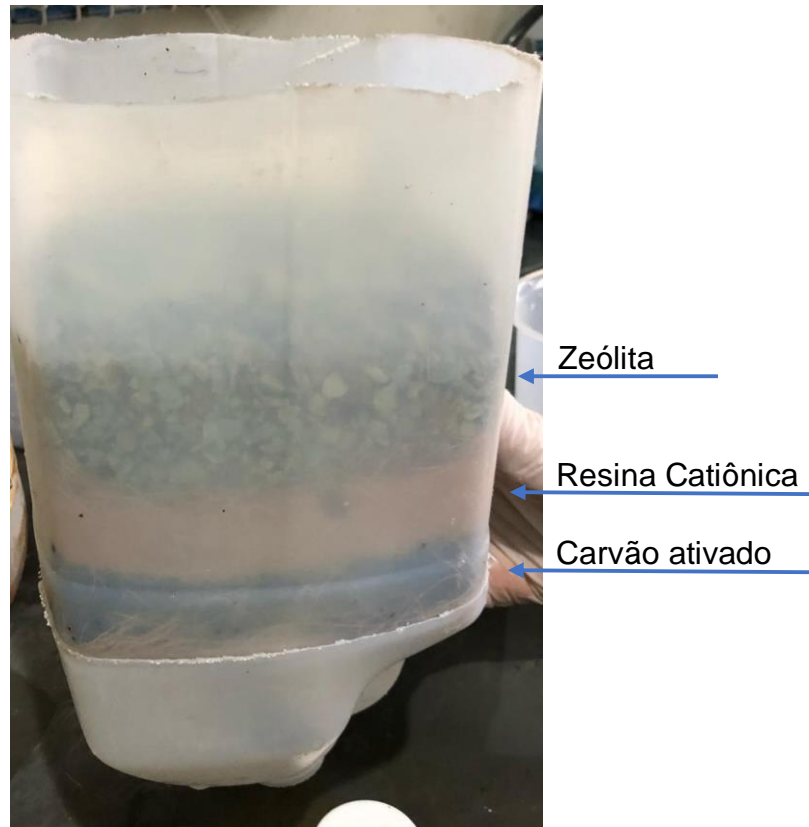


Figura 18 - Filtro utilizado para remoção de metal pesado.
Fonte: Os autores (2019).

O princípio de adsorção de contaminantes é utilizado com diferentes técnicas. Segundo Jimenez *et al.* (2004) para a retirada de alguns metais pesados na água, utiliza-se a zeólita. É um produto de origem natural, formado por minerais de aluminossilicatos hidratados. Já Oliveira & Da Luz (2001), ressalta a utilização de resina e carvão ativado no tratamento de água com metais pesados.

3.10.2 Filtração

Os testes foram feitos com três taxas de filtração: 5, 10 e 15 m³/m².h. O volume inicial foi de 1200 mL diferenciando apenas o tempo de passagem do fluxo de água pelo filtro, sendo, respectivamente 60, 30 e 20 segundos.

Coletou-se o filtrado de cada taxa, fazendo a identificação de cada amostra para as análises laboratoriais conforme mostra a Figura 19.



Figura 19 – Efluente filtrado nas três taxas utilizadas e efluente bruto do Rio Paraopeba. Da esquerda para direita: 5 m³/m².h, 10 m³/m².h, 15 m³/m².h e efluente bruto. Fonte: Os autores (2019).

3.10.3 Cálculos

Os cálculos dos volumes para cada taxa são:

Área de cada filtro: $12 \times 12 = 144 \text{ cm}^2 = 14,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Taxa de aplicação = $5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ (arbitrada)

Volume de água a filtrar = $5 \times 14,4 \times 10^{-3} = 0,072 \text{ m}^3/\text{h}$

Considerando o tempo de filtração em bancada de 1 minuto, o volume foi de = $0,072/60 = 12 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 1200 \text{ mL}$

Para manter a amostra com volume de 1200 mL, na taxa de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, fez-se a passagem da água no filtro na metade do tempo, ou seja: 30 segundos. No caso da taxa de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, seguindo a mesma lógica, o tempo foi de 20 segundos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da água do Rio Paraopeba

A água do Rio Paraopeba foi caracterizada conforme os seguintes parâmetros: Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Manganês, Chumbo Total, Níquel, Demanda Química de Oxigênio e a Turbidez apresentados na Tabela 1. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados são as médias das leituras.

Tabela 1 - Caracterização físico-química da água do Rio Paraopeba.

Parâmetro	Valor Obtido	CONAMA 357/05
Alumínio Dissolvido	0,20 mg/L	0,10 mg/L
Ferro Dissolvido	3,00 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	3,00 mg/L	0,10 mg/L
Chumbo Total	0,00 mg/L	0,001 mg/L
Níquel Total	0,006 mg/L	0,025 mg/L
Turbidez	443,04 NTU	100 NTU

Constata-se que os valores obtidos se encontram acima do que preconiza a Resolução CONAMA 357/05 para a maioria dos parâmetros analisados com exceção do chumbo cujo resultado foi ausente e o níquel cujo valor encontra-se 24% abaixo do limite máximo estabelecido pela CONAMA.

4.2 Análise das Taxas de Filtração

Os efluentes filtrados foram caracterizados de acordo com as três taxas analisadas.

4.2.1 Taxa de Filtração de 5 m³/m².h

Após 1 minuto de filtração na taxa de 5 m³/m².h observa-se a remoção de 100% do Alumínio, 100% do Ferro, 98,3% do Manganês, 66,7% do Níquel e 94,2% da Turbidez. Ressalta-se uma eliminação completa de 60% dos metais pesados analisados e ratifica-se que os outros valores encontrados estão dentro dos limites máximos estabelecidos, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 5m³/m².h.

Parâmetro	Valor Obtido	CONAMA 357/05
Alumínio Dissolvido	0,00 mg/L	0,10 mg/L
Ferro Dissolvido	0,00 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	0,05 mg/L	0,10 mg/L
Chumbo Total	0,00 mg/L	0,001 mg/L
Níquel Total	0,002 mg/L	0,025 mg/L
Turbidez	25,7 NTU	100 NTU

Os resultados foram interessantes, pois Ribeiro (2019) conseguiu uma remoção de 91,76% de alumínio utilizando um filtro composto apenas por carvão ativado.

4.2.2 Taxa de Filtração de 10 m³/m².h

Após 30 segundos de filtração na taxa de 10 m³/m².h observa-se a remoção de 100% do Alumínio, 100% do Ferro, 98,3% do Manganês, 33,4% do Níquel e 96% da Turbidez. Ressalta-se uma eliminação completa de 60% dos metais pesados analisados e ratifica-se os outros valores encontrados estão dentro dos limites máximos estabelecidos, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 10 m³/m².h.

Parâmetro	Valor Obtido	CONAMA 357/05
Alumínio Dissolvido	0,00 mg/L	0,10 mg/L
Ferro Dissolvido	0,00 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	0,05 mg/L	0,10 mg/L
Chumbo Total	0,00 mg/L	0,001 mg/L
Níquel Total	0,004 mg/L	0,025 mg/L
Turbidez	17,54 NTU	100 NTU

Ribeiro (2018), utilizando um filtro com dolomita e resina catiônica conseguiu uma remoção de 99% do ferro presente no efluente de uma indústria de reciclagem de baterias automotivas.

4.2.3 Taxa de Filtração de 15 m³/m².h

Após 20 segundos de filtração na taxa de 15 m³/m².h observa-se a remoção de 100% do Alumínio, 100% do Ferro, 100% do Manganês, 100% do Níquel e 93,5% da Turbidez. Ressalta-se uma eliminação completa de 100% dos metais pesados analisados e ratifica-se os outros valores encontrados estão dentro dos limites máximos estabelecidos, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização físico-química do filtrado da taxa de 15 m³/m².h.

Parâmetro	Valor Obtido	CONAMA 357/05
Alumínio Dissolvido	0,00 mg/L	0,10 mg/L
Ferro Dissolvido	0,00 mg/L	0,30 mg/L
Manganês	0,00 mg/L	0,10 mg/L
Chumbo Total	0,00 mg/L	0,001 mg/L
Níquel Total	0,00 mg/L	0,025 mg/L
Turbidez	28,84 NTU	100 NTU

A autora Lins (2003) relata a redução de 82,47% da solução de níquel preparado em laboratório, utilizando-se zeólita natural em seu processo de filtração.

4.3 Comparação das Taxas

A taxa de 15 m³/m².h apresenta a melhor eficiência comparados seus resultados com as demais taxas de 5 e 10 m³/m².h, visto que ela realizou uma eliminação de 100% dos metais pesados. A taxa de 15 m³/m².h permite uma economia maior em relação as outras taxas analisadas, tratando-se de sistemas de tratamento, pois admite maior vazão em uma mesma área de mídia filtrante.

4.4 Remoção de Metais

A resolução CONAMA nº 357 de 2005 estabelece as condições de lançamentos de efluentes, além de dispor sobre a classificação dos corpos hídricos. Em seguida serão expostos os resultados da remoção dos metais estudados.

4.4.1 Remoção de Alumínio Dissolvido

As três taxas analisadas conseguiram remoção de 100% do alumínio dissolvido, ficando com a concentração final de 0,00 mg/L no tratamento com os filtros. A Figura 20 apresenta a remoção de alumínio dissolvido nas taxas analisadas.

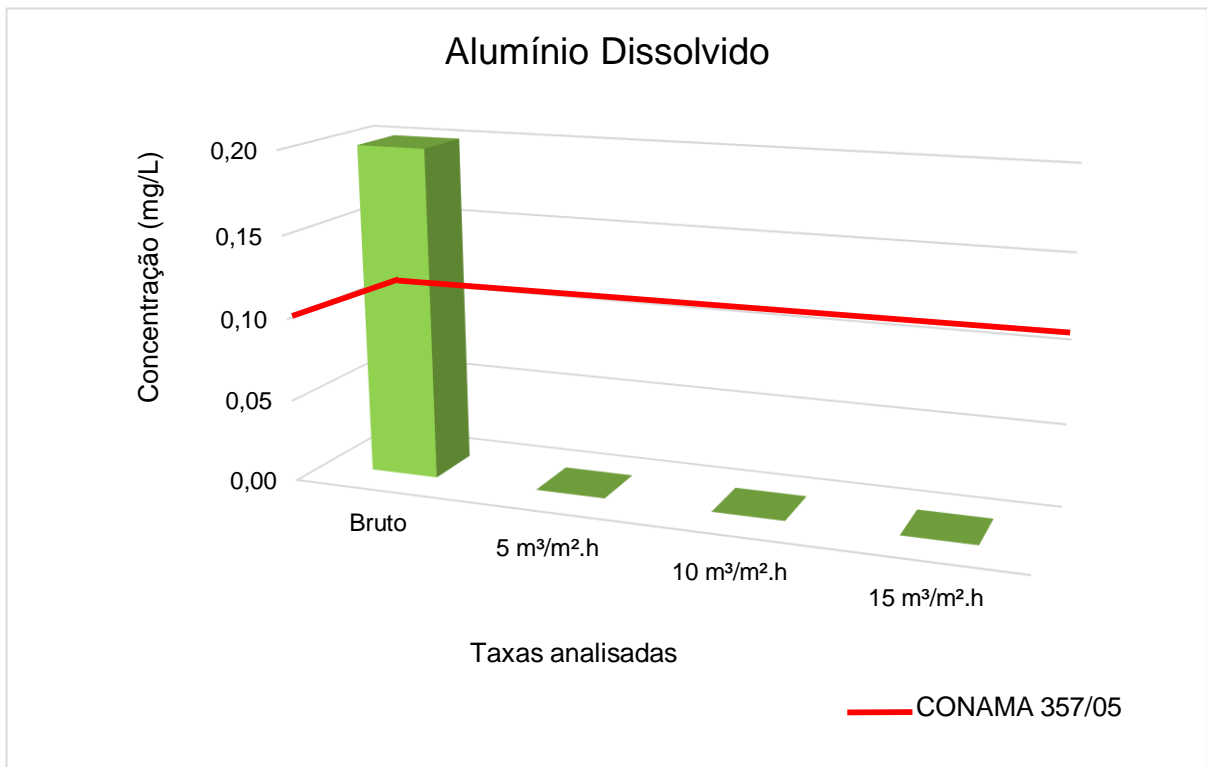


Figura 20 - Gráfico da Remoção do Alumínio Dissolvido em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019).

4.4.2 Remoção de Ferro Dissolvido

As três taxas analisadas conseguiram remoção de 100% do ferro dissolvido, ficando com a concentração final de 0,00 mg/L no tratamento com os filtros. A Figura 21 apresenta a remoção de ferro dissolvido nas taxas analisadas.

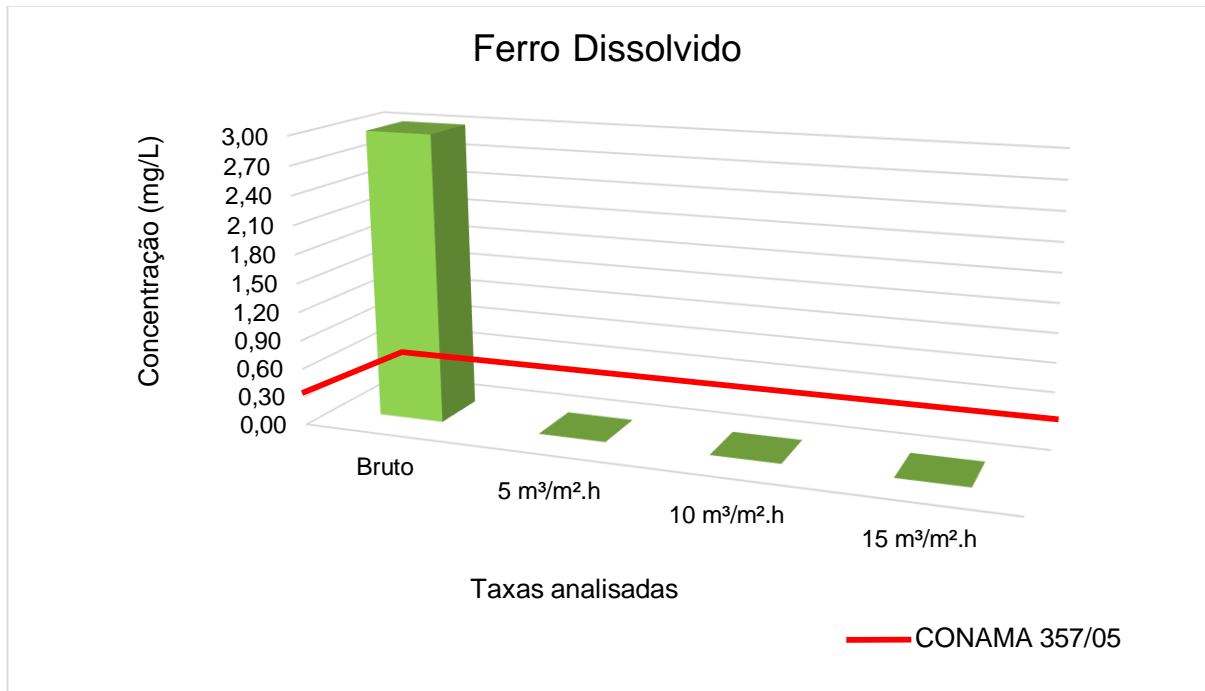


Figura 21 – Gráfico de Remoção do Ferro Dissolvido em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019).

4.4.3 Remoção de Manganês Total

Após filtração foi obtido uma remoção de 100% de manganês total na taxa de 15 m³/m².h, ficando com a concentração final de 0,00 mg/L. Utilizando as taxas de 5 m³/m².h e 10 m³/m².h a remoção foi de 98,33% para ambas, ficando com uma concentração final de 0,05 mg/L.

Ressalta-se que o limite máximo estabelecido pela Conama 357/05 para manganês total de um rio classe 2 é 0,10 mg/L. A Figura 22 apresenta a remoção de manganês total nas taxas analisadas.

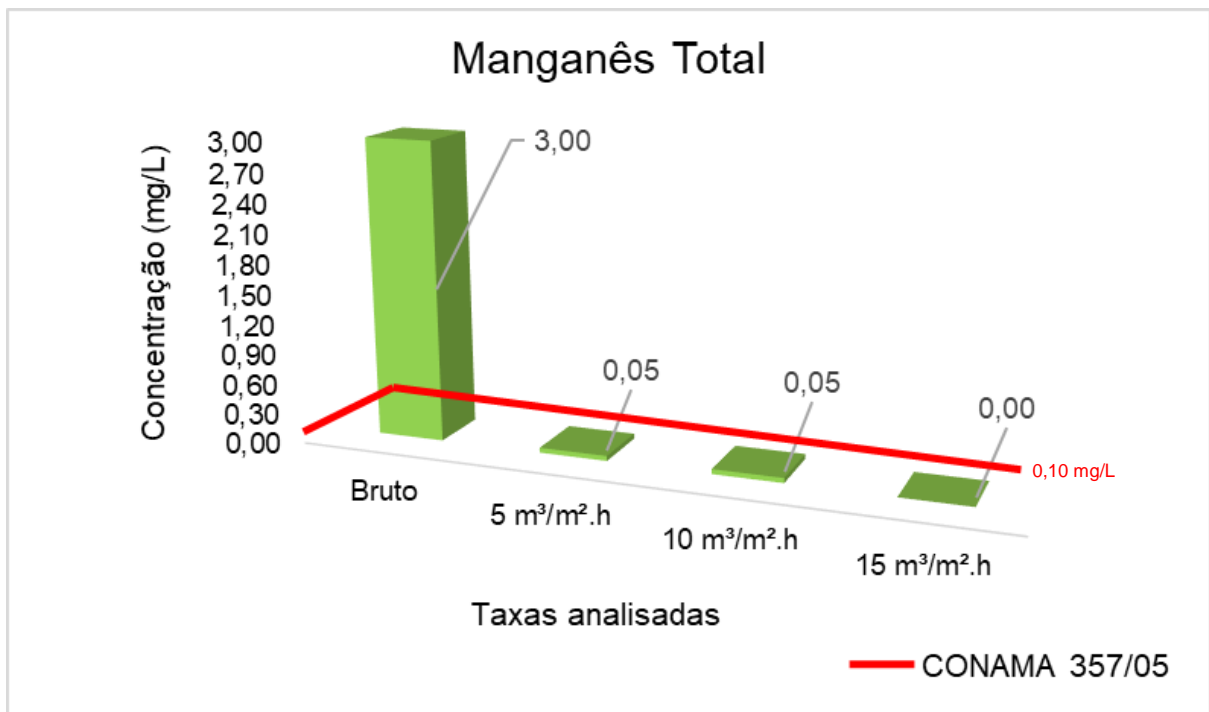


Figura 22 - Gráfico de Remoção de Manganês Total em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019)

4.4.4 Remoção de Níquel Total

A maior remoção de níquel total após filtração foi de 100% na taxa de 15 m³/m².h, ficando com a concentração final de 0,000 mg/L. Na taxa de 5 m³/m².h a remoção foi de 66,66% e a concentração final de 0,002 mg/L. Na taxa de 10 m³/m².h a remoção foi de 33,33% com uma concentração final de 0,004 mg/L. Ressalta-se que o limite máximo estabelecido pela Conama 357/05 para níquel total de um rio classe 2 é 0,025 mg/L. A Figura 23 apresenta a remoção de manganês total nas taxas analisadas.

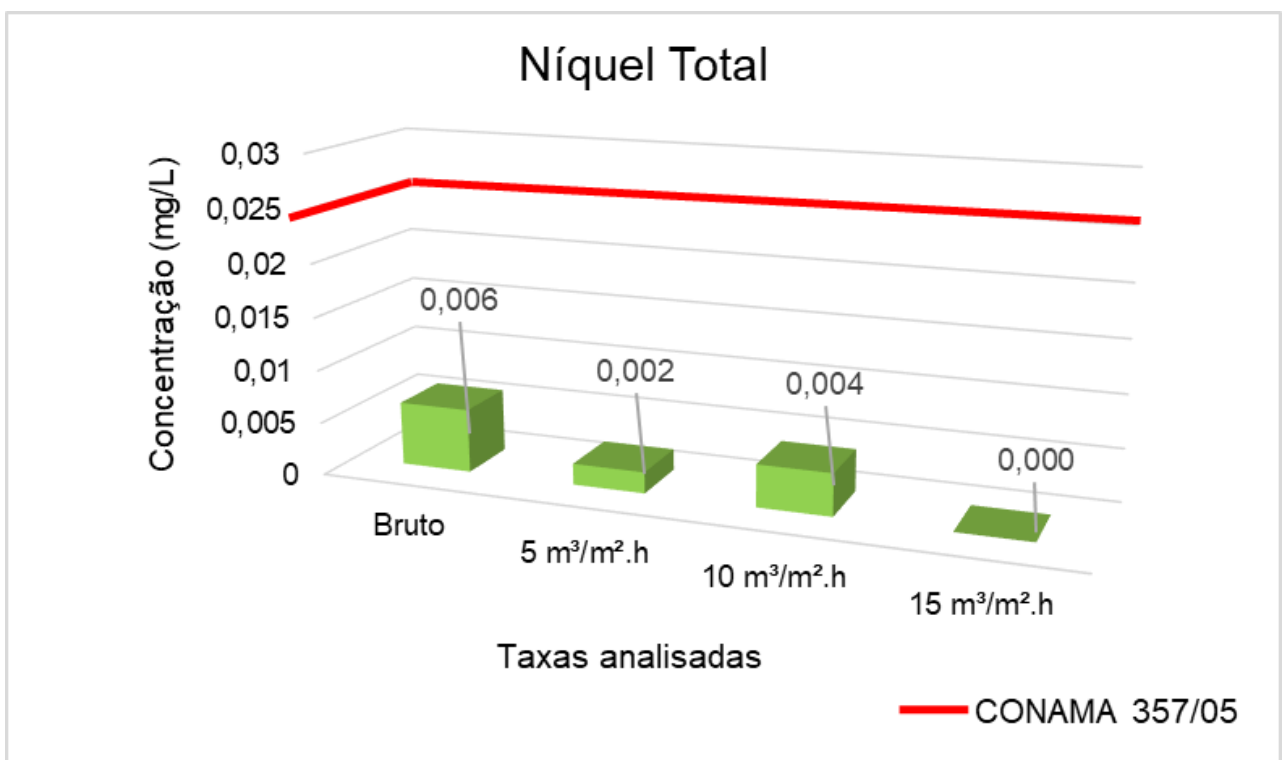


Figura 23 - Gráfico de Remoção de Níquel Total em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019).

4.4.5 Remoção de Chumbo Total

O informativo nº 45 do IGAM demonstra que após o rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão os valores de Chumbo Total no local analisado neste projeto chegaram a 0,09 mg/L, noventa vezes mais do que preconiza a Resolução CONAMA 357/05. Ao analisar a água coletada, a concentração de chumbo se mostrou abaixo dos limites de detecção do aparelho, conforme mostra a Figura 24.

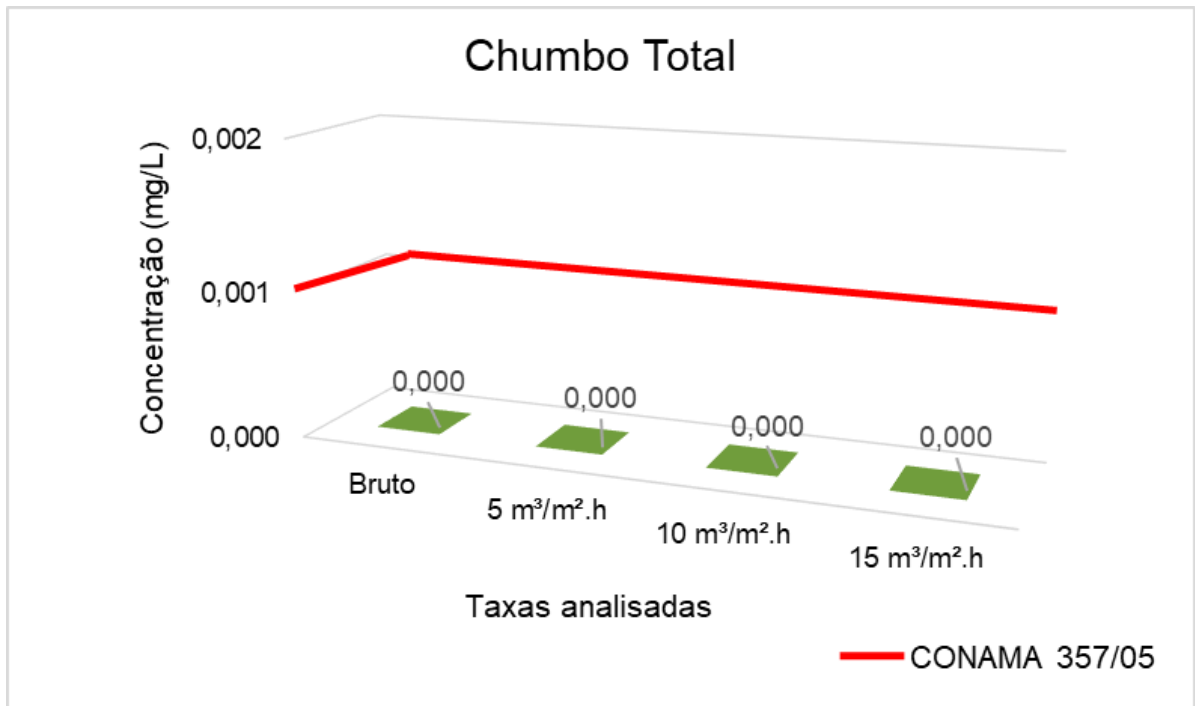


Figura 24 - Gráfico de representação do chumbo total em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019).

4.5 Remoção da Turbidez

Após filtração foi obtido uma remoção de 94,2% de turbidez na taxa de 5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, ficando com o valor de 25,7 NTU. A taxa de 10 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ atingiu uma remoção de 96,04%, atingindo uma turbidez de 17,54 NTU e, a taxa de 15 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, conseguiu 93,5% de remoção da turbidez, ficando com uma turbidez final de 28,84 NTU.

Ressalta-se que o limite máximo estabelecido pela Conama 357/05 para manganês total de um rio classe 2 é 0,10 mg/L. A Figura 22 apresenta a remoção de manganês total nas taxas analisadas.

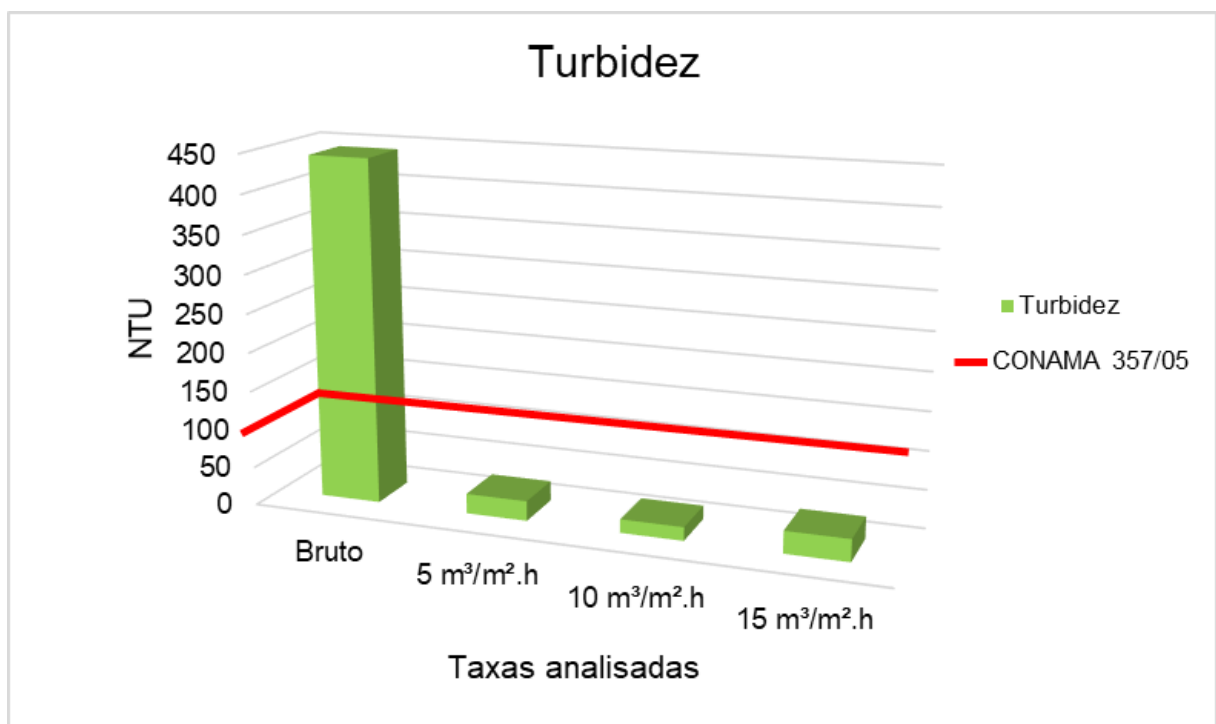


Figura 25 - Gráfico de representação da Turbidez em função das taxas analisadas.
Fonte: Os autores (2019).

4.6 Fluxograma do Processo

Segundo Dym *et al.* (2010), um projeto conceitual de engenharia tem por elemento principal um fluxograma de processo onde cada etapa é mostrada numa sequência lógica e integrada.

Desse modo, a Figura 26 mostra o fluxograma do processo de tratamento da água do Rio Paraopeba, conforme a estrutura utilizada nos ensaios de bancada.

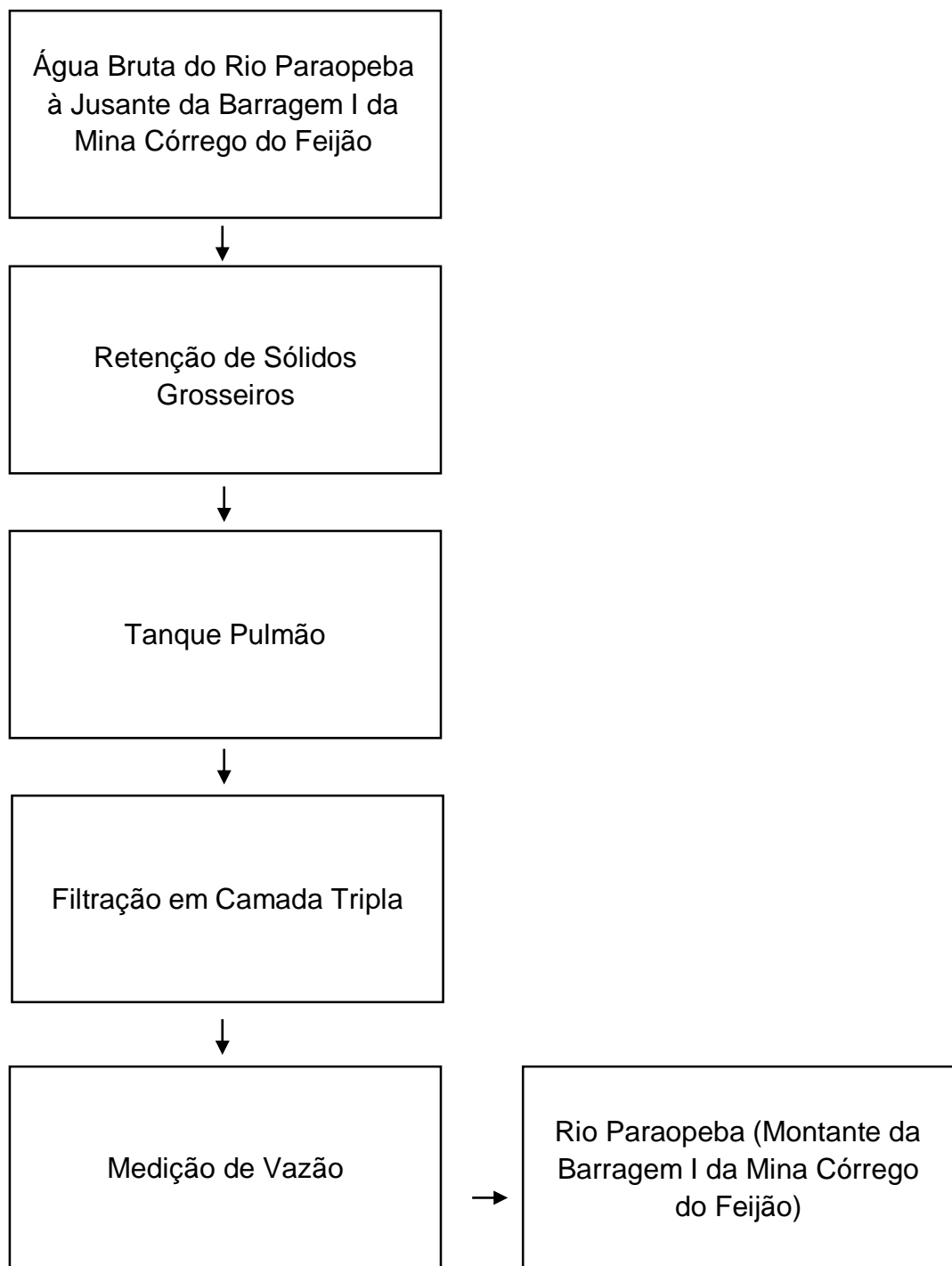


Figura 26 - Fluxograma de Processo do Tratamento da Água do Rio Paraopeba.
Fonte: Os autores (2019).

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados de tratabilidade obtidos, conclui-se que o processo de tratamento proposto com filtro de carvão ativado, resina catiônica e zeólita, atende plenamente aos requisitos de qualidade de água para os parâmetros considerados, contribuindo com o restabelecimento dos usos preponderantes do Rio Paraopeba segundo a Resolução CONAMA 357/2005, especialmente na taxa de 15 m³/m².h onde se obteve remoção de 100% de todos os metais analisados.

No entanto o presente trabalho apresenta limitações que podem influenciar e até mesmo alterar os resultados obtidos. São elas:

- As amostras coletadas para o estudo de tratabilidade podem não possuir as mesmas características daquelas presentes em outros locais do Rio Paraopeba;
- Os resultados obtidos em escala de bancada podem apresentar condições próximas das ideais para tratamento e, tal fato, pode não ser possível se obter em verdadeira grandeza.

Como expectativa de trabalhos futuros tem-se a utilização do presente estudo para a base de projetos hidráulico-sanitário e executivo, visando a implantação de um sistema de condicionamento da água do Rio Paraopeba na forma de recuperação para mais breve possível de seus usos preponderantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (2018). **Anuário Mineral Brasileiro**. 434. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2018.pdf>.

APHA (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington

ARAUJO, E. R.; FERNANDES, F. R. C. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: GUIMARÃES, P. E.; CEBADA, J. D. P. (Ed.). *Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente*. Évora, CETEM, CICP, Rio de Janeiro, p 65–88. 2016.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

____. Decreto Federal nº 24.643 – Código de Águas. Brasília, 1934.

____. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

____. Lei nº. 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, 2000.

____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília, 2010.

____. Ministério da Saúde. *Procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Manual para os responsáveis pela vigilância e controle*. Brasília – 2006. Disponível em: <http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/boas_praticas_agua.pdf>. Acesso em: 04 de Junho de 2019.

____. **Resolução CONAMA nº20**, de 18 de junho de 1986. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. Status: Alterada pela Resolução nº 274, de 2000. Revogada pela Resolução nº 357, de 2005.

____. **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

____. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Publicado no D.O.U.

CARDOZO, F. A. C. & PIMENTA, M. & ZINGANO, A. (2017). **Métodos Construtivos De Barragens De Rejeitos De Mineração – Uma Revisão**. HOLOS. 8. 77. 10.15628/holos.2016.5367.

CARVALHO, R. Uso racional dos recursos hídricos. 2004. 66f. Relatório Final do Projeto PROLICEN – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. A Bacia. Principais Características. 2017.

CHEHEBE, J.R. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro qualitymark., CNI, 1997.

CNDH - Conselho Nacional dos Direitos Humanos. **Relatório da missão emergencial a Brumadinho/MG após rompimento da Barragem da Vale S/A** – Brasília: Conselho Nacional dos Direitos Humanos; 2019

DIAS, C. A., DA COSTA, A. S. V., GUEDES, G. R., DE MATOS UMBELINO, G. J., DE SOUSA, L. G., ALVES, J. H., & SILVA, T. G. M. (2018). **Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce**. Revista Espinhaço, UFVJM, 21-35P.

DI BERNARDO, L. *et al.* Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. 1. ed. São Carlos: ABES, 2003.

DURÃES, M. F. **Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010. 147p

DYM, C.L.; LITTLE, P.; ORWIN, E. J.; SPJUT, R. E. **Introdução à Engenharia: Uma abordagem baseada em projeto**. 3ª Edição. Porto Alegre, Ed. Bookman. 2010.

FRIES, J. e GETROST H. (1977) **Organic Reagents for Trace Analysis**. E. Merck, Darmstadt – Hessen. Alemanha.

FONSECA, R.P. **Tratabilidade da Água dos Rios Doce e Piranga: Parâmetros Otimizados Para O Projeto De Unidades De Coagulação E Floculação**. Monografia. Ouro Preto – MG, 2018.

GEOCONSULTORIA S/C LTDA (2006). **Relatório de Avaliação de Segurança (Carta de Risco)**, 36p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Produto Interno Bruto**, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 03 de junho de 2019.

_____. **Censo Demográfico 2010 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra**. IBGE, 2012. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 02 de maio de 2019

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (2003). **Mineração no Brasil**. 144 p. Manaus, AM. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004226.pdf>>.

_____. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2018**. Organizadores: Rodrigues, C. de P.; Costa, E. R. da. 1.ed. - Brasília: 23 p. IBRAM, 2018

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais da Sub-Bacia do Rio Paraopeba: Relatório Anual 2009**. Belo Horizonte, 2010. 184 p.

____. **Informativo Nº 45 - Informativo dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2019. 173 p.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2016. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1043>. Acesso em: 01 de Junho de 2019.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Escassez Hídrica e Direitos Humanos. **Ambient. soc.**, São Paulo, v. 19, n. 1, mar. 2016.

JIMENEZ, R. S., DAL BOSCO, S. M., & CARVALHO, W. A. (2004). Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita - Influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, 27(5), 734–738.

LINS, F.A. **Remoção de Níquel e Zinco utilizando zeólita natural estilbita através do processo de troca iônica**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MEDEIROS, P. P. (2015). **Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil)**. *Geochimica Brasiliensis*, 29(1), 35-44.

MERCK (1996). Análisis del agua. **Procedimientos analíticos para el análisis del agua**. 1. Ed. Darmstadt – Hessen. Alemanha. Pg. 144.

OLIVEIRA, A. P. A., & DA LUZ, A. B. (2001). **Recursos Hídricos e Tratamento de Águas na Mineração**. (Ricardo Melamed, Ed.). Série Tecnologia Ambiental.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (2017). **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene**. 66 p. Suíça. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>>. Acesso em: 25 de Maio de 2019.

PEREIRA, A. P. **Gestão de resíduos: O caso das barragens da Samarco**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 13. 2016. Anais. p. 1-14.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 14/09/2019 através do link: <<https://mapbiomas.org>>

RAMOS, A. A., DE OLIVEIRA, J. F., NARDI, M. F., & CUNHA, M. A. (2017). **O caso de estudo “Samarco”: Os impactos ambientais, econômicos e sociais, relativos ao desastre de Mariana**. Unisanta BioScience, 6(4), 316-327.

REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Soc. nat.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 375-384, dez. 2016.

RIBEIRO, C. **Estudo do potencial de remoção de metais por calcário dolomítico, escama de peixe e resina catiônica visando o tratamento da água residuária da indústria de baterias**. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2018.

RIBEIRO, D. **Remoção de carga orgânica por coagulação/floculação e adsorção com carvão ativado em efluente industrial de empresa metalmeccânica produtora de ar condicionados**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O quadrilátero ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Geonomos**, v.18, n.1, pp. 33-37. 2010.

ROMÃO, A. *et al.* Avaliação preliminar dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG). In: **DESASTRE DA VALE EM BRUMADINHO: Impactos sobre a saúde e desafios para a gestão de riscos**, 2019, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ENSP, ICICT, IOC, 2019.

SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP NTS 008, Turbidez: Método de Ensaio.** 1999. São Paulo, Brasil, 1999. Disponível no site: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts008.pdf> acessado em 02 de setembro de 2019.

SIAM – Sistema Integrado de Informação Ambiental. Legislação Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=112>>. Acesso: 24 de Maio de 2019.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. Revista Espaço da Sophia, São Paulo, n. 8, p. 37- 45, nov. 2007.

SILVA, L. C. S; MARINHO, D.Y.; DA SILVA FILHO, C. M.; SILVA, E. C. S; ESPINOSA, J. W. M. **Gestão de Resíduos Industriais: Um Estudo do Aproveitamento de Rejeitos na Mineração.** Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, Sergipe, 2017.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

SOBREIRA, F. G., FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. **Revista Geotecnia.** n. 92, p.5-27, 2001.

SWRCB. **Electrical Conductivity/Salinity Fact Sheet.** In: **The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board,** 2002. Disponível em: <http://www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf>. Acesso em: 01 de Junho de 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Registros Fotográficos

Este capítulo tem por objetivo situar o leitor quanto a realidade encontrada pelos autores no município de Brumadinho em maio de 2019. As Figuras 27 e 28 ilustram as estradas da cidade tomadas pela lama de rejeitos da barragem rompida.



Figura 27 - Estrada de acesso ao município de Brumadinho.
Fonte: Os autores (2019).



Figura 28 - Rua tomada pela lama de rejeitos de mineração.
Fonte: Os autores (2019).

A Mina Córrego do Feijão ficou mundialmente conhecida após o rompimento da barragem B1 em janeiro de 2019. A Figura 29 sinaliza o acesso ao local.



Figura 29 - Placas indicando acesso à Mina Córrego do Feijão.
Fonte: Os autores (2019).

O desastre ocorrido deixou um rastro de destruição no Rio Paraopeba conforme mostrado nas Figuras 30 e 31.



Figura 30 - Manchas de rejeitos de mineração no Rio Paraopeba.
Fonte: Os autores (2019).



Figura 31 - Acúmulo de sedimentos de rejeitos na margem do Rio Paraopeba.
Fonte: Os autores (2019).

O acesso à margem do rio foi dificultoso devido à quantidade de amostras a serem coletadas, ao excesso de capim no caminho e aos sedimentos movediços que se alocaram na margem. A Figura 32 demonstra o momento que antecedeu a coleta.



Figura 32 - Acesso à margem do Rio Paraopeba no município de São Joaquim de Bicas.
Fonte: Os autores (2019).

O desastre causou uma enorme comoção, não só no Brasil, mas também, em toda a comunidade internacional. A cidade ficou marcada pela destruição de centenas de famílias e, para exteriorizar tamanha dor, moradores ornamentaram diversos pontos da cidade conforme ilustrado nas Figuras 33, 34 e 35.



Figura 33 - Monumento na entrada da cidade de Brumadinho com cruzes representando as vítimas.
Fonte: Os autores (2019).



Figura 34 - Ponte sobre o Rio Paraopeba pintada demonstrando apoio ao município.
Fonte: Os autores (2019).

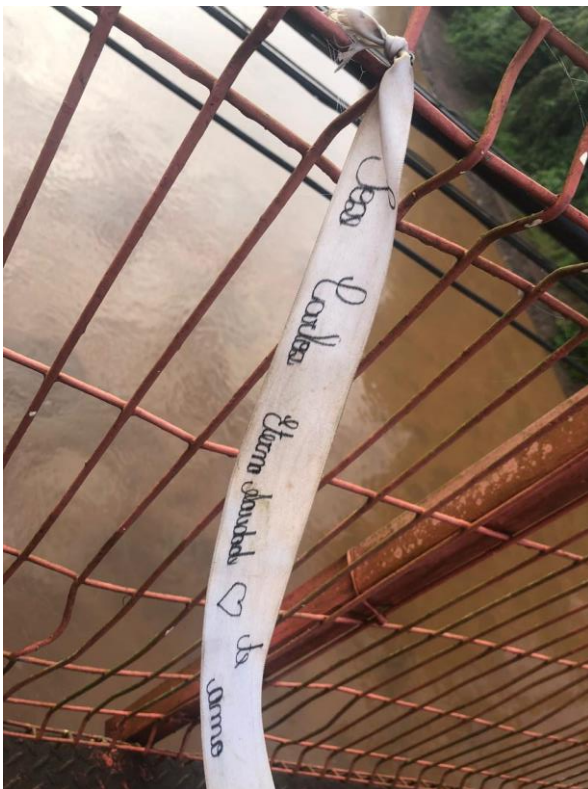


Figura 35 - Homenagem ao morador José Carlos Domenequete, que trabalhava no momento do rompimento e foi sepultado em 4 de fevereiro de 2019.
Fonte: Os autores (2019).