

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL E
SUSTENTABILIDADE**

THIAGO MOTTA ALVES

**QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DOCE EM COLATINA-ES APÓS O
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO, MARIANA-MG**

Ibatiba

2020

THIAGO MOTTA ALVES

**QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DOCE EM COLATINA-ES APÓS O
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO, MARIANA-MG**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação *Lato sensu* em Educação Ambiental e Sustentabilidade do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Wallisson da Silva Freitas

Ibatiba

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Ifes - Campus Ibatiba)

A474q Alves, Thiago Motta, 1992-
Qualidade da água do rio Doce em Colatina-ES após o rompimento da barragem de Fundão, Mariana-MG / Thiago Motta Alves. - 2020.
42 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Wallisson da Silva Freitas.
Monografia (especialização) - Instituto Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação *Lato sensu* em Educação Ambiental e Sustentabilidade, 2020.

1. Educação Ambiental e Sustentabilidade - Monografias. 2. Barragens de rejeitos - Minas e Mineração. 3. Impacto ambiental. 4. Água - Qualidade. 5. Doce, Rio (MG e ES). I. Freitas, Wallisson da Silva. II. Instituto Federal do Espírito Santo. Campus Ibatiba. III. Título.

CDD 363.7

THIAGO MOTTA ALVES

**QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DOCE EM COLATINA-ES APÓS O
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO, MARIANA-MG**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação *Lato sensu* em Educação Ambiental e Sustentabilidade do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade.

Aprovado em 21 de maio de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Wallisson da Silva Freitas
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Benvindo Sirtoli Gardiman Junior
Instituto Federal do Espírito Santo
Membro Interno

Prof^a. Dr^a. Fabricia Benda de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Externo

O sertão vai virar mar
É o mar virando lama
Gosto amargo do Rio Doce
De Regência a Mariana.

Gabriel Contino; Ricardo Cruz, 2016.

RESUMO

No dia 05 de novembro de 2015, a “Barragem de Fundão”, situada em Mariana-MG e explorada pela mineradora Samarco, colapsou, lançando no meio ambiente cerca de 34 milhões de m³ de rejeitos. O rompimento afetou inicialmente o rio Gualaxo, afluente do rio Carmo, que a seu turno deságua no rio Doce, curso d’água de grande importância regional, responsável pelo abastecimento de diversos municípios nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Pelo presente estudo, almejou-se comparar os laudos de análises da água do Rio Doce apresentados por empresas e organizações não-governamentais, tais como SOS Mata Atlântica, Greenpeace, SANEAR, Fundação Renova, IEMA, ANA e CPRM , a fim de se verificar a evolução da qualidade da água a partir dos parâmetros de oxigênio dissolvido, manganês, alumínio, ferro e turbidez após o desastre. Para tanto, foram tomadas por base os resultados das análises de água bruta e potável coletadas no município de Colatina/ES. Pelo comparativo das análises obtidas foi possível constatar a divergência entre as análises realizadas pela Fundação Renova (instituição responsável pela recuperação da bacia do Rio Doce após a tragédia) e organizações não-governamentais como a SOS Mata Atlântica e Greenpeace. Tal fato, aliado ao escasso controle governamental sobre a questão, torna obscuro o real estado de qualidade da água do Rio Doce no município de Colatina após o desastre ambiental.

Palavras chave: Análises. Elementos químicos. Rejeito de minério.

ABSTRACT

On November 5, 2015, Fundão's dam, located in Mariana-MG and exploited by the mining company Samarco, collapsed, launching into the environment about 34 million m³ of iron ore tailings. The dam burst affected Rio Gualaxo, affluent of Rio Carmo, which flows into Rio Doce, watercourse of huge regional relevance, responsible for water supply in several counties in the states of Minas Gerais and Espírito Santo. This study aimed to compare Rio Doce's water analysis presented by companies and non-governmental organizations, to verify the evolution of water quality after the disaster. For that, raw and drinkable water samples were taken in the city of Colatina. By comparing the analyzes it was possible to verify the divergence between the studies held by Renova Foundation (responsible institution for Doce river's recovery project) and non-governmental organizations, as SOS Mata Atlântica and Greenpeace. This fact, added to the scarce governmental control over the issue, makes the real situation of Rio Doce's water quality in Colatina unclear after the environmental disaster.

Keywords: Analysis. Chemical elements. Iron ore tailings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Peixe morto pela onda de rejeitos de minério de ferro no Rio Doce em 2015.	27
Figura 2 – Vista aérea do ponto de localização da Estação de Coleta de Dados no município de Colatina.....	29
Figura 3 – Imagem detalhada da estação de coleta de dados hidrometeorológicos do ponto em Colatina-ES.	29
Figura 4 – Parâmetros analisados pela Fundação Renova no período de agosto de 2017 a outubro de 2018 em Colatina-ES.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise dos parâmetros de oxigênio dissolvido, turbidez, ferro dissolvido e manganês total da ANA/CPRM, SOS Mata Atlântica e IEMA na primeira quinzena de dezembro de 2015 e 2016 no ponto latitude 19,54 S e longitude 40,64 O localizado em Colatina-ES.....	32
Tabela 2 – Concentrações de Ferro e Manganês em água bruta provenientes do Rio Doce em Colatina-ES no período de junho de 2016 a janeiro de 2017, obtidas pelo Greenpeace.	33
Tabela 3 – Análise dos parâmetros de turbidez, alumínio, ferro e manganês em água tratada conforme a Sanear na primeira quinzena de dezembro dos anos de 2015 e 2016 no ponto localizado em Colatina-ES.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Áreas de Preservação Permanente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPI – Comissão Parlamentar de Inquérito

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EPTs – Elementos Potencialmente Tóxicos

ETA – Estação de Tratamento de Água

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ONG – Organização Não Governamental

PMQQS – Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	A HISTÓRIA DA MINERAÇÃO E DA SAMARCO NO BRASIL	13
2.2	BARRAMENTO DE REJEITOS	15
2.3	O DESASTRE	16
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUAS.....	19
2.5	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	20
2.6	CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	23
2.7	IMPACTOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NO RIO DOCE	24
2.8	IMPACTOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NO MUNICÍPIO DE COLATINA.....	25
3	METODOLOGIA	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Na história da mineração brasileira e mundial, acidentes podem ocorrer com relativa frequência. Alguns sequer chegam a serem noticiados pela grande mídia, passando despercebidos pela maioria da população. No entanto, a tragédia ocasionada pelo rompimento da barragem de Fundão foi particularmente dramática, haja vista suas consequências socioambientais de grande amplitude (LOPES, 2016).

O colapso da barragem de Fundão foi o maior desastre ambiental da indústria de mineração mundial. Quando comparado aos casos que registram o maior número de mortes, o caso de Fundão (19 mortes) é o nono caso mais grave do século passado. Os três desastres que causaram o maior número de mortes foram: Bulgária, 1966, rejeitos de chumbo-zinco (488 mortes); Chile, 1965, rejeitos de cobre (300) e China, 2008, rejeitos de ferro (277) (DO CARMO et al., 2017).

Em 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração Fundão, instalada em Mariana-MG, que se localiza na Região Sudeste do país. Sua população estimada em 2018 era de cerca de 60 mil habitantes e a economia local dependia principalmente do turismo e da extração de minérios (GUIMARÃES, 2017).

A extração do minério de ferro é a principal atividade industrial do município, fonte geradora de empregos e receita pública. Seus distritos desenvolvem atividades agropecuárias e apresentam artesanato variado, expressando a diversidade cultural de Minas Gerais (FUNDAÇÃO RENOVA, 2020a).

A comunidade de Bento Rodrigues, subdistrito de Santa Rita Durão, distrito de Mariana-MG, foi a primeira a ser atingida pelo rompimento da barragem de Fundão. Até 2015, a mineração era responsável por movimentar sua economia, além da agricultura familiar e de subsistência realizada às margens de seu principal rio, o Gualaxo do Norte. Desde o rompimento, ações emergenciais foram executadas, como auxílio financeiro, moradias temporárias para as famílias atingidas e atendimentos nas áreas de saúde e psicossocial (FUNDAÇÃO RENOVA, 2020a).

Dentre as diversas consequências do desastre têm-se os impactos na qualidade da água do rio Doce e, conseqüentemente, no abastecimento público de água das cidades que captam água diretamente deste manancial (GUIMARÃES, 2017).

O rompimento da barragem de Fundão provocou a liberação de cerca de trinta e quatro milhões de metros cúbicos de rejeito no meio ambiente, atingindo Áreas de Preservação Permanente (APP), provocando alteração na qualidade dos cursos d'água e a mortandade de organismos aquáticos (em particular peixes e invertebrados), principalmente pela quantidade de sedimentos que ficaram disponíveis na coluna d'água (BRASIL, 2015).

O rompimento da barragem afetou o rio Gualaxo, que é afluente do rio Carmo, o qual deságua no Rio Doce, um rio que abastece uma grande quantidade de cidades. À medida que a lama atingiu os ambientes aquáticos, causou a morte de organismos ali encontrados, como algas e peixes. Após o acidente, vários peixes morreram em razão da falta de oxigênio dissolvido na água e também em consequência da obstrução das brânquias. O ecossistema aquático desses rios foi completamente afetado e, conseqüentemente, os moradores que se beneficiavam da pesca (SANTOS, 2020).

A grande quantidade de lama lançada no ambiente afetou os rios não apenas no que diz respeito à vida aquática. Muitos desses rios sofreram com assoreamento, mudanças nos cursos, diminuição da profundidade e até mesmo soterramento de nascentes. A lama, além de causar a morte dos rios, destruiu uma grande região ao redor desses locais. A força dos rejeitos arrancou a mata ciliar e o que restou foi coberto pelo material (SANTOS, 2020).

Após o Rio Doce receber a lama de rejeitos de minério oriunda do rompimento da barragem da mineradora em Mariana, Minas Gerais, a Justiça Federal determinou que a Samarco distribísse água mineral ao município de Colatina-ES, já que a captação estava comprometida. De acordo com a Samarco, desde o início do fornecimento, em 17 de novembro, até o dia 17 de dezembro de 2015, foram distribuídos mais de 6 milhões de litros de água mineral (SÁ; NOSSA, 2015).

Desse modo, objetivou-se neste trabalho comparar e avaliar os resultados dos

parâmetros químicos de qualidade da água bruta, oxigênio dissolvido, alumínio, turbidez, ferro e manganês, para fins de tratamento para potabilidade, no Rio Doce, município de Colatina, ES, disponibilizados pelas empresa IEMA, ANA, CPRM, SOS Mata Atlântica, Greenpeace e Fundação Renova. Especificamente objetivou-se fazer uma revisão bibliográfica sobre os impactos ambientais causados pela rompimento da barragem; comparar e avaliar os resultados dos parâmetros químicos de qualidade da água tratada da empresa SANEAR.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A HISTÓRIA DA MINERAÇÃO E DA SAMARCO NO BRASIL

A história do Brasil está ligada à história das atividades de extrativismo desde o descobrimento em 1500. Logo após a chegada dos portugueses, o governo lusitano incentivou várias expedições para buscar ouro e pedras preciosas, principalmente em áreas mais distantes do litoral brasileiro. A mineração foi uma das grandes responsáveis pela ocupação territorial e um dos setores básicos da economia nacional (LIMA, 2003).

As entradas e bandeiras, expedições realizadas no interior do País, percorreram todo o nosso território em busca de metais valiosos (ouro, prata, cobre) e pedras preciosas (diamantes, esmeraldas). O sucesso em Minas Gerais animou as buscas de minerais em direção a outras regiões interioranas, e as consequentes descobertas: em 1718, na Bahia (Jacobina e Rio de Contas); no mesmo ano, em Mato Grosso (Rio Coxipó-Mirim); em 1719, em Goiás; a partir de 1730, na região do Alto Amazonas (rios Madeira, Jamari, Corumbiara e Parecis); o encontro dessas novas jazidas acabou por expandir o território da América portuguesa até o sopé da cordilheira andina (SOUZA, 2020).

O clímax da mineração aurífera em terras brasileiras ocorreu entre 1739 e 1779, com Minas Gerais liderando a produção. As casas de fundição recebiam o ouro em pó, pesavam-no, separavam o quinto para a Coroa e fundiam as porções remanescentes em fornos, tentando eliminar as impurezas, moldando-o em barras, as quais eram pesadas e registradas (FIGUERÔA, 2006).

O panorama da mineração no Brasil mudou a partir do século XX, principalmente entre as décadas de 1930 e 1980. Naquela época, por meio de uma política governamental baseada principalmente em subsídios, ou seja, incentivos financeiros diretos do governo ao setor, começa a se profissionalizar. Isso serviu para criar a base de uma economia industrial. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 1950 a contribuição da mineração para a produção total e PIB do país era de 0,4%.

Já em 1980 correspondia a cerca de 1,0% (LIMA, 2003).

Em 1973 foi fundada a Samarco Mineração S.A., uma sociedade de economia fechada, criada para promover o conjunto de operações que vai desde a extração mineral, passando pelo processamento secundário, até o transporte transoceânico de *pellet feed* e, principalmente, de pelotas de minério de ferro. Atualmente é controlada pela Vale S.A. e a anglo-australiana BHP Billiton, cada uma com 50% das ações da empresa (WANDERLEY, et al, 2016).

As operações da Samarco envolvem as atividades de: extração (em três cavas principais no complexo de Alegria, em Mariana); beneficiamento primário (envolvendo três usinas de concentração mineral); logística dutoviária (com três minerodutos); pelotização (em quatro unidades localizadas no Espírito Santo); e transporte transoceânico (por meio do terminal de Uso Privativo de Ponta Ubu) de pelotas, principalmente, e finos de minério de ferro, direcionados a mercados da África e Oriente Médio (23,1%), Ásia - exceto China - (22,4%), Europa (21%), Américas (17%) e China (16,5%) (MILANEZ et al., 2016).

Em 5 de novembro de 2015 a mineradora ganhou destaque após ser protagonista do maior desastre ambiental registrado no Brasil até então: o rompimento de barragem em Bento Rodrigues. As barragens de rejeitos faziam parte da Mina de Germano, que integra o chamado Complexo de Alegria, situado no distrito de Santa Rita Durão do município de Mariana, no estado de Minas Gerais (WANDERLEY, et al, 2016).

Em 2015 a mineradora era a décima maior exportadora do Brasil, com clientes em mais de 20 países. No mesmo ano a Samarco transferiu ao município de Mariana cerca de R\$ 37,4 milhões relativos ao tributo da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, cuja alíquota é de 2% sobre o valor líquido da venda do minério (RAMALHOSO, 2020).

Em sua história recente, a Samarco esteve envolvida em diversos episódios causadores de danos socioambientais nas áreas onde pratica a atividade da mineração. Reportam-se, por exemplo, ao menos cinco outros episódios de rompimento de estruturas, sendo que em quatro desses episódios houve vazamentos

de lama que mataram peixes e paralisaram a captação de água. Além desses vazamentos, no ano de 2014 a empresa foi uma das responsáveis pela poluição acentuada na capital do Espírito Santo, Vitória, que resultou na CPI do Pó Preto (MILANEZ et al., 2016; SANTANA, 2020).

2.2 BARRAMENTO DE REJEITOS

Barragens são construídas pela humanidade há milênios para diversos fins, como: armazenamento de água, controle de vazões, geração de energia hidrelétrica, entre outros. Com o avanço da exploração mineral e a necessidade de conservação socioambiental relacionada com a mesma, o assunto barragem de rejeitos vem merecendo grande atenção, devido a seu potencial danoso em caso de falhas (CARDOZO; PIMENTA; ZINGANO, 2016).

Diferente de barragens convencionais, que normalmente barram água, barragens de rejeito armazenam rejeitos dos processos minerais que podem variar de materiais arenosos não plásticos (rejeitos granulares) até solos de granulometria fina e alta plasticidade (ARAÚJO, 2006).

Kossoff et al. (2014) definem os rejeitos destinados a barragens como mistura de rocha cominuída e os fluidos do processo de beneficiamento; então apresentam como característica física: granulometria fina e forma angular; e composição química dependente da composição da rocha de origem e dos reagentes utilizados no processamento mineral.

Segundo Cardozo, Pimenta e Zingano (2016) existem três metodologias construtivas para barragens de rejeito: a jusante, linha de centro e a montante, que foi utilizado na barragem que se rompeu em Mariana.

O método a jusante consiste na construção e alteamento do barramento sempre a jusante. A principal vantagem do método a jusante está na sua resistência a carregamentos dinâmicos. Isto deve-se ao fato de escalonar a construção sem interferir na segurança, de forma a facilita a drenagem, possui baixa susceptibilidade

de liquefação e simplicidade na operação (CARDOZO et al. 2016).

O método a montante consiste na construção e alteamento do barramento sempre à montante sobre o rejeito já consolidado. Embora este seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método a montante apresenta um baixo controle construtivo tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. O alteamento é utilizado para ampliar a capacidade de barragens de rejeito. O método para montante, menos oneroso aos empreendimentos, é apontado como o mais suscetível a rupturas, e está relacionado a todos os acidentes de grande impacto envolvendo estruturas de contenção de rejeitos de minério em Minas Gerais, desde o ano de 2001 (ARAÚJO, 2006).

O Decreto estadual 46.993/2016, do Estado de Minas Gerais, com fundamento no princípio da prevenção, instituiu medidas mais rígidas para todos os empreendimentos que fazem a disposição de rejeitos de mineração em barragens que utilizem ou que tenham utilizado esse método de alteamento, além de suspender o licenciamento ambiental de novas barragens em que se pretendia utilizá-lo (THOMÉ; PASSINI, 2018).

O método da linha de centro consiste na construção e alteamento do barramento tanto à montante quanto à jusante, acompanhando um eixo vertical, chamado de linha de centro, sobre o rejeito depositado a montante e sobre o próprio barramento à jusante. Esse é um método intermediário que tenta minimizar as desvantagens entre o método de montante e o de jusante (PASSOS, 2009).

2.3 O DESASTRE

A barragem de Fundão foi criada com o objetivo de receber os rejeitos provenientes do processo de extração de minério de ferro da mineradora Samarco S/A, e estava localizada num complexo que se chamava “Alegria” (LOPES, 2016).

A barragem continha 50 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração de ferro. Tratava-se de resíduos classificados como não perigosos e não inertes para ferro e manganês conforme NBR 10.004 (BRASIL, 2015).

No dia 05 de novembro de 2015, por volta das 16 horas, a barragem de Fundão entrou em colapso. Com a ruptura, cerca de 34 milhões de m³ de rejeitos de minério, foram diretamente lançados no meio ambiente, atingindo posteriormente a barragem de Santarém, que se localizava abaixo da barragem de Fundão e continha apenas água. Cerca de 16 milhões de m³ restantes na barragem de Fundão continuaram sendo despejados, vagarosamente, seguindo o sentido da correnteza das águas em direção à foz do Rio Doce, no oceano espírito-santense (BRASIL, 2015).

Simultaneamente ao rompimento da barragem de Fundão e o consequente transbordamento da barragem de Santarém, formou-se uma devastadora *tsunami* de lama residual que destruiu completamente o subdistrito Bento Rodrigues e causou sérios transtornos a outros sete distritos de Mariana/MG, além de contaminar importantes rios da bacia do Rio Doce (LOPES, 2016).

O distrito de Bento Rodrigues, que possuía uma população de cerca de 612 habitantes, localizado na cidade mineira de Mariana, foi o primeiro a receber o impacto da onda de rejeitos. Devido à violência da enxurrada, o pequeno povoado simplesmente desapareceu – soterrado em um mar de lama. Todos os sobreviventes ficaram desabrigados, pois suas casas, igrejas e colégios foram arrastados e destruídos pela força descomunal da avalanche (LOPES, 2016).

Bento Rodrigues, com 317 anos de existência, abrigava igrejas centenárias com obras sacras importantes e monumentos de notória relevância cultural, além de fazer parte da rota da Estrada Real no século XVII. Além das perdas de vidas humanas, cujos valores são incalculáveis, em apenas onze minutos de avalanche todo patrimônio histórico e cultural, construído ao longo de séculos, fora dizimado pelo mar de rejeitos (GONÇALVES; VESPA; FUSCO, 2015).

O rejeito despejado apesar de não ser tóxico para o ser humano, já que é formado basicamente por sílica, afetou imensamente o meio ambiente. O rejeito possuía altos níveis de areia e lodo e baixo teor de argila. As densidades do solo e das partículas eram altas e a porosidade baixa. O pH era alcalino, os níveis de matéria orgânica e nutrientes vegetais eram muito baixos. Os metais pesados trocáveis Zn, Cd, Cu, Pb e Ni eram muito baixos e o conteúdo trocável de Mn dos rejeitos era alto. Os minerais

mais abundantes do rejeito despejado eram quartzo e hematita. Os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos rejeitos de minas restringem a restauração da vegetação nativa ou o uso agrícola dos terraços fluviais nos quais foram depositados. A lama avermelhada deve causar danos em todo o ecossistema da região, impactando por anos seus rios, fauna, solo e até os moradores, no sentido de que o trabalho deles, como a agricultura, pode se tornar impraticável (SILVA et al., 2017).

Com a contaminação a qualidade da água dos rios foi diretamente afetada. Devido ao alto grau de turbidez, as águas ficaram momentaneamente impróprias para o consumo humano e para a agropecuária. Todas as cidades que dependiam do rio Doce para o abastecimento de água à população tiveram que interromper sua captação (LOPES, 2016).

Diversos produtores rurais que dependiam exclusivamente do Rio Doce para irrigar as plantações, perderam lavouras inteiras depois da chegada da lama de rejeitos no Estado do Espírito Santo (GREENPEACE, 2017).

De acordo com Gonçalves, Vespa e Fusco (2015) a barragem funcionava através de um método tradicionalmente utilizado no mundo todo: o aterro hidráulico. No aterro hidráulico, os resíduos separados do ferro durante o processo de mineração são escoados até as bacias (barragens) por força da ação gravitacional. Já a filtração da água é realizada pela areia, localizada estrategicamente na parte frontal dessas bacias.

Atualmente existem técnicas mais modernas que permitem a drenagem mais segura dos resíduos da mineração através de filtros. No entanto, esse novo sistema eleva em até seis vezes os custos de produção, o que tem inviabilizado sua utilização pela maioria das empresas. Desta forma, as mineradoras preferem assumir os riscos advindos da utilização de sistemas mais tradicionais e menos onerosos (GONÇALVES; VESPA; FUSCO, 2015).

Segundo Lopes (2016), especialistas são uníssomos em afirmar que a utilização de técnicas mais modernas de filtração dos resíduos, a manutenção correta das barragens, a utilização de instrumentos de monitoramento eletrônico, a

implementação de sistemas de alerta, a adoção de planos emergenciais e, sobretudo, uma fiscalização séria e eficiente pelos órgãos competentes são medidas que, se estivessem em pleno funcionamento, certamente teriam evitado o desastre ou minimizariam seus impactos socioambientais.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUAS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em sua Resolução número 357/2005 e complementada pela Resolução 430/2011, define a classificação das águas do território nacional com os seguintes objetivos: assegurar seus usos preponderantes; definir o grau de exigência para tratamento de efluentes; facilitar o enquadramento e o planejamento do uso de recursos hídricos, criando instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas; e preservar a saúde humana e o equilíbrio ecológico aquático (CONAMA, 2005).

Estabeleceu-se a divisão das águas em três grandes grupos: doces, salobras e salinas. As primeiras, usualmente empregadas para consumo humano são subdivididas em classes segundo Resolução CONAMA, 2005:

a) Classe Especial – Águas destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e proteção integral.

b) Classe 1 – Águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como, natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama no 274/2000;
- à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película;
- à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

- c) Classe 2 – Águas que podem ser destinadas:
- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
 - À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
 - À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
 - À aquicultura e à atividade de pesca.
- d) Classe 3 – Águas que podem ser destinadas:
- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
 - à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
 - à pesca amadora;
 - à recreação de contato secundário;
 - à dessedentação de animais.
- e) Classe 4 – Águas que poder destinadas:
- à navegação;
 - à harmonia paisagística.

De acordo com o artigo 42 da Resolução Conama nº 357/2005, as águas do rio Doce – objeto de estudo desta monografia – são consideradas Classe 2, podendo ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à recreação; irrigação de hortaliças; e à aquicultura (CONAMA, 2005).

2.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades humanas. Para caracterizar a água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (MOTA, 2003).

Segundo Jesus e Souza (2013) os parâmetros de qualidade da água abordados no presente estudo podem ser definidos da seguinte maneira:

- Turbidez: presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas.
- Oxigênio Dissolvido (OD): é indispensável aos organismos aeróbios; a água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura; águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica; a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água; dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, ou zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios.
- Ferro e manganês: podem originar-se da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais; causam coloração avermelhada à água, no caso do ferro, ou marrom, no caso do manganês, manchando roupas e outros produtos industrializados; conferem sabor metálico à água; as águas ferruginosas favorecem o desenvolvimento das ferrobactérias, que causam maus odores e coloração à água e obstruem as canalizações.
- Alumínio: a presença de alumínio está relacionada com a turvação da água e também com os valores de alcalinidade. Assim, quanto maior for a turvação e alcalinidade maior será a concentração de alumínio na água.

A informação sobre a qualidade da água de corpos hídricos é essencial na elaboração de diagnósticos ambientais para licenciamento de diferentes tipos de atividades e empreendimentos com potencial poluidor dos recursos hídricos, como aterros sanitários, armazenamento temporário de resíduos sólidos, lançamento de efluentes em corpos d'água, atividades de mineração e indústrias diversas. A ferramenta que se utiliza na obtenção de dados e geração destas informações é o monitoramento da qualidade da água (FEITOSA et al., 2004).

Do tratamento ao consumo várias interferências podem comprometer a qualidade da água tratada, por exemplo: as condições de segurança dos reservatórios de

distribuição, a falta de manutenção na rede de distribuição (vazamentos, limpeza e descarga periódica), a intermitência do abastecimento gerando risco de contaminação na rede e as condições de armazenamento domiciliar (BRASIL, 2006).

A água contaminada veicula inúmeros agentes infecciosos causadores de enterites e diarreias infantis, principais fatores do elevado índice de mortalidade infantil no país. A disponibilidade de recursos hídricos no nosso país é bastante comprometida, do ponto de vista sanitário, em regiões onde o desenvolvimento se processou de forma desordenada, provocando a poluição das águas pelo lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes (BRASIL, 2017).

Desse modo, a garantia da potabilidade da água consumida depende, principalmente, de uma avaliação integrada da sua qualidade ao longo do abastecimento, do manancial ao consumidor (BRASIL, 2006).

A qualidade da água para consumo humano deve ser considerada, portanto, como fator essencial no desenvolvimento das ações dos Serviços de Abastecimento de Água, quer públicos ou privados, de maneira que a água distribuída ao usuário tenha todas as características de qualidade determinadas pela legislação vigente (BRASIL, 2017).

Os programas de monitoramento da qualidade da água devem abranger a coleta e a análise laboratorial de amostras em diversos pontos: água bruta, água tratada, na entrada do sistema de distribuição, ao longo da rede de distribuição, e em pontos de consumo (BRASIL, 2006). Estas amostras devem estar de acordo com os parâmetros necessários para fins de potabilidade descritos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017.

A Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) se refere à água bruta ainda nos copos d'água e a Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017 dispõe sobre padrões de potabilidade da água, ou seja, como a água deve sair das Estações de Tratamento para ser distribuída.

O monitoramento realizado pela vigilância da qualidade da água para consumo humano possui os seguintes objetivos (BRASIL, 2006):

- avaliar a qualidade da água consumida pela população;
- aferir o monitoramento realizado pelo controle da qualidade da água;
- avaliar a eficiência do tratamento da água;
- avaliar a integridade do sistema de distribuição;
- subsidiar a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade;
- identificar pontos críticos/vulneráveis (fatores de risco) em sistemas e soluções alternativas de abastecimento;
- verificar se as condições de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica interferem na qualidade da água bruta e/ou tratada;
- verificar se o tratamento empregado é adequado às características da água do manancial de captação;
- identificar grupos populacionais expostos a situações de risco.

2.6 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

O controle da qualidade da água para consumo humano é de responsabilidade do sistema ou de solução alternativa coletiva de abastecimento de água. As ações de controle da qualidade da água para consumo humano, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção dessa condição, consistem em descobrir, evitar ou eliminar causas reais ou potenciais que possam comprometer direta ou indiretamente a potabilidade da água fornecida. (BRASIL, 2017).

Este controle inclui programas de monitoramento com vistas a conhecer sua qualidade nas diversas partes do sistema por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, acompanhados do gerenciamento de todo o sistema, a fim de detectar as causas da variação da qualidade da água e adotar as medidas preventivas e corretivas cabíveis (BRASIL, 2006).

Os limites para os parâmetros físico-químicos e biológicos são definidos segundo um

sistema de classificação com base na qualidade da água requerida para os usos prioritários dos recursos hídricos. As águas do rio Doce, de acordo com o artigo 42 da Resolução Conama nº 357/2005, são consideradas Classe 2, que são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; À aquicultura e à atividade de pesca (CONAMA, 2005).

2.7 IMPACTOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NO RIO DOCE

Após o rompimento da Barragem de Fundão, 16 milhões de m³ de rejeitos de mineração de ferro foram carregados pelo Rio Doce em direção ao mar. Este desastre exerceu impactos em 663,2 km do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. (IBAMA, 2015)

A onda de rejeitos provocou impactos sobre a vegetação natural e Áreas de Preservação Permanente (APP), a ictiofauna e a qualidade da água, além de evidentes repercussões socioeconômicas. A lama destruiu 1469 hectares ao longo de 77 km do curso d'água. Soterrando e suprimindo indivíduos arbóreos e afetando o pH do solo, de modo a torna-lo mais propício às espécies invasoras. Segundo o IBAMA, será necessária a implantação de PRAD's (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) para o reestabelecimento das características originais da vegetação (IBAMA, 2015).

Os impactos sobre a ictiofauna resultam das várias consequências geradas pelo carregamento da lama pelos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, dentre as quais vale citar: a destruição de habitats; soterramento de lagoas e nascentes adjacentes ao leito dos rios afetados; e, destruição da vegetação ripária/aquática, de áreas de reprodução de peixes e de reposição da ictiofauna. Como agravante tem-se a mortandade de espécimes em toda a cadeia trófica incluindo 11 espécies ameaçadas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e 12 espécies que lhe são endêmicas (DIAS et al,

2018).

Segundo Dias et al (2018), onde se comparou análises ao longo de 20 anos (jul.97/dez. 2017) realizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), em 14 estações de monitoramento coincidentes com o programa Águas de Minas no estado de Minas Gerais, concluiu que as análises da qualidade da água demonstraram que o rio Doce no estado, já sofria em relação à contaminação de alguns metais, mas que foi potencializada no período imediato após o rompimento da barragem, principalmente em relação a alguns elementos como alumínio, ferro, manganês e arsênio.

Ainda em Minas Gerais, município de Governador Valadares, Maia e Pereira (2017) analisaram dados referentes aos parâmetros turbidez, ferro, alumínio, e manganês totais à montante do ponto de captação, na entrada e na saída da ETA Central através de relatórios do IGAM e Laudo Técnico do Ministério Público de Minas Gerais entre 07 de novembro de 2015 a 26 de março de 2016. Eles concluíram que a água de distribuição, não atende os padrões de potabilidade em relação aos parâmetros organolépticos alumínio, manganês e turbidez. Supostamente, o teor desses parâmetros, foram os responsáveis por provocar mudança na característica da água que afetaram a aceitação para consumo humano.

2.8 IMPACTOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NO MUNICÍPIO DE COLATINA

Após o rompimento, impactos do acidente causaram transtorno à população, além da suspensão do abastecimento de água pelo Sanear (Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental – responsável pelo tratamento de água e coleta de lixo) devido à chegada da onda de lama no município de Colatina. A suspensão do abastecimento ocorreu no período de 18 a 23 de novembro de 2015 (ORGANON, 2015).

Em Colatina, há 111.788 habitantes segundo último censo do IBGE que dependem da água do rio Doce, e se a água bruta captada para tratamento para fins de abastecimento não estiver em condições adequadas, pode haver comprometimento no abastecimento. Dados no relatório da CPRM apontam um pico de turbidez de 6.740

UNT às 7:30 do dia 20 de novembro de 2015, quinze dias após o desastre de Mariana-MG. O IEMA coletou amostras em Colatina no dia 24 do mesmo mês e ano, e constatou que a turbidez havia declinado para 1.590 UNT. Mesmo com o significativo declínio os valores de turbidez se encontravam muito acima do permitido, que é de 100 UNT. Este é apenas um dos exemplos de como o rompimento da barragem de Fundão afetou o município de Colatina-ES.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), o maior número de outorgas para a irrigação com captação no Rio Doce situa-se no Espírito Santo. No município de Colatina podemos destacar a criação de bovinos, afetada com a contaminação da água ficando imprópria também para consumo animal. O gado tende a não consumir águas com alta turbidez, impedindo maiores problemas ao pecuarista, porém causa um maior custo pois alternativas são processos de decantação e perfuração de poços para o abastecimento ao gado (ANA, 2020).

Em relação à pesca também há prejuízos (Figura 1), segundo o Ibama o rompimento da barragem provocou a morte de 11 toneladas de peixes ao longo do Rio Doce. Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a contaminação por metais de alguns peixes do Rio Doce ultrapassa os limites permitidos por legislação em até 140 vezes. Este, por exemplo, é o nível de arsênio encontrado no peixe roncador, quando o máximo tolerado seria 1 (FERNANDES, 2016).

Figura 1 – Peixe morto pela onda de rejeitos de minério de ferro no Rio Doce em 2015.



Fonte: MERÇON (2015).

3 METODOLOGIA

No presente estudo foram utilizadas pesquisa narrativa e qualitativa, elas são muito utilizadas no campo educacional. O método narrativo não exige normas rígidas para sua realização, a busca das fontes não é pré-determinada e específica e na maioria das vezes não é muito abrangente, enquanto a pesquisa qualitativa tem como finalidade caráter exploratório, onde é desenvolvida a pesquisa bibliográfica a partir de material já existente, fazendo uso de material ou teorias já trabalhadas por outros autores, onde o objetivo da pesquisa não é refazer o mesmo trabalho de outro autor, mas sim questionar o assunto sob um outro ponto de vista . (CORDEIRO et al., 2007; TAVARES et al., 2017).

O trabalho foi realizado a partir de dados coletados de análises químicas de diferentes órgãos e empresas como IEMA, ANA, CPRM, Sanear, SOS Mata Atlântica, Greenpeace e Fundação Renova sobre a qualidade da água bruta e água já tratada do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão.

Todas as amostras utilizadas para a execução das análises e laudos foram coletadas no município de Colatina, localizado no norte do estado do Espírito Santo, no período de dezembro de 2015 a janeiro de 2017.

Na Figura 2 e Figura 3 estão apresentadas imagens do ponto de coleta das amostras em água bruta utilizadas para a realização das análises e laudos feitos pelas empresa IEMA, ANA, CPRM, SOS Mata Atlântica, Greenpeace e Fundação Renova, com latitude 19,54 S e longitude 40,64 O. A empresa Sanear realizou testes em água já tratada.

Figura 2 – Vista aérea do ponto de localização da Estação de Coleta de Dados no município de Colatina.



Fonte: Fundação Renova, 2020b.

Figura 3 – Imagem detalhada da estação de coleta de dados hidrometeorológicos do ponto em Colatina-ES.



Fonte: Autor (2019).

Para a realização do presente estudo, foram feitas pesquisas e buscas nas empresas e órgãos que lidam com controle da qualidade das águas superficiais, para se conhecer, após o rompimento da barragem em Mariana, a qualidade da água do rio Doce no município de Colatina.

Os parâmetros de qualidade das águas analisados foram turbidez, oxigênio dissolvido, concentrações de alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total. Estes parâmetros foram selecionados por serem os que mais vezes apareceram nos relatórios e laudos das empresas e órgãos analisados, bem como pelo fato de serem parâmetros que podem inviabilizar ou prejudicar o sistema de tratamento de águas em ETAs (Estação de Tratamento de Águas) e também por afetar a fauna aquática quando em concentrações superiores a permitidas em lei.

As informações geradas neste estudo foram retiradas de 07 instituições, sendo elas: CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), ANA (Agência Nacional de Águas), SOS Mata Atlântica, IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Fundação Renova, Sanear e Greenpeace.

No estado do Espírito Santo, o IEMA realizou o monitoramento do rio Doce entre 1999 e 2010 que envolvia as variáveis utilizadas para o cálculo do Índice de Qualidade das Águas (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais), ou seja, não contemplava elementos potencialmente tóxicos (EPTs), como metais e não metais. Após a ruptura da barragem de Fundão, o IEMA passou a monitorar o rio Doce entre novembro de 2015 e agosto de 2016 (LACTEC, 2020).

Após o desastre ocorrido em Mariana-MG o Greenpeace financiou um projeto de pesquisa iniciado em junho de 2016 e finalizado em janeiro de 2017 intitulado “Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce” (GREENPEACE, 2017).

Um dia após o desastre (06/11/2015), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Agência Nacional de Águas (ANA) começaram conjuntamente o acompanhamento do movimento da onda de rejeitos diariamente nos trechos afetados do rio Doce. O

monitoramento também incluiu a qualidade da água e dos sedimentos, cujos primeiros resultados saíram no dia 16 de novembro de 2015. A partir do dia 19 de novembro de 2015, o monitoramento da qualidade da água foi feito a cada dois dias e o dos sedimentos, a cada quatro dias. A turbidez foi monitorada diariamente até maio de 2016, quando foi liberado o último relatório do monitoramento especial da bacia do rio Doce (CPRM, 2020).

A equipe da Fundação SOS Mata Atlântica realizou de 6 a 12 de dezembro de 2015 uma expedição pelos municípios afetados pelo rompimento da barragem na cidade de Mariana (MG), com o objetivo de coletar sedimentos para análises laboratoriais e monitorar a qualidade das águas do rio Doce e afluentes impactados pela lama e rejeitos de minérios (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020a).

Em relação aos dados do Sanear, empresa de captação, produção, distribuição e fornecimento de água potável do município de Colatina, os dados foram obtidos a partir de análise de água proveniente da Estação de Tratamento de Água de Colatina, ou seja, análise de água já tratada. Isto possibilitou a comparação da qualidade da água bruta do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão e a qualidade da água após o tratamento da mesma.

Os dados gerados pela Samarco e Fundação Renova foram utilizados principalmente com o objetivo de preencher lacunas de dados gerados pelo IEMA. Isto porque a partir de agosto de 2016, o IEMA encerrou suas atividades de monitoramento no rio Doce. A Fundação Renova iniciou o monitoramento das águas dos rios afetados em novembro de 2015. Primeiro, em caráter emergencial e a partir de agosto de 2017, pelo PMQQS (Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos) (LACTEC, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados dados de análise dos parâmetros de qualidade das águas do rio Doce, em ponto de coleta localizado em Colatina, ES, em diferentes instituições na primeira quinzena de dezembro de 2015 e 2016, bem como os limites para os parâmetros físico-químicos definidos pela Resolução CONAMA n° 430/2011.

Tabela 1 – Análise dos parâmetros de oxigênio dissolvido, turbidez, ferro dissolvido e manganês total da ANA/CPRM, SOS Mata Atlântica e IEMA na primeira quinzena de dezembro de 2015 e 2016 no ponto latitude 19,54 S e longitude 40,64 O localizado em Colatina-ES.

Parâmetros	Limites Conama 430/2011	ANA/CPRM 2015	ANA/CPRM 2016	SOS MA 2015	SOS MA 2016	IEMA 2015	IEMA 2016
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	> 5	4,2	X	7,6	X	6,40	X
Turbidez (NTU)	100	1.249	X	1.650	X	2.420	1106
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,1	0,118	X	<0,02	X	0,50	X
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,3	0,148	X	0,1	X	4,72	X
Manganês Total (mg/L)	0,1	0,022	X	x	X	0,61	X

Legenda: NTU= Unidade Nefelométrica de Turbidez; Mg/L= miligrama por litro; Negrito= dados acima do limite estabelecido pelo CONAMA 430/2011.

Fonte: Adaptado de ANA, (2020); CPRM, (2020); SOS MATA ATLÂNTICA, (2020a).

Segundo Santos (2018) um dos parâmetros mais impactados pelo desastre em Mariana-MG foi a turbidez. A imensa quantidade de sólidos suspensos que compõem o rejeito ao serem despejados nos rios levou a turbidez a valores extremamente altos, tal como observado na Tabela 1.

A turbidez da água é uma medida da intensidade de penetração dos raios solares na coluna d'água. Quanto mais turva a água, haverá menos penetração de luz solar, que interfere no processo de fotossíntese e conseqüentemente na quantidade de oxigênio na água. Para os peixes, o excesso de turbidez pode causar mortalidade por falta de oxigênio ou dificultar a respiração dos mesmos, pois as partículas de argila em suspensão podem se aderir às brânquias (BARBOSA et al., 2015).

A concentração de oxigênio dissolvido é uma das variáveis mais importantes e presentes em quase todas as pesquisas de corpos hídricos. Isso se deve ao fato de

que o oxigênio é o agente oxidante mais prontamente disponível e assume uma função chave nas atividades metabólicas e na qualidade dos ecossistemas (MADER, et al., 2017).

Na primeira quinzena de dezembro de 2015 somente a análise realizada pela empresa CPRM apresentava concentração de oxigênio dissolvido abaixo do mínimo recomendado pela Resolução nº 430/2011, que deve ser maior que 5mg/L. O fato de não haver concentrações inferiores à prevista pela Resolução provavelmente deve-se ao fato de grande parte do rejeito lançado no meio ser composto de sólidos inorgânicos, oriundos da mineração, não servindo assim de alimento para bactérias que poderiam consumir parte mais significativa do oxigênio dissolvido.

O valor da turbidez obtida pelo IEMA reduziu de 2420 em 2015 para 1106 em 2016 porém, permaneceu acima do permitido, conforme observado na Tabela 1.

Na Tabela 2 estão apresentadas média das concentrações de Ferro e Manganês no Rio Doce, em ponto de coleta de Colatina-ES, para análise de água bruta no período entre junho de 2016 a janeiro de 2017 obtidas pelo Greenpeace.

Tabela 2 – Concentrações de Ferro e Manganês em água bruta provenientes do Rio Doce em Colatina-ES no período de junho de 2016 a janeiro de 2017, obtidas pelo Greenpeace.

Parâmetros	Resultado	Limite Resolução CONAMA 430/2011
Ferro (mg/L)	1,635	0,3
Manganês (mg/L)	1,455	0,1

Fonte: Adaptado de GREENPEACE (2017).

Colatina foi a cidade mais distante da tragédia analisada no estudo financiado pelo Greenpeace. Diversos produtores rurais que dependiam exclusivamente do Rio Doce para irrigar as plantações, perderam lavouras inteiras depois da chegada da lama de rejeitos no Estado (GREENPEACE, 2017).

No relatório final disponibilizado pelo Greenpeace e intitulado “Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce”, foram apresentadas as atividades realizadas durante o desenvolvimento do projeto, e

descrito detalhadamente os resultados gerados. As pesquisas revelaram que os danos causados são profundos e continuam a impactar a natureza e as pessoas que vivem na região (GREENPEACE, 2017).

Segundo Lactec (2020) após o rompimento da barragem de Fundão registrou-se um aumento de desconformidades no município de Colatina para os EPTs (Elementos Potencialmente Tóxicos) alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total e níquel total. Com o passar do tempo, a tendência geral foi de queda no percentual de desconformidades em relação ao período de novembro e dezembro de 2015. Contudo, para os EPTs manganês total, alumínio dissolvido e ferro dissolvido, ainda no ano de 2018 foram observadas desconformidades, confirmando o que foi observado pelo Greenpeace no período de junho de 2016 a janeiro de 2017 (Tabela 2).

Os elementos ferro e manganês são comumente encontrados em águas subterrâneas, nas suas formas solúveis e/ou iônicas, devido às características geoquímicas da bacia. Quando em contato com o oxigênio formam precipitados conferindo cor, odor e sabor característicos às águas (DE ALMEIDA et al., 2019).

Essas condições só são possíveis quando os teores superam os limites máximos estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017 de 0,3 e 0,1 mg/L para ferro e manganês, respectivamente (BRASIL, 2011). Essas concentrações elevadas tendem a reduzir a aceitação da água pelo consumidor por causar manchas em roupas, pisos e louças sanitárias. A presença desses metais pode ocasionar ainda redução na eficiência dos filtros nos poços e incrustações nas tubulações através da deposição do precipitado, reduzindo a vida útil desses equipamentos (DE ALMEIDA et al., 2019).

Na Tabela 3 se encontram os dados de análise dos parâmetros de qualidade das águas do rio Doce após o tratamento feito pela empresa Sanear. Foram coletados dados da primeira quinzena de dezembro dos anos de 2015 e 2016 e comparados com os valores máximos permitidos pela Portaria de Consolidação nº 5 DE 28/09/2017.

Tabela 3 – Análise dos parâmetros de turbidez, alumínio, ferro e manganês em água tratada conforme a Sanear na primeira quinzena de dezembro dos anos de 2015 e 2016 no ponto localizado em Colatina-ES.

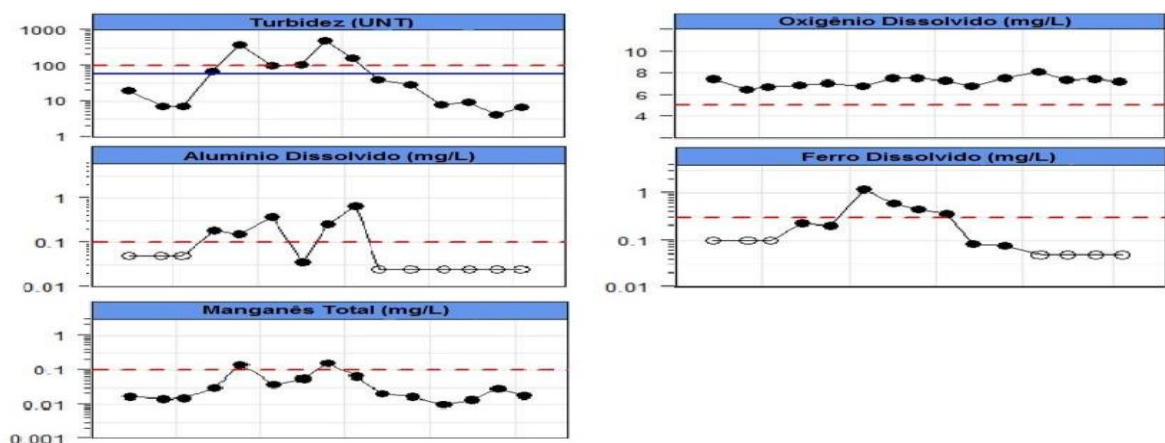
Parâmetros	Limites Portaria nº 5 de 28/09/2017	SANEAR 2015	SANEAR 2016
Turbidez (NTU)	5	2,08	0,48
Alumínio (mg/L)	0,2	<0,010	0,025
Ferro (mg/L)	0,3	<0,010	0,035
Manganês (mg/L)	0,1	<0,010	<0,010

Fonte: Adaptado de SANEAR (2020).

Todos os resultados obtidos pelo SANEAR apresentados na tabela 3 estavam em conformidade com a Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017. Isto mostra que após o devido tratamento da água bruta do rio Doce, a mesma se encontrava em condições para consumo humano.

Na figura 4 podemos observar a evolução dos parâmetros de turbidez, oxigênio dissolvido, alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total no período de agosto de 2017 a outubro de 2018 em resultados de análises levantados pela Fundação Renova. O eixo x representam os meses, o eixo y representam os valores dos parâmetros e a linha traçada vermelha representa o limite estabelecido pela Resolução Conama 430/2011.

Figura 4 – Parâmetros analisados pela Fundação Renova no período de agosto de 2017 a outubro de 2018 em Colatina-ES.



Fonte: PMQQS (2019).

Comparando os dados com os limites estabelecidos pela Resolução Conama 430/2011, observa-se que a turbidez se encontrou acima do limite no mês de dezembro de 2017 e nos meses de março e abril de 2018, permanecendo dentro do permitido nos demais meses analisados. O parâmetro Oxigênio Dissolvido se encontrou dentro do limite exigido durante todo o período analisado. O parâmetro Alumínio Dissolvido se encontrou acima do limite permitido nos meses de novembro e dezembro de 2017 e nos meses de janeiro, março e abril de 2018. O parâmetro Ferro Dissolvido encontrou-se acima do limite nos meses de janeiro a abril de 2018, reduzindo seus valores após este período. O parâmetro Manganês Total se encontrou acima do limite no mês de dezembro de 2017 e março de 2018.

Estes resultados demonstram que as concentrações de metais pesados (ferro e manganês) na água bruta coletada para análise no ponto amostral localizado em Colatina/ES, pelas empresas analisadas por esse trabalho, permaneceram elevadas até os meses de março e abril de 2018 assim como estavam no período de junho de 2016 a janeiro de 2017, conforme demonstrado pelo Greenpeace.

De acordo com o SOS Mata Atlântica (2017) as condições das águas do Rio Doce e seus afluentes pioraram cerca de dois anos após o desastre em Mariana- MG. Segundo a ONG, de 18 pontos do rio monitorados, 16 tinham águas com qualidade ruim ou péssima. Foram constatadas elevadas quantidades de metais pesados, como manganês, cobre, alumínio e ferro. Em todos os 18 pontos a água se encontrava imprópria para o consumo humano, pesca, irrigação e produção de alimentos.

De acordo com a Fundação Renova (acesso em 09 de fev. 2020b), a água do rio Doce em Colatina estaria própria para fins de abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional. Além disso os resultados observados na Figura 4 demonstram que no último semestre avaliado (maio a outubro de 2018) não houve violação dos limites de referência legal para os parâmetros avaliados no presente estudo, ou seja, após cerca de três anos passados do desastre ocorrido em Mariana- MG a água do Rio Doce no município de Colatina-ES estaria dentro dos limites exigidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

5 CONCLUSÃO

Nota-se-se a evidente escassez de dados quanto às efetivas condições da água do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão, no que se refere aos estudos realizados por órgãos governamentais.

Os parâmetros de qualidade da água sofrem naturalmente influência de fatores externos naturais, que aliados à inconstância de periodicidade coletas e estudos realizados comprometem análises mais aferidas da qualidade da água do Rio Doce

A falta de quantidade e periodicidade de dados acarretou na pouca confiabilidade das análises de qualidade da água do Rio Doce no município de Colatina no período analisado, não sendo possível inferir sua aptidão os usos aos quais ela se destina.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Monitoramento de Qualidade da Água.**

Disponível em:

<<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=a3f5de1cbd004c86bee8e86f2444d1e5>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

ARAUJO, C. B. de. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BARBOSA, L. P. J. de L. et al. **Avaliação da toxicidade de cianobactérias na água e da presença de microcistinas nos tecidos de peixes de viveiros em Macapá (AP).** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós- Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430/2011.** Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

BRASIL. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. In: **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.** Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf. Acesso em: 07 dez. 2019.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria da Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração–uma revisão.** HOLOS, v. 8, p. 77-85, 2016.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Diário oficial da União, n. 53, 2005.

CORDEIRO, A. M., OLIVEIRA, G. M. DE., RENTERÍA, J. M., GUIMARÃES, C. A. **Revisão sistemática: uma revisão narrativa.** Rev. Col. Bras. Cir., Rio de Janeiro , v. 34, n. 6, p. 428-431, Dez. 2007 .

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Monitoramento Especial do Rio Doce – Relatório III**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/eventos_criticos/riodoce_relatorio3.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2020.

DE ALMEIDA, A. B. B. et al. **Concentração de ferro e manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento**. Águas Subterrâneas, v. 33, n. 2, 2019.

DIAS, Carlos Alberto et al. **Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce**. Revista Espinhaço | UFVJM, [S.l.], p. 21-35, aug. 2018.

DO CARMO, F. F. et al. **Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context**. Perspectives in ecology and conservation, v. 15, n. 3, p. 145-151, 2017.

FEITOSA, Isabelle Ramos; LIMA, Luciana Santana; FAGUNDES, Roberta Lins. **Manual de Licenciamento ambiental**. 2004.

FERNANDES, V. **Contaminação de peixes do Rio Doce é 140 vezes maior que limite**. A Gazeta, 2016.

FIGUERÔA, S. de M. **“Metais aos pés do trono”: exploração mineral e o início da investigação da terra no Brasil**. REVISTA USP, São Paulo, n.71, p.10-19, setembro/novembro, 2006.

FUNDAÇÃO RENOVA. **A Construção De Bento Rodrigues**. Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/reassentamentos/bento-rodrigues/>>. Acesso em: 05 fev. de 2020a.

FUNDAÇÃO RENOVA. **Monitoramento PMQQS**. Disponível em: <<https://gis.fundacaorenova.org/portal/apps/webappviewer/index.html?id=4b60b32cb6184c5db6e1771d47584f53>>. Acesso em: 09 fev. 2020b.

GONÇALVES, E.; VESPA, T.; FUSCO, N. **Tragédia Evitável**. Revista Veja. Minas Gerais, Edição 2.452, ano 48, nº 46, p. 70-71, 2015.

GREENPEACE. **Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, março, 2017.

GUIMARÃES, N. C. **Avaliação do bioacúmulo de metais e estresse oxidativo em ratos tratados cronicamente com água do Rio Doce após rompimento da barragem Fundão**. Dissertação (mestrado)—Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2017.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar**. Disponível em:

<<https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2016/01/laudo-preliminar-do-ibama-sobre-mariana.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

JESUS, D. B. M de; SOUZA, R. C. De A.. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, BA, e as atividades antrópicas relacionadas**. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, v. 12, n. 1, 2013.

KOSSOFF, D. et al. **Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation**. Applied Geochemistry, v. 51, p. 229-245, 2014.

LACTEC - INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO. **Parecer técnico nº 25 Avaliação da Água Bruta e da Água para o Consumo Humano**. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/relatorios-lactec/lactec_parecer-tecnico-n25_avaliacao-da-agua-bruta-e-da-agua-para-o-consumo-humano.pdf/at_download/file>. Acesso em: 06 fev. 2020.

LIMA, R. Mineração no Brasil. **Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004226.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

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

MADER, M. et al. **Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: a review**. Chemical Geology, v. 473, p. 10-21, 2017.

MAIA, L.C.; PEREIRA, A.R. **Impactos No Abastecimento De Água Decorrentes Do Rompimento Da Barragem De Fundão: Estudo De Caso De Governador Valadares**. Laboratório de Tratamento de Resíduos Sólidos, Campus Morro do Cruzeiro, Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto – MG. 2017.

MERÇON, L. **Instituto Últimos Refúgios**. Jardim Camburi, Vitória, 2015.

MILANEZ, B. et al. **Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP Billiton**. Editorial iGuana, Marabá, Brazil, 2016.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. In: **Introdução à engenharia ambiental**. ABES, 6ª edição, p. 419-419, São Paulo, 2003.

ORGANON, Núcleo de Estudo, Pesquisa e Extensão em Mobilizações Sociais. **Impactos socioambientais no Espírito Santo da ruptura da barragem de rejeitos da Samarco - Relatório preliminar**. Novembro / dezembro. Mimeo. 2015

PASSOS, N. C. S. T. **Barragem de Rejeito: Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos de Rejeito de Minério de Ferro utilizando Ensaio de Campos—Um Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2009.

PMQQS. **Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e**

Sedimentos - Relatório Trimestral Simplificado. Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2019/07/relatorio-trimestral-simplificado-pmqqs-mai-19.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

RAMALHOSO, W.. **Prejuízo em Mariana é quatro vezes a soma de royalties pagos pela Samarco.** Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/11/15/prejuizo-com-desastre-e-o-quadruplo-do-que-mariana-mg-recebe-por-minerio.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SÁ, C.; NOSSA, L. **Samarco suspende distribuição de água em Colatina, ES.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/espirito-santo/desastre-ambiental-no-rio-doce/noticia/2015/12/samarco-suspende-distribuicao-de-agua-em-colatina-es.html>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

SANEAR. Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental. **Laudo água dia 07/12/2015.** Disponível em: <<https://www.saneat.es.gov.br/get-file/with/id/145>>. Acesso em: 01 fev. 2020a.

SANEAR. Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental. **Laudo água dia 08/12/2016.** Disponível em: <http://www.colatina.es.gov.br/saneat/laudos/2016/dez/laudo_002-64264-7.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2020b.

SANTANA, R. **Três empresas são responsáveis por emissão de pó preto no ES, diz CPI.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2015/10/tres-empresas-sao-responsaveis-por-emissao-de-po-preto-no-es-diz-cpi.html>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SANTOS, G. R. dos. **Técnicas de reconhecimento de padrões para a avaliação de corpos hídricos afetados por rejeitos do rompimento da Barragem de Fundão.** Dissertação (mestrado)— Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

SANTOS, V. S. dos. **Acidente em Mariana (MG) e seus impactos ambientais.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/acidente-mariana-mg-seus-impactos-ambientais.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SILVA, A. C. et al. **Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil.** Revista Espinhaço, v. 5, n. 2, p. 44-53, 2017.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Laudo Técnico Revela Que Água do Rio Doce está Imprópria Para Consumo.** Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/noticias/laudo-revela-que-agua-rio-doce-permanece-impropria-para-consumo/>>. Acesso em: 01 fev. 2020a.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Qualidade Da Água Na Bacia do Rio Doce Piora Dois**

Anos Após Tragédia Em Mariana. São Paulo, 07 de novembro de 2017.

SOUSA, R. G. "**Entradas e Bandeiras**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiab/entradas-bandeiras.htm>. Acesso em: 01 fev. 2020.

TAVARES, B, DE. O.; NEGRETI, A. DOS. S.; PIGATTO, G. A. S.; PIGATTO, G. **Recursos e vantagens competitivas no agronegócio: revisão bibliográfica sistemática da vbr.** Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.10, n.1, jan. / abr. 2017.

THOMÉ, R.; PASSINI, M.L. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais.** Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v. 18, n. 34, p. 49-65, 2018.

WANDERLEY, L. J. et al. **Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais.** Ciência e Cultura, v. 68, n. 3, p. 30-35, 2016.