



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS PROVOCADOS PELO
ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Julia de Azevedo Oliveira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Souto de Almeida

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS PROVOCADOS PELO
ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE
MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Julia de Azevedo Oliveira

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2019**

AO48i Azevedo Oliveira, Julia, 1998-
 Impactos socioambientais provocados pelo
 rompimento de barragens de contenção de rejeitos de
 mineração no Estado de Minas Gerais / Julia Azevedo
 Oliveira. - Três Rios, 2019.
 61 f.

 Orientador: Fábio Souto de Almeida. Trabalho de
 conclusão de curso(Graduação). -- Universidade Federal
 Rural do Rio de Janeiro, Gestão Ambiental, 2019.

 1. degradação ambiental. 2. poluição. 3. recursos
 naturais. I. Souto de Almeida, Fábio, 1982-, orient.
 II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
 Gestão Ambiental III. Título.



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS PROVOCADOS PELO ROMPIMENTO DE
BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO NO ESTADO DE
MINAS GERAIS**

Julia de Azevedo Oliveira

Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental
como pré-requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 04/12/2019

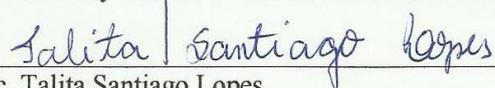
Banca examinadora:



Prof. Dr. Fábio Souto de Almeida



Prof. Dr. Sady Júnior Martins da Costa de Menezes



MSc. Talita Santiago Lopes

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO - 2019**

Dedicatória

“Dedico este trabalho a Dalva Cardoso, minha amada tia, que em sua passagem pela Terra me presenteou com seu apoio incondicional.”

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus e aos seres de luz por me darem forças em minha caminhada para não desistir perante as dificuldades.

Ao meu orientador Dr. Fábio Almeida, por dedicar o seu tempo em meu auxílio na construção e desenvolvimento deste projeto, por transmitir confiança em mim durante todo o processo e por ser um grande exemplo de ética profissional e respeito por todos a sua volta.

Aos meus pais, Natália e Adilson, agradeço por me criarem da melhor maneira que se pode fazê-lo, por apoiarem todas as decisões que por mim são tomadas e acreditarem na minha capacidade. Agradeço por me ensinarem que a herança mais valiosa que se deixa para um filho é o conhecimento.

Aos meus avós queridos, Regina Cardoso e Célio Antônio Azevedo, meu amor e minha gratidão por serem tão preciosos em minha vida, por serem exemplos de força e por cuidar de mim juntamente de meus pais.

Ao meu irmão João Lucas agradeço por ser a prova viva de que em meio aos momentos difíceis ainda somos capazes de sorrir e sentir alegria.

A Victória Rodrigues agradeço por estar ao meu lado em todos os momentos e me auxiliar de todas as formas. A conclusão desse trabalho não seria possível sem o seu apoio.

*“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem,
menos a ganância.”*
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Os recentes rompimentos de barragens de contenção de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais, nos anos de 2015 (barragem de Fundão, em Mariana) e 2019 (barragem de Brumadinho), provocaram alterações expressivas no meio físico, biológico e socioeconômico, que alcançaram elevada extensão geográfica. Assim, a presente monografia teve o objetivo de avaliar os impactos socioambientais causados pelo rompimento dessas barragens. Para a coleta de informações sobre os eventos de rompimento de barragens de rejeitos estudados, foi realizada a revisão bibliográfica, sendo listadas as alterações ambientais constatadas e previstas. Também foram sugeridas medidas mitigadoras corretivas para os impactos desses eventos em específico e medidas preventivas para futuros empreendimentos similares. Dentre os impactos sobre o meio físico, pode-se constatar a degradação da qualidade da água, o assoreamento dos cursos d'água, a alteração da vazão dos rios e a degradação da paisagem. No meio biológico observou-se a destruição de áreas de reprodução de peixes e áreas berçários, a alteração de processos ecológicos, redução de populações bióticas, redução da área coberta por vegetação nativa nas margens dos rios, redução da biodiversidade, com possível extinção de espécies. No meio socioeconômico houve o comprometimento do estoque pesqueiro, impossibilidade do uso da água de rios para abastecimento rural e urbano, perda de vidas humanas, redução da disponibilidade de emprego, redução da renda, aumento da incidência de doenças e prejuízos para a economia local. Para minimizar os impactos ocorridos, sugere-se o reflorestamento das áreas que tiveram a vegetação suprimida, o apoio institucional aos cidadãos das áreas diretamente afetadas pelo desastre, o incentivo às atividades econômicas locais, com a busca de alternativas às atividades comprometidas pelo desastre, elaboração de estudos sobre a fauna e flora afetadas, com posterior aplicação de medidas de proteção às espécies negativamente afetadas. Para evitar futuros acidentes de rompimento de barragens ou minimizar os danos causados, indica-se a construção das barragens de rejeitos com tecnologias que gerem menor risco de rompimento, a escolha da localização geográfica mais segura, a execução de estudos que permitam conhecer adequadamente as características do local onde a barragem será construída e a presença de outra barragem em uma cota abaixo da barragem de rejeitos, o treinamento da população da área que pode sofrer os impactos do rompimento e um sistema de alerta de rompimento eficiente e com baixa probabilidade de falha. Pode-se concluir que os impactos ambientais dos eventos de rompimento de barragens de rejeitos estudados foram expressivos, diversificados e de elevada magnitude. Algumas ações sugeridas podem reduzir a magnitude das alterações ambientais após o rompimento, contudo as ações preventivas são prioritárias.

Palavras-chave: degradação ambiental, poluição, recursos naturais.

ABSTRACT

The recent ruptures of tailings containment dams in the state of Minas Gerais in 2015 (Fundão dam, in Mariana) and 2019 (Brumadinho dam) caused significant changes in the physical, biological and socioeconomic environment, which reached a high geographical extension. Thus, this monograph aimed to evaluate the socio-environmental impacts caused by the collapse of these dams. For the collection of information on the events of rupture of tailings dams studied, a literature review was performed, listing the environmental changes. Corrective mitigating measures were also suggested for the impacts of these specific events and preventive measures for future similar projects. Among the impacts on the physical environment, occurred the degradation of water quality, the silting up of water courses, the alteration of river flows and the landscape degradation. In the biological environment, the destruction of fish reproduction areas, the alteration of ecological processes, reduction of biotic populations, reduction of the area covered by native vegetation, reduction of biodiversity, with possible extinction of species were observed. The socioeconomic impacts included the compromise of the fishing stock, the impossibility of using river water for rural and urban supply, loss of human lives, reduced job availability, reduction of population income, increased incidence of diseases and damage to the local economy. In order to minimize the impacts that occurred, it is suggested the reforestation of the areas that had their vegetation suppressed, institutional support for population of the areas directly affected by the disaster, encouragement of local economic activities, with the search for alternatives to the activities compromised by the disaster, studies on the affected fauna and flora, with subsequent application of protective measures to the species negatively affected. In order to avoid future dam ruptures or minimize the damage caused, are indicated the construction of tailings dams with technologies that generate less risk of breakage, the choice of the safest geographical location, the execution of studies that allow for adequate knowledge of the characteristics of the site where the dam will be built and the presence of another dam at a height below the tailings dam, the training of the population of the area that may suffer the impacts of breakage and an efficient breakage warning system with low probability of failure. The environmental impacts of the failure events of tailings dams studied were significant, diversified and presented high magnitude. Some suggested actions may reduce the magnitude of the environmental changes after the rupture, however the preventive actions are a priority.

Keywords: environmental degradation, natural resources, pollution.

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ANA- Agência Nacional de guas

APA- rea de Proteção Ambiental

APE- rea de Proteção Especial

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FIOCRUZ- Fundação Oswaldo Cruz

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

ICMBIO- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

RIMA- Relatório de Impacto Ambiental

RPPN- Reserva Particular do Patrimnio Natural

UHE- Usina Hidroelétrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.....	19
Figura 2. Método alteamento para montante na construção de barragem de rejeitos.....	23
Figura 3. Barragem de Fundão antes do rompimento (20/07/2015) e após o rompimento (25/04/2016), no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais	30
Figura 4. Barragem de Fundão antes do rompimento (20/07/2015) e alterações ambientais observadas após o rompimento (24/12/2015), no município de Mariana, Estado de Minas Gerais.....	31
Figura 5. Barragem 1 antes do rompimento (21/07/2018) e após o rompimento (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado e Minas Gerais	32
Figura 6. Barragem 1 antes do rompimento (14/12/2018) e alterações ambientais observadas após o rompimento (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais.....	33
Figura 7. Aspecto da paisagem contendo construções de alvenaria antes do rompimento da barragem 1 (07/06/2018) e após o rompimento (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais.....	34
Figura 8. Rio Doce no município de Galileia, no dia 28 de novembro de 2015, Estado de Minas Gerais.....	36
Figura 9. Registro de Bento Rodrigues em 19 de novembro de 2015, Mariana, Estado de Minas Gerais.....	38
Figura 10. Danos à infraestrutura causados pelo rompimento da barragem em Brumadinho, registrado em 26 de janeiro de 2019, Estado de Minas Gerais.....	40
Figura 11. Soterramento de casas em Beto Rodrigues, registrado no dia 19 de novembro de 2015, Mariana, Estado de Minas Gerais.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Unidades de Conservação da natureza existentes na região do Complexo Germano, Estados de Minas Gerais.....	19
Quadro 2. Unidades de Conservação da natureza existentes na proximidade da barragem que se rompeu no Município de Brumadinho, Minas Gerais.....	22
Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.....	25

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Rede de interações dos impactos ambientais causados pela redução da área coberta com vegetação nativa após os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais.....	59
Anexo 2. Rede de interação dos impactos socioambientais que possuem como causa os danos à infraestrutura e sítios históricos ocorridos após os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.1 Objetivos Específicos.....	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1. DESCRIÇÃO DOS EVENTOS ESTUDADOS E DA ÁREA AFETADA	18
2.2. METODOLOGIA.....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	25
3.3 DEGRADAÇÃO DO SOLO.....	36
3.4 PERDA DE COBERTURA VEGETAL	37
3.5 IMPACTOS À ECONOMIA	39
3.6 IMPACTOS SOCIAIS.....	41
3.7 MEDIDAS MITIGADORAS CORRETIVAS E MEDIDAS PREVENTIVAS	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
5. REFERÊNCIAS.....	48
6. ANEXOS	60

1. INTRODUÇÃO

A extração e a transformação de recursos minerais estão entre as atividades antrópicas mais antigas, sendo positivamente associadas ao desenvolvimento das civilizações (Ferreira 2013). Devido ao aumento da população humana, da industrialização e do desenvolvimento de tecnologias, torna-se notável o crescimento da exploração dos recursos minerais em todo o mundo e, em décadas recentes, especialmente na América Latina (Araújo & Fernandes 2016). A mineração constitui uma atividade basal no processo de desenvolvimento, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações, tendo em vista a importância de vários minerais para as atividades antrópicas atuais (Ferreira 2013), o que pode ser constatado através dos diversos objetos, equipamentos e veículos metálicos amplamente utilizados na sociedade moderna. Como exemplo da importância da mineração para a sociedade, cita-se ainda a energia elétrica que é transmitida por longas distâncias através de cabos metálicos. Materiais utilizados na construção civil (areia, pedra britada, mármore, tijolos e telhas) também são produtos da mineração e, tendo em vista a utilização de adubos minerais e corretivos do solo, é possível notar a clara influência exercida também na produção de alimentos (IBRAM 2014).

A exploração mineral está intimamente relacionada com a ocupação de parcelas do território brasileiro, pois a extração e distribuição dos recursos naturais contribuiu para a construção de estradas, geração de aglomerados urbanos, geração de empregos e renda (Ferreira 2013). A extração de recursos minerais no Brasil abrange 72 substâncias, onde 23 são metálicas, 45 são não metálicas e 4 são classificadas como energéticas (IBRAM 2015). Dentre os principais depósitos minerais no Brasil, pode-se citar os que estão em Presidente Figueiredo (AM), Rondônia (RO), Urucum (MS), Goiás (GO), Rio Grande do Sul (RS), Criciúma (SC), Castro (PR), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Espírito Santo (ES), Bahia (BA), Sergipe (SE), Alagoas (AL), Carajás (PA), Itaituba (PA), Paragominas (PA), Araxá (MG), Quadrilátero Ferrífero (MG), Governador Valadares (MG) e Pedra Azul/Salto da Divisa (MG) (IBRAM 2015). Assim, nota-se que o Estado de Minas Gerais possui importantes jazidas minerais.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), no ano de 2016 as substâncias da classe dos metálicos corresponderam a cerca de 77% do total da

produção mineral comercializada pelo Brasil (DNPM 2017). Destacando-se o alumínio, o cobre, o estanho, o ferro, o manganês, o nióbio, o níquel e o ouro, correspondendo a 98,6% do valor da produção comercializada da classe. A produção comercializada desses minerais totalizou 71,9 bilhões de reais, com expressiva participação do ferro (559.508.816 t), que tem produção concentrada principalmente nos estados de Minas Gerais e Pará, ouro (148.870.956 t), cobre (89.673.941 t) e alumínio (51.885.443 t) (DNPM 2017).

Apesar dos benefícios advindos da mineração, essa atividade provoca diversos impactos ambientais, tanto na implantação quanto na operação do empreendimento, sendo observadas alterações ambientais negativas até mesmo na fase de planejamento (Pinto 2018). Conforme o Art. 1º da Resolução Conama 01 de 1986, impacto ambiental envolve:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (Brasil 1986).

Sabendo-se que a principal forma de extração mineral no Brasil é por meio de minas a céu aberto, pode ser apontada a ocorrência de impactos como a redução da cobertura florestal e da biodiversidade, a degradação do solo e dos recursos hídricos (Milanez 2017, Pinto 2018). Mesmo que se faça uso dos melhores métodos de gestão ambiental, a alteração da paisagem é um impacto marcante da mineração. A mineração altera até mesmo o relevo local, conjuntamente modificando outros componentes do meio físico, como o microclima, as características do solo e o ciclo hidrológico (Milanez 2017). Além disso, a poluição atmosférica é inerente a todas as fases dos empreendimentos de mineração e o meio socioeconômico também é expressivamente afetado (Almeida 1999, Pinto 2018).

Tratando ainda de impactos causados pela mineração, Milanez (2017) demonstrou que a atividade afeta os recursos hídricos, pelo elevado uso da água, rebaixamento do lençol freático, comprometimento da recarga dos aquíferos e aumenta o risco de contaminação dos corpos hídricos. Além disso, a qualidade da água superficial que se encontra à jusante do empreendimento pode ser afetada pelos sedimentos advindos de movimentos de solo e pelas substâncias inerentes aos efluentes da área de mineração, a exemplo das graxas, óleos e metais pesados (Mechi & Sanches 2010).

Abordando o processo produtivo de empreendimentos de mineração, tem-se que os rejeitos são os resíduos resultantes das etapas de beneficiamento as quais os minérios são submetidos, com a finalidade de extrair os elementos de interesse econômico (Muniz & Oliveira-Filho 2006). Devido a preocupação com a disposição dos rejeitos de forma a minimizar os impactos ambientais e aprimorar os aspectos de segurança e economia, as empresas passaram a depositar os rejeitos em sistemas de barragens, sendo possível a utilização dos próprios rejeitos na construção (Espósito 2000). Desta forma, barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas com a finalidade de conter os materiais resultantes do beneficiamento do minério, sendo implantada por vezes em estágios, à medida que os rejeitos são gerados (Duarte 2008). O autor ainda aponta que, mesmo com a existência de legislação, conhecimento e novas tecnologias, as barragens de contenção de rejeitos continuam se rompendo e provocando prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Tendo em vistas a barragem de Macacos, que se rompeu no ano de 2001 em Nova Lima-MG, o rompimento da barragem de rejeitos industriais no ano de 2003 em Cataguases-MG, o rompimento da barragem da Samarco em 2015, no município de Mariana-MG (Lacaz *et al.*, 2017), e o rompimento em 2019 de uma barragem da mineradora Vale em Brumadinho-MG (G1 2019c), observa-se que, pelo menos, quatro barragens se romperam em Minas Gerais nas últimas duas décadas. Tal frequência demanda estudos sobre as consequências desses eventos. Desta forma, Freitas *et al.* (2019) sistematiza alguns impactos causados pelo rompimento de barragens, sendo notável a contaminação de rios, do solo e atmosférica, a alteração dos ciclos de vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças, os danos às habitações e infraestrutura e outros impactos socioeconômicos. Os recentes rompimentos de barragens no Estado de Minas Gerais nos anos de 2015 e 2019 foram amplamente noticiados pela mídia, devido à grande quantidade de rejeito, pela elevada dimensão da área afetada e devido aos expressivos problemas ocasionados no meio físico, biológico e socioeconômico.

Tendo em vista a dimensão dos impactos e suas influências sobre a saúde dos indivíduos, nas atividades econômicas locais e na biodiversidade, torna-se importante a realização de estudos que prevejam os possíveis impactos e as mitigações cabíveis para eventos de rompimento de barragens de rejeitos da mineração. O estudo dos eventos que ocorreram recentemente em Minas Gerais, devido a elevada magnitude das alterações socioambientais observadas, podem gerar informações relevantes para a prevenção e mitigação de impactos em eventos futuros.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os impactos socioambientais causados pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de mineração em Minas Gerais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Listar os impactos ambientais diretos e indiretos provocados pelo rompimento de barragens de rejeitos em Minas Gerais.
- Indicar ações mitigadoras corretivas para os impactos identificados e medidas preventivas para evitar futuros eventos semelhantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DOS EVENTOS ESTUDADOS E DA ÁREA AFETADA

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão (20°12'30.25"S; 43°27'44.89"O), no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais (Figura 1). Foram mais de 70 milhões de metros cúbicos de lama de rejeito de mineração de ferro vazados após o rompimento (Porto 2016). Com início na barragem de Fundão, os rejeitos seguiram o curso do Córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio Carmo, percorrendo 77 km até chegar ao rio Doce (ANA 2016). O desastre causou a morte de 19 pessoas (G1 2019c). As operações da empresa de mineração Samarco (*joint venture* BHP Billiton Brasil Ltda. e Vale S.A.) em Mariana envolviam a extração, beneficiamento primário, logística dutoviária, pelotização e transporte transoceânico de pelotas e finos de minério de ferro (Wanderley *et al.* 2016). O complexo germano se localiza nos municípios de Mariana e Ouro Preto. Sua construção se iniciou no ano de 1975 e em 1977 a Samarco deu início ao tratamento de minério (RIMA Mariana 2017).

A região do empreendimento possui clima tipicamente tropical, apresentando as maiores precipitações pluviométricas nos meses de verão e seca nos meses de inverno, sendo a variação da temperatura média de 18° C a 24° C (Rima Mariana 2017). O complexo compreende os cursos de água das bacias hidrográficas do rio Piracicaba e do rio Carmo. O rio Piracicaba possui como principais afluentes os seguintes cursos d'água: margem direita - córrego dos Macacos, córrego Brumado e córrego Congonhas; margem esquerda - córrego Palmital, córrego Macaco Barbado, córrego João Manoel, córrego das Almas e córrego São Luís (RIMA Mariana 2017). Segundo o RIMA de Mariana (2017), o complexo Germano está integralmente incluído no bioma Mata Atlântica e, quando se trata de cobertura vegetal, a Área de Influência Indireta e Área de Influência Direta do empreendimento possuem sua maior parte ocupada por áreas naturais, se destacando os campos (campo rupestre sobre formação ferrífera, campo rupestre sobre formação quartzítica e campo de várzea) e as áreas de floresta (floresta semidecidual nos estágios inicial, médio/avançado e candeial) e possui em seu relevo morros e colinas, platôs de canga e a vertente da Serra da Carapaça. Na região do complexo Germano existem 23 Unidades de Conservação e uma área de Proteção Especial (RIMA Mariana 2017) (Quadro 1).



Figura 1. Localização dos municípios de Mariana e Brumadinho (em vermelho), Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

Quadro 1. Unidades de conservação da natureza existentes na região do complexo Germano, Estado de Minas Gerais. Fonte: alterado de RIMA Mariana (2017).

Unidades de Conservação da Natureza
Parque Nacional da Serra da Gandarela
Parque Estadual do Itacolomi
Estação Ecológica de Tripuí
Parque Natural Municipal Cachoeira das Andorinhas
Parque Natural Municipal Horto dos Contos
Parque Natural Municipal Arqueológico do Morro da Queimada
Monumento Natural Municipal Gruta Nossa Senhora da Lapa
APA Seminário Menor de Mariana

Continuação: Quadro 1. Unidades de conservação da natureza existentes na região do complexo Germano, Estado de Minas Gerais. Fonte: alterado de RIMA Mariana (2017).

Unidades de Conservação da Natureza
APA Sul RMBH
APA Cachoeira das Andorinhas
APA Carvão de Pedra
Floresta Estadual Uaimií
RPPN Santuário da Serra do Caraça
RPPN Horto Alegria I
RPPN Horto Alegria II
RPPN Horto Alegria III
RPPN Fazenda Nascer
RPPN Fazenda Capivary
RPPN Quinta dos Cedros
RPPN Quebra Ossos
RPPN Fazenda Capivary II
RPPN Capanema
RPPN Vale das Borboletas
APE Ouro Preto/Mariana

O município de Barra Longa, os distritos Bento Rodrigues e Gesteira, o subdistrito Paracatu de Baixo e outros cinco povoados do distrito de Camargo, em Mariana, foram afetados pela lama (Wanderley *et al.* 2016). Para o ano de 2019, o município de Barra Longa possui como população estimada 5.131 pessoas e 383,628 km² de área. Mariana possui 60.724 habitantes, como população estimada para 2019, e o seu território apresenta 1.194,208 km² (IBGE 2019).

O município de Mariana é componente de um grupo de cidades históricas de Minas Gerais e, juntamente com Ouro Preto e mais quatro cidades, compõem importante patrimônio arquitetônico colonial-barroco do Brasil. No ano de 1945 foi concedido ao município o título de Monumento Nacional pelo presidente Getúlio Vargas, pelo seu significativo patrimônio histórico, religioso e cultural (Camargo 2018).

O subdistrito de Bento Rodrigues, que sofreu o primeiro impacto do desastre, possuía em sua composição matas, cachoeiras e ruínas de uma igreja histórica e havia potencial turístico, mesmo que não tenha sido explorado adequadamente. A extração mineral ocorreu de forma intensa na região, tendo uma população basicamente rural que sobrevivia da agricultura familiar e de subsistência (Camargo 2018).

No dia 25 de janeiro de 2019 uma barragem da empresa Vale se rompeu (Barragem 1), no Município de Brumadinho (20° 7'12.55"S; 44° 7'14.11"O), na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 1). O rompimento se deu no início da tarde, na Mina do Feijão (G1 2019a). O rompimento ocasionou a morte de 249 pessoas, restando 21 desaparecidos ou não identificadas (G1 2019b).

As atividades na mina foram iniciadas no ano de 1956 através da Cia de Mineração Ferro e Carvão (Supram 2018). A região onde se localiza a mina possui clima caracterizado como Tropical Subquente Semi-úmido e possui relevo caracterizado como bastante acidentado, as altitudes variam em geral de 900 m a 1.000 m, mas podem alcançar 1.500 m em alguns locais. As serras são as formas mais evidentes do relevo (RIMA Córrego do Feijão 2017). Com relação aos recursos hídricos, o empreendimento está inserido na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, um dos principais tributários do alto rio São Francisco e localizado nas sub-bacias dos ribeirões Casa Branca e Ferro-Carvão. A vegetação florestal do local é definida como Floresta Estacional Semidecidual em estágios inicial, médio e avançados de regeneração (RIMA Córrego do Feijão 2017), encontrando-se bem próxima da zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (SUPRAM 2018). Várias unidades de conservação da natureza estão localizadas nas proximidades da Área de Influência do empreendimento (RIMA Córrego do Feijão 2017, Quadro 2).

Quadro 2. Unidades de conservação da natureza existentes na proximidade da barragem que se rompeu no Município de Brumadinho, Minas Gerais. Fonte: alterado de RIMA Córrego do Feijão (2017).

Unidades de Conservação da Natureza
RPPN Inhotim
RPPN Sítio Grimpas
RPPN Fazenda Serra da Moeda
RPPN Mata do Jequitibá
APE Catarina
APE Rio Manso
APA Sul
APA Inhotim
Parque Estadual Serra do Rola Moça

As barragens que se romperam em Mariana e posteriormente em Brumadinho foram construídas com a mesma tecnologia, tratando-se do método conhecido como “alçamento a montante”, com a barreira de contenção recebendo camadas do material do rejeito da mineração (Odilla 2019). O alçamento a montante baseia-se na elaboração de diques sobre praias formadas pela decantação do próprio rejeito, deslocando o eixo da obra em direção a montante. Essa técnica possui como características o menor custo de construção, maior velocidade de alçamento e pouco uso de equipamentos de terraplanagem. Entretanto, dentre as desvantagens do método está a menor segurança, pois pode ocorrer o fenômeno de entubamento, quando a água é capaz de atravessar determinadas áreas do talude e surgir a montante da estrutura, causando o seu enfraquecimento (Thomé & Passini 2018).

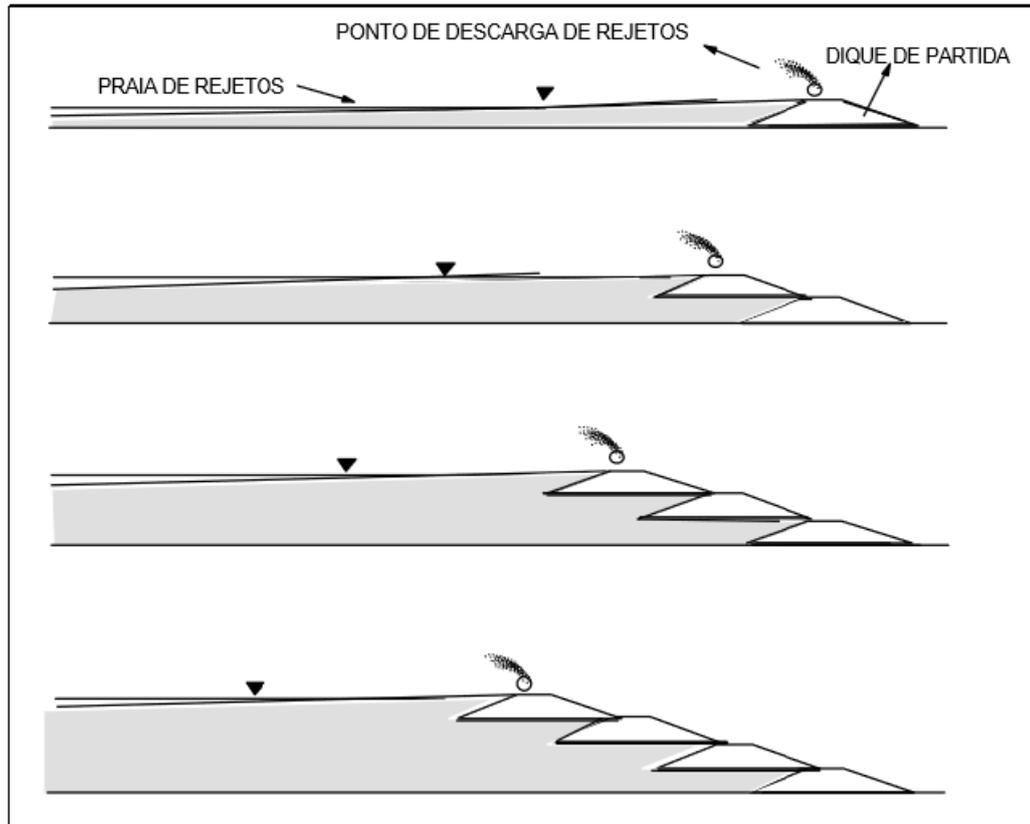


Figura 2. Método alteamento para montante na construção de barragem de rejeitos. Fonte: Adaptado de Vick (1983).

2.2. METODOLOGIA

Para a coleta de informações sobre os eventos estudados de rompimento de barragens de rejeitos, foi realizada a revisão bibliográfica, incluindo a busca por publicações em *websites* como *Web of Science*, *Scopus*, *Google Acadêmico* e *Periódico CAPES*, metodologia similar à adotada por Alves (2019). Além disso, foram utilizados dados de estudos ambientais confeccionados para a obtenção das licenças ambientais dos empreendimentos e de *websites* institucionais e outras páginas da internet, cujo conteúdo fosse confiável. Foram obtidas informações sobre as características da área de influência dos eventos estudados e as alterações ambientais registradas nas fontes acessadas. Também foram criadas redes de interações (Anexos 1 e 2), para melhor previsão dos impactos ambientais indiretos relevantes (Sanchez 2010, Alves 2019).

A partir das informações obtidas, foram indicados os impactos ambientais gerados a partir de diferentes processos (causas dos impactos) considerados relevantes e decorrentes do rompimento das barragens de rejeitos estudadas. Foram incluídos impactos diretos e indiretos, para averiguar e discutir detalhadamente as causas e as consequências das mudanças no meio ambiente em função do rompimento das barragens. Além dos impactos ambientais registrados nas referências acessadas, também foram indicados impactos provocados pelos eventos estudados que foram constatados a partir da expertise da autora. Tais impactos foram agrupados em função da sua influência no meio biológico, nos componentes do meio socioeconômico ou no meio físico.

Foram considerados como impactos ambientais as mudanças observadas ou previstas no meio ambiente a partir do rompimento das barragens, considerando as alterações no meio físico (recursos hídricos, atmosfera, clima, solo, geologia, paisagem), biológico (biodiversidade) e socioeconômico (parâmetros da população humana, economia, cultura) (Brasil 1986). Os impactos diretos, também chamados de impactos de primeira ordem, são aqueles advindos diretamente do aspecto ambiental (mecanismo que provoca o impacto), enquanto os impactos indiretos são derivados de outras alterações no meio ambiente, inclusive podendo fazer parte de uma sequência de alterações ambientais (Araújo 2013, Alves 2019, Sanchez 2010).

Após a análise dos eventos de rompimento de barragens e da indicação dos impactos ambientais, foram apontadas medidas mitigatórias corretivas para os impactos indicados no presente estudo. Também foram sugeridas medidas preventivas, com o objetivo de evitar futuros eventos de rompimento de barragens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

Os rompimentos de barragens de rejeitos de minério estudados provocaram diversas mudanças negativas na região onde ocorreram, afetando componentes da biodiversidade, a socioeconomia e o meio físico (Quadro 3). Dentre os processos e impactos ambientais primários que ocasionaram outros variados impactos ambientais, pode-se citar o movimento de massa e o aporte de sedimentos nos cursos d'água, a alteração nas características do solo, principalmente nas proximidades dos rios, a redução da área coberta com vegetação nativa e danos à infraestrutura, incluindo aquela voltada para a oferta de serviços públicos.

Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
Movimento de massa e Aporte de rejeitos nos cursos d' água	Meio Físico	ICMBio (2015),
	Degradação da qualidade da água	IBAMA (2015),
	Assoreamento dos cursos d'água	Lopes (2016),
	Alteração da vazão dos rios	Sassine (2015),
	Alteração das características do solo nas margens dos cursos d'água	Pinto (2018), Alves (2019),
	Aumento da poluição atmosférica por poeira	Aragão &
	Degradação da paisagem	Almeida (2019)
	Meio Biológico	Pereira <i>et al.</i>
	Redução da reprodução de peixes	(2019), Fiocruz
	Alteração da cadeia trófica	(2019).
	Redução do fluxo gênico	
	Danos à ictiofauna	
	Alteração dos processos ecológicos	

Continuação: Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
	Redução de vegetação nativa, principalmente nas proximidades dos cursos d'água	
	Mortandade de espécimes de vários táxons e consequente redução de populações bióticas	
	Possível extinção de espécies endêmicas da localidade	
	Redução da biodiversidade	
	Alteração de interações e processos ecológicos	
	Piora no estado de conservação de espécies	
	Proliferação de insetos vetores de doenças	
	Meio Socioeconômico	
	Comprometimento do estoque pesqueiro	
	Redução da pesca e da renda de pescadores	
	Redução da disponibilidade de água para abastecimento público e uso agropecuário	
	Aumento da dependência de novos mananciais, da implantação de poços e de sistemas de adução para abastecimento público	
	Danos à infraestrutura pública e privada	
	Deterioração da saúde mental e física das populações atingidas	
	Perda de vidas humanas	
	Redução de mobilidade urbana	
	Alteração do cotidiano comunitário	
	Desaparecimento de pessoas	
	Intranquilidade e insegurança na população	
	Alteração do modo de vida da população	
	Aumento da demanda por serviços públicos	
	Possível desencadeamento da transmissão de doenças	
	Desestabilização socioeconômica em âmbito local	

Continuação: Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
	Redução de atividades econômicas, como turismo, comércio e atividades agropecuárias Queda na disponibilidade de emprego e renda Diminuição da arrecadação de impostos Alteração do perfil de trabalho e empregos	
Alteração das características do solo	Meio Físico	Lopes (2016),
	Aumento da impermeabilização do solo	Embrapa (2015),
	Aumento do carreamento de sedimentos para corpos hídricos	Pereira <i>et al.</i>
	Aparecimento de sulcos de erosão	(2019), Pinto
	Alteração da topografia	(2018), Aragão &
	Diminuição da infiltração de água no solo	Almeida (2019),
	Aumento da ocorrência de enchentes	Fernandes <i>et al.</i>
	Alteração do ciclo hidrológico	(2014), Bezerra <i>et</i>
	Aumento da concentração de poeira no ar	<i>al.</i> (2010)
	Redução da fertilidade do solo e do teor de matéria orgânica	
	Meio Biológico	
	Redução da biodiversidade	
	Redução da vegetação nativa	
	Redução de populações bióticas	
	Criação de sítios para reprodução de vetores de doenças	
	Proliferação de insetos vetores de doenças	
	Meio Socioeconômico	
	Perda de áreas agrícolas	
	Limitações para aproveitamento do solo para o uso agrícola	
	Degradação de áreas utilizadas na agropecuária	
	Redução de atividades econômicas	
Queda na disponibilidade de emprego e renda		
Diminuição da arrecadação de impostos		
Alteração do perfil de trabalho e empregos		

Continuação: Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
Redução da área coberta com vegetação nativa	Meio Físico	IBAMA (2015),
	Aumento da impermeabilização do solo	Pereira <i>et al.</i>
	Aumento do carreamento de sedimentos para corpos hídricos	(2019), Pinto
	Aumento do escoamento superficial da água da chuva	(2018), Lopes
	Assoreamento de cursos d'água	(2016),
	Maior possibilidade de ocorrência de enchentes	Embrapa
	Alteração do ciclo hidrológico	(2015), Aragão
	Aparecimento de sulcos de erosão	& Almeida
	Alteração da topografia	(2019),
	Redução da infiltração da água no solo	Conceição
	Menor recarga do lençol freático	(2019), MMA
	Degradação da qualidade da água	(2007)
	Redução da proteção dos recursos naturais	
	Meio Biológico	
	Perda, degradação ou fragmentação de habitats	
	Redução de populações bióticas, incluindo predadores	
	Redução da biodiversidade	
	Comprometimento da resiliência de ecossistemas	
	Alterações populacionais de espécies vetores	
	Estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais	
	Piora no estado de conservação de espécies	
Meio Socioeconômico		
Redução da disponibilidade de água para consumo humano e dessedentação de animais		
Redução da polinização e controle biológico de pragas em áreas agrícolas		
Restrição ou enfraquecimento dos serviços ecossistêmicos		

Continuação: Quadro 3. Impactos ambientais ocasionados pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Causas	Impactos Ambientais/ Meio Afetado	Referencial Bibliográfico
Danos às unidades de conservação	Meio Físico	
	Degradação de recursos naturais	
	Degradação da paisagem	
	Meio Biológico	
	Piora no estado de conservação de espécies	
	Meio Socioeconômico	
	Redução da disponibilidade de recursos naturais	
	Redução da disponibilidade de produtos e serviços ofertados pelas unidades de conservação	
	Deterioração da qualidade de vida da população	
Danos à infraestrutura e sítios históricos	Meio Socioeconômico	Aragão & Almeida (2019), Fiocruz (2019), Amâncio (2019), Arcuri <i>et al.</i> (2015)
	Perda de residências	
	Perda de infraestrutura do setor empresarial	
	Destruição e interrupção de estradas e trilhas	
	Danos a infraestrutura destinada a serviços públicos	
	Deterioração da saúde mental e física das populações atingidas	
	Alteração do cotidiano comunitário	
	Intranquilidade e insegurança na população	
	Dificuldades para o trânsito de veículos e pessoas	
	Degradação de sítios arqueológicos, locais com importância histórica e danos a bens sacros	
	Redução de atividades econômicas	
	Queda na disponibilidade de emprego e no nível de renda	
	Diminuição da arrecadação de impostos	
	Menor disponibilidade de serviços públicos	

O rompimento da barragem de contenção de rejeitos em Mariana provocou uma expressiva mudança na paisagem, com claros impactos sobre a vegetação presente nas proximidades da barragem (Figura 3).



Figura 3. Barragem de Fundão antes do rompimento (A) (20/07/2015) e após o rompimento (B) (25/04/2016), no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

Mas a alteração da vegetação nativa nas margens dos cursos d'água também ocorreu em áreas mais distantes da barragem e os danos aos rios também são visíveis, por exemplo, com o elevado aporte de sedimentos (Figura 4). As imagens aéreas evidenciam a elevada magnitude dos impactos ambientais derivados do rompimento da barragem de rejeitos.

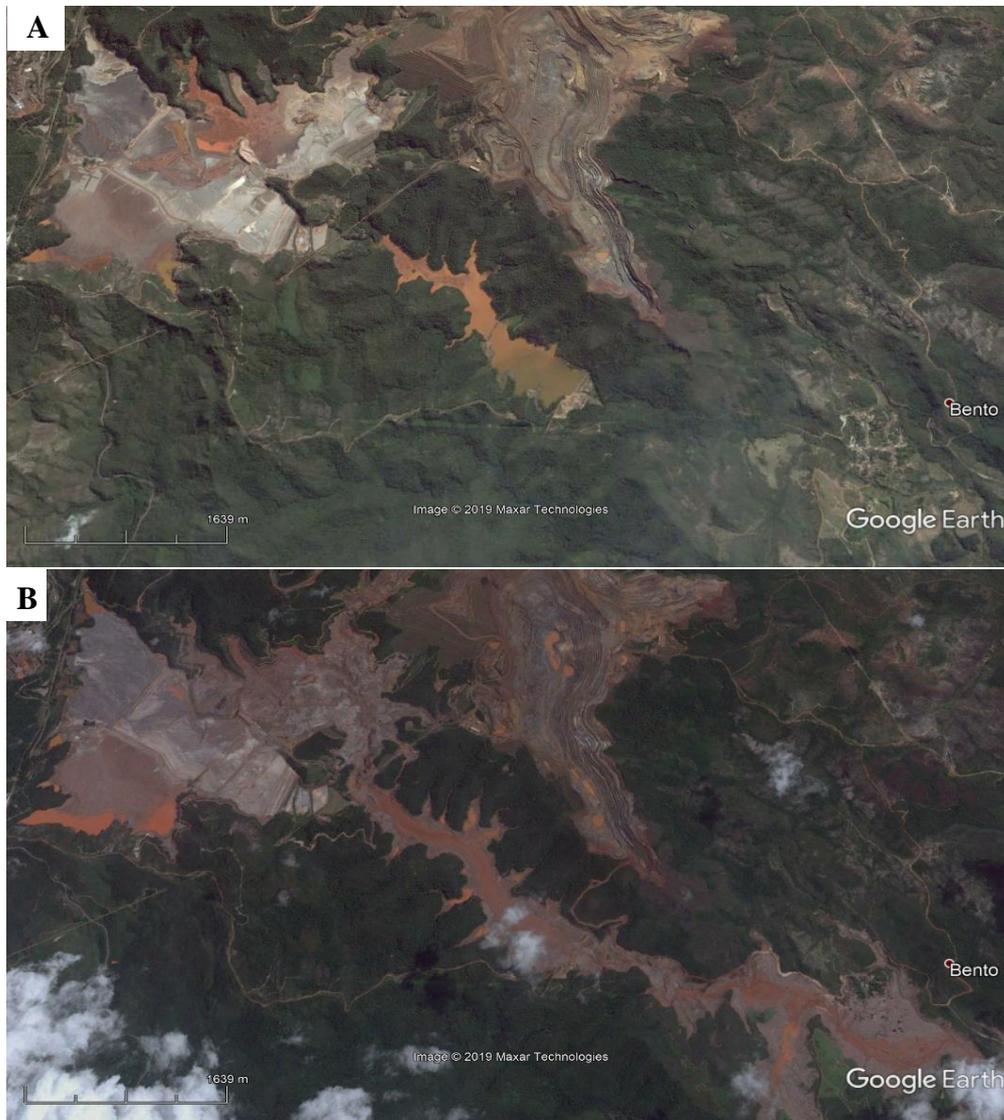


Figura 4. Barragem de Fundão antes do rompimento (A) (20/07/2015) e alterações ambientais observadas após o rompimento (B) (24/12/2015), no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

Em Brumadinho, o rompimento da barragem também afetou a paisagem local e a vegetação próxima da barragem (Figura 5). Os impactos sobre o solo nas margens dos cursos

d'água também são visíveis. Além disso, as consequências negativas para a biodiversidade são claras, devido principalmente à degradação dos cursos d'água e matas ciliares.



Figura 5. Barragem 1 antes do rompimento (A) (21/07/2018) e após o rompimento (B) (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

É possível afirmar que a mudança da paisagem pode ser visualizada em áreas consideravelmente distantes da barragem, assim como pode-se inferir que os danos aos recursos hídricos, solo e socioeconomia foram de elevada magnitude (Figura 6).



Figura 6. Barragem 1 antes do rompimento (A) (14/12/2018) e alterações ambientais observadas após o rompimento (B) (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

É possível visualizar claramente os danos provocados pelo rompimento a estruturas construídas presentes nas proximidades da barragem (Figura 7), o que está relacionado com o elevado número de óbitos registrado em função do rompimento da barragem.



Figura 7. Aspecto da paisagem contendo construções de alvenaria antes do rompimento da barragem 1 (A) (07/06/2018) e após o rompimento (B) (01/02/2019), no Município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais. Fonte: Google Earth (2019).

3.2. APORTE DE REJEITOS NOS CURSOS D'ÁGUA

Os eventos de rompimentos das barragens de rejeitos de mineração ocasionaram o aporte de rejeitos em cursos d'água (Figura 8), tendo impactos indiretos no meio físico, biológico e socioeconômico. Desta forma, a degradação da qualidade da água e o consequente impacto indireto de diminuição da oferta de água para consumo humano foram impactos bastante relevantes, ocorrendo inclusive a suspensão da captação de água para abastecimento de cidades (Campos 2017). Logicamente, também foi reduzida a oferta de água para uso

agrícola e dessedentação de animais, tendo em vista que a má qualidade da água está diretamente relacionada com o contágio de doenças (Moraes & Jordão 2002). O assoreamento de cursos d'água também foi claramente notado, consequentemente ocasionando alterações na vazão dos rios. Outro impacto visível foi a degradação da paisagem, que certamente afeta negativamente atividades turísticas. Cabe ressaltar que os indícios da elevada magnitude de variados impactos provocados pelos rompimentos das barragens podem ser evidenciados, por exemplo, pela extensa área atingida pelas alterações ambientais. Inclusive, os efeitos dos impactos do evento ocorrido em Mariana ultrapassaram os limites da área de influência do empreendimento estabelecidos no EIA/RIMA (Wanderley *et al.* 2016).

Em relação aos impactos causados ao meio biológico, é notável o dano a ictiofauna por meio da perda de áreas berçários e de reprodução, sendo a modificação de habitats um importante fator que contribui para o declínio da biodiversidade mundial (Kohorn 2011). Foi constatada a existência de espécies endêmicas de ictiofauna na bacia hidrográfica do Rio Doce (IEF 2010), sendo assim, com os impactos causados a esse conjunto de peixes endêmicos, torna-se possível a extinção dos mesmos, além da provável extinção de espécies não listadas como oficialmente ameaçadas, tendo em vista que foi registrada apenas uma parcela da diversidade biológica existente no planeta (Scherer *et al.* 2015). A redução da ictiofauna pode provocar a redução da renda de pescadores. Além disso, várias outras atividades econômicas provavelmente foram afetadas negativamente pelo aporte de sedimentos nos rios e pelos impactos indiretos, como a redução da disponibilidade de água e a sua degradação.

Somando-se aos demais impactos, a alteração de comunidades biológicas pode ocasionar a redução das interações entre predadores e presas, com o consequente aumento de algumas populações, incluindo a proliferação de insetos vetores de doenças, tornando-se possível o desencadeamento da transmissão de doenças na população humana (Oliveira *et al.* 2019; Rodrigues 2019). Tal processo, além de impactar vidas humanas, também impacta o setor público, tendo em vista que a maior incidência de doenças acarreta o aumento da demanda de serviços públicos de saúde.

O movimento da massa de rejeitos provocou diversos danos a habitações, à infraestrutura comercial e industrial, também afetando fortemente a vegetação nativa nas margens dos cursos d'água e sítios de valor histórico. Os sedimentos depositados nas margens

dos rios reduziram a disponibilidade de áreas para a agricultura e pecuária. Houve inclusive a perda de elevado número de vidas humanas e o desaparecimento de pessoas.



Figura 8. Rio Doce no município de Galileia, no dia 28 de novembro de 2015, Estado de Minas Gerais. Fonte: Hayasaka (2015).

3.3 DEGRADAÇÃO DO SOLO

Ocorreram variadas mudanças nas características do solo, principalmente nas proximidades dos rios atingidos pelos eventos estudados, que ocasionaram diversos impactos indiretos. O aumento da impermeabilização do solo é um dos impactos observados. Com a impermeabilização há uma diminuição na infiltração de água da chuva no solo, sendo crescente a possibilidade de ocorrência de inundações devido ao menor tempo em que a água da chuva alcança os rios e o rápido aumento da vazão (Comissão Europeia 2012). Além do aumento da possibilidade de ocorrência de inundações, o aumento da velocidade da água é uma das causas do desbarrancamento e assoreamento das margens dos rios e contribui para erosão em sulcos, sendo esses impactos pertencentes a um conjunto de fatores que alteram a topografia local e a qualidade da água dos rios (Fernandes *et al.* 2014, Bezerra *et al.* 2010).

Além dos impactos causados ao solo anteriormente citados, é imprescindível tratar dos reduzidos níveis de matéria orgânica, tendo em vista que o resíduo de mineração vazado com o rompimento das barragens é infértil e seus teores de argila não ultrapassam 10% (Felippe *et al.* 2016, Embrapa 2015). É notável a direta influência no setor econômico, por meio da limitação do uso do solo e até a perda de áreas agrícolas.

3.4 PERDA DE COBERTURA VEGETAL

O complexo Germano está inserido no Bioma Mata Atlântica (RIMA de Mariana 2017) e o empreendimento da Vale em que houve o rompimento está localizado na área de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (SUPRAM 2018). A Mata Atlântica, apesar de sua riqueza em biodiversidade, passou por um processo de devastação e atualmente ocupa apenas 12,4% da sua área original (SOS Mata Atlântica 2019) e por sua riqueza e grau de ameaças é classificada como um *hotspot* mundial, assim como o Cerrado (SOS Mata Atlântica 2016). Destacada a importância do bioma, é de grande preocupação apontar que o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho dizimou pelo menos 269,84 hectares, dos quais 133,27 hectares eram de vegetação nativa e 70,65 hectares de APP ao longo dos cursos d'água foram afetados (IBAMA 2019). No município de Mariana a lama de rejeitos também impactou áreas de APP (817,15 ha) e 275,50 ha de vegetação nativa (Conceição 2019). A lama de rejeitos, além de destruir e arrancar árvores (Figura 9) e vegetação herbácea e arbustiva, também levou a serapilheira e seus bancos de sementes, assim, comprometendo a resiliência e processos de sucessão ecológica da área atingida (Coelho 2015).

Conceição (2019) destaca em sua dissertação que as vegetações nativas mais afetadas no rompimento da Barragem Fundão, em Mariana, foram as vegetações de APP localizadas na beira de rios e córregos, seguida pelas Áreas Consolidadas, representando em sua maioria áreas de uso agrícola e pastagens.

O solo desnudo, após a perda de cobertura vegetal, fica suscetível a erosão do horizonte O, que apresenta matéria orgânica em processo de decomposição e que fornece nutrientes para a continuidade do ciclo vegetal. Sem a proteção da cobertura vegetal e suas raízes, é mantida na composição do solo apenas a parte mineral lixiviada, pobre em nutrientes (Toledo 2014). Assim, a perda do horizonte O e os impactos causados às APP, possivelmente podem impactar a prática da agricultura, afetando a produção agrícola local em função da

inutilização da área e alterando o modo de vida das pessoas atingidas, além da economia das famílias e consequentemente das cidades.



Figura 9. Registro de Bento Rodrigues em 19 de novembro de 2015, Mariana, Estado de Minas Gerais. Fonte: Alves (2015).

Um dos impactos associados a perda de cobertura vegetal é a impermeabilização do solo, ocorrendo queda na infiltração da água da chuva, que acaba escoando na superfície. São derivados desse impacto, os seguintes: redução da recarga dos aquíferos, erosão dos solos, aumento da ocorrência de enchentes e assoreamento dos cursos d'água (MMA 2007). Tendo em vista que nos casos em análise neste trabalho a captação de água para uso humano, dessedentação de animais e agricultura foi suspensa, a possível fonte de abastecimento seria a água subterrânea, mas com os desastres se encontra vulnerável como os demais componentes do meio ambiente local, aumentando ainda mais o impacto ambiental e social causado pela redução da disponibilidade e perda de qualidade da água.

A diminuição da cobertura florestal por diversas atividades antrópicas causa a fragmentação e perda de habitat (Martinelli 2014). Com a ocorrência da fragmentação têm-se o surgimento do efeito de borda que é caracterizado pela maior incidência solar, menores níveis de umidade e alteração da composição de espécies (Rodrigues 1998, Martinelli 2014). Sabendo-se da existência de Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente

nas áreas atingidas pelos rompimentos, é plausível apontar que a fragmentação e perda de habitat expuseram diversas espécies da flora e fauna a maiores possibilidades de extinção, piorando o seu estado de conservação. Também cabe ressaltar que os impactos às unidades de conservação podem ter degradado importantes recursos naturais que essas áreas protegem, alterando paisagens com beleza cênica e comprometido os serviços e produtos ofertados pelas unidades. A perda de serviços ecossistêmicos, como a polinização, ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas, oferta de alimentos, proteção de recursos hídricos e edáficos, é um importante impacto negativo dos rompimentos de barragens estudados.

3.5 IMPACTOS À ECONOMIA

Além dos impactos sobre os componentes do meio físico e biológico causados pelos desastres, também houve o impacto econômico, partindo do pressuposto que o PIB de Mariana possui cerca de 95,06% de participação da atividade de mineração, demonstrando a alta dependência dessa atividade (Governo do Estado de Minas Gerais 2016). O nível de desemprego aumentou após o rompimento da barragem, atingindo a marca de 19%, o triplo do índice da época na qual ocorria a operação da atividade extrativista (Scheller 2019). Os impactos econômicos em Mariana não se deram exclusivamente pela paralisação da atividade mineradora desenvolvida pela empresa Samarco, tendo em vista que existem outras companhias minerárias, mas soma-se a queda no preço da *commodity* minério de ferro no comércio internacional (Governo do Estado de Minas Gerais 2016).

O impacto econômico também está incluído na lista de impactos causados devido ao rompimento da barragem no município de Brumadinho, onde 60% da arrecadação advinha da atividade mineradora, que é também responsável por grande parte da economia local. A empresa gerava cerca de 2.000 empregos entre funcionários e terceirizados e aquecia a economia local, sendo útil para pequenos e grandes comerciantes locais (Mendonça 2019).

Simonato (2017) em sua tese, em que se objetivou analisar os efeitos econômicos do desastre, avaliou cenários futuros com e sem a retomada da atividade minerária em Mariana. Obteve como resultados que, no cenário sem a retomada, no ano de 2020 o PIB do município apresentaria uma queda de 50% com relação ao ano de 2016. Com a retomada da atividade, o período de 2018 até o ano de 2020 não seria o suficiente para recompor a economia local, apenas acelerar esse processo.

Além dos fatores anteriormente citados, a economia dos municípios que foram atingidos com o rompimento em Mariana foi impactada por fatores como assistência médica, saúde pública e atendimentos de emergência, abastecimento de água potável, sistema de desinfestação/desinfecção de habitat/controlado de pragas e vetores, sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo, entre outros, que juntos somaram a quantia de R\$ 146.066.455,33. Danos à infraestrutura (Figura 10) como unidades habitacionais, instalações públicas de saúde, ensino e uso comunitário e obras de infraestruturas públicas representaram a soma de R\$ 513.755.631,00 (Governo do Estado de Minas Gerais 2016). Houve inclusive problemas derivados da dificuldade de deslocamento de veículos, em função da perda de pontes e da obstrução de estradas.



Figura 10. Danos à infraestrutura causados pelo rompimento da barragem em Brumadinho, registrado em 26 de janeiro de 2019, Estado de Minas Gerais. Fonte: Venaglia (2019).

Analisando os dados apresentados destaca-se o fato de que a ineficiência de empresas do setor privado em evitar tragédias, além de comprometer o meio ambiente e causar a perda de vidas humanas, impacta significativamente o setor público direta e indiretamente.

3.6 IMPACTOS SOCIAIS

A degradação ambiental observada a partir dos eventos de rompimento de barragens em Minas Gerais provocou variados impactos negativos sobre a população. Com o rompimento da Barragem Fundão em Mariana, várias casas de Bento Rodrigues (Figura 11) foram soterradas pela lama de rejeitos, deixando cerca de 255 famílias desalojadas que passaram a residir em Mariana, tendo seus estilos de vida completamente alterados (Andrade 2018, Fundação Renova 2019). Além da perda de edificações, também houve destruição do Patrimônio Cultural, alguns protegidos por leis e de áreas que foram afetadas pelo ocorrido, contribuindo para a descaracterização dos municípios e povoados (Andrade 2018). Como Mariana apresenta importante patrimônio arquitetônico colonial-barroco, desastres como o ocorrido podem provocar perdas irreversíveis no âmbito cultural e histórico (Camargo 2018).



Figura 11. Soterramento de casas em Bento Rodrigues, registrado no dia 19 de novembro de 2015, Mariana, Estado de Minas Gerais. Fonte: Alves (2015).

Após o rompimento da barragem do Fundão o município de Barra Longa foi o segundo atingido pela lama e a sua população representa uma das mais afetadas pelo desastre. Vormittag *et al.* (2018) em seu estudo realizado no município constatou que 40% daqueles que foram entrevistados declararam possuir doenças respiratórias e 15,8% afecções de pele,

sendo a tosse presente entre os sintomas mais relatados. Os moradores do município, diferentemente de Bento Rodrigues, continuaram residindo na área e expostos a poeira originária da secagem da lama e sua dispersão pelo trânsito de veículos e da reconstrução da cidade (Greenpeace 2017). A perda de cobertura vegetal nas áreas atingidas agrava o impacto citado anteriormente, em vista a capacidade das árvores de reterem poluição e materiais particulados que estão em suspensão no ar (Silva 2010), sendo possível verificar a interligação entre impactos.

Em nota técnica publicada pela FIOCRUZ (2019) foi destacado o fato de que o isolamento de comunidades e a inviabilidade de acesso aos serviços de saúde poderiam agravar as condições de doenças preexistentes ao evento de rompimento da barragem e o surgimento de novas condições de saúde nocivas, como doenças mentais, depressão e ansiedade, crises de hipertensão, doenças respiratórias, acidentes domésticos e contágio de doenças infecciosas.

Além do número de mortos e desaparecidos, 19 mortos em Mariana e 249 em Brumadinho, foi identificado o desenvolvimento e o contágio de doenças devido a alterações do equilíbrio e da qualidade ambiental após o rompimento, e o agravamento de doenças que já existiam anteriormente ao mesmo, evidenciando os efeitos causados naqueles diretamente atingidos pelos rejeitos e nos indivíduos alcançados indiretamente pelos desastres ambientais.

3.7 MEDIDAS MITIGADORAS CORRETIVAS E MEDIDAS PREVENTIVAS

As medidas mitigadoras podem ser elaboradas visando o controle preferencialmente dos impactos diretos, que ao serem controlados/evitados deixam de servir como aspectos ambientais para impactos indiretos, diminuindo os possíveis danos de um rompimento de barragens. Assim, é aconselhável que as autoridades públicas e os empreendedores analisem os possíveis impactos ambientais listados em estudos ambientais criados para o licenciamento de empreendimentos com base na sequência de ocorrência, uma análise de causas e efeitos, buscando minimizar a magnitude ou evitar a ocorrência principalmente dos impactos diretos ou de menor ordem.

Visando a prevenção contra rompimentos de barragens de rejeitos de mineração é importante destacar a existência da Lei Federal 12.334 de 2010 (Política Nacional de Segurança de Barragens), que possui como um de seus objetivos “promover o monitoramento

e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens” (Brasil 2010). Essa lei apresenta normas que visam evitar desastres como os que ocorreram em Minas Gerais.

No evento de rompimento da barragem na cidade de Mariana a lama e os detritos vegetais foram parcialmente contidos por uma barragem da UHE de Candonga e após esse represamento a lama seguiu o rio Doce, mas dentro de sua calha principal (Coelho 2015). Destacado tal acontecimento, é possível indicar que a criação de barragens subsequentes, como forma de segurança, seja uma medida mitigadora com a finalidade de conter os rejeitos em caso de rompimento do dique principal, diminuindo a abrangência da área afetada e a magnitude dos impactos.

Como outra medida de prevenção, o posicionamento da barragem de contenção de rejeitos deve ser amplamente estudado e analisado. A instalação não deve ocorrer próxima a vilarejos ou outras áreas ocupadas por população humana, visando a diminuição de riscos de perdas de vidas humanas em caso de rompimento e danos econômicos por destruição de residências e perda de outros bens. A barragem de Fundão se encontrava apenas a 5,6 km a montante do distrito de Bento Rodrigues em Mariana, que teve sua extensão praticamente toda soterrada pelo rejeito vazado com o rompimento (Saadi & Campos 2018), evidenciando como a escolha do local de instalação representa um importante fator quando se trata de diminuir riscos.

É sabido que a atividade minerária altera o uso e ocupação do solo da área em que se instala e opera e a crescente oferta de emprego atrai novos habitantes, podendo causar a expansão urbana através da formação de novas comunidades, bairros e até mesmo cidades (Corrêa *et al.* 2014). Tendo em vista as possíveis mudanças na ocupação e uso do solo, cabe ao poder público e aos responsáveis pelo empreendimento controlar e planejar as áreas onde ocorrerão esses estabelecimentos de novas comunidades, como uma maneira de evitar que os mesmos ocorram próximo ao empreendimento e sua área de influência direta como, por exemplo, a jusante de barragens de contenção de rejeitos, visando a proteção daqueles que não estão envolvidos diretamente na operação da atividade de mineração e diminuindo a quantidade de possíveis vítimas em casos emergenciais.

Além das medidas já citadas, a análise da hidrogeologia do terreno em que se deseja realizar a instalação e operação do empreendimento deve ocorrer com cautela. Analisando matérias jornalísticas a respeito do rompimento em Brumadinho, é destacável o trecho em que

um dos engenheiros, responsáveis por fazer inspeções na barragem, afirma que sabia da existência de uma nascente à montante da barragem de contenção e que sua água excedente corria para dentro da barragem de rejeitos (G1 2019d), aumentando as possibilidades de rompimento provocado pelo enfraquecimento da estrutura.

Tendo em vista a rápida evolução da tecnologia, pode-se apontar que a técnicas aplicadas nas construções de barragens de contenção de rejeitos não acompanham a evolução tecnológica dos projetos de mineração, sendo esta atividade negligenciada na área de mineração (Soares 2010). Desta forma, o investimento em tecnologias mais eficientes e seguras na contenção de rejeitos representa uma das formas de evitar e mitigar os impactos causados com o rompimento desses diques.

Outra forma de mitigação é o lançamento de rejeitos em outros locais como, por exemplo, o lançamento da polpa (mistura de água e sólidos) de rejeitos nas cavas a céu aberto, reduzindo a disposição na barragem, eliminando a implantação de uma nova ou até mesmo aumentando a vida útil da existente. Se os rejeitos possuírem potencial para aproveitamento com outras finalidades, como a agrícola, poderá ser amplamente utilizado, como o pó de calcário industrial disposto como corretivo de pH de solos, atendendo as necessidades do mercado agrícola (IBRAM 2016). Além da alternativa anteriormente citada podem ser destacadas outras como: rejeitos espessados, filtragem de rejeitos, disposição subaérea e empilhamento drenado. Essas metodologias de disposição auxiliam na diminuição da necessidade de área para sua estocagem, apresentam menor risco de causar problemas quando comparadas com barragens, além de possuírem baixo custo e modo operacional simples (Fonseca *et al.* 2019). Essas soluções diminuem as possibilidades de ocorrência de desastres como os de Mariana e Brumadinho e ainda podem possuir retorno financeiro, como no caso de o rejeito ser utilizado na agricultura.

Para mitigar a perda de cobertura vegetal e diminuir os efeitos do assoreamento de corpos hídricos e a degradação do solo pode-se desenvolver um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), baseado no plantio de mudas de espécies nativas da fitofisionomia em que a área está inserida e enriquecimento das áreas florestais que permaneceram após o desastre. Para garantir uma maior taxa de sucesso do PRAD é aconselhável a realização da biorremediação com plantas capazes de se desenvolver no solo impactado pela lama, assim as condições ambientais se tornarão mais adequadas para o desenvolvimento das outras espécies de plantas nativas.

Como forma de mitigação dos impactos sociais pode ser apontada a maneira como a empresa irá agir após o rompimento, incluindo neste caso a distribuição de água potável nos municípios atingidos pela interrupção da captação, abrigo para as vítimas e posteriormente no assentamento dos atingidos (Milanez *et al.* 2015). Após o fornecimento de todo auxílio necessário às vítimas, de imediato após o rompimento, é necessário realizar estudos para construção do assentamento, sendo capazes de definir a forma mais aproximada de como se dava a organização da área antes da ocorrência do desastre, visando minimizar a mudança brusca e conservando o modo de vida exercido anteriormente ao acontecido. O apoio institucional visando reduzir os problemas econômicos decorrentes dos rompimentos das barragens pode incluir o incentivo às atividades econômicas locais, com a busca de alternativas às atividades comprometidas pelo desastre.

A instrumentação de uma barragem de contenção de rejeitos possibilita maior controle da estabilidade da estrutura e segurança. Os principais parâmetros monitorados são os relativos à piezometria, o nível de água no reservatório, a vazão de jusante, a pluviometria e os marcos topográficos superficiais, obtidos com instrumentos como: piezômetros, régua graduada, calhas Parshall e *dataloggers* (Silva 2019).

Além das medidas que podem ser tomadas pela empresa e órgãos públicos após os desastres, é evidente a necessidade de desenvolvimento de medidas preventivas. Em empreendimentos que se faz uso da barragem de contenção de rejeito de minérios, tendo conhecimento da possibilidade do seu rompimento, devem possuir sistemas para aviso aos moradores próximos e aos funcionários caso ocorra a ruptura, como por exemplo sistema de alerta de barragens, estando essas medidas incluídas no plano de contingência do empreendimento. O treinamento das equipes que integram o quadro de funcionários é indispensável, pois em emergências são os primeiros a serem atingidos pelos impactos. Os residentes próximos e nas áreas de influência desses empreendimentos também devem receber treinamentos e possuírem conhecimentos sobre possíveis rotas de evacuação, diminuindo o número de mortos e feridos.

Sabendo-se da existência de Unidades de Conservação e APP nas áreas atingidas pelos rompimentos das barragens, é necessária a elaboração de estudos sobre a fauna e flora para dimensionar os danos sofridos. Posteriormente, deve-se elaborar medidas de proteção às espécies que foram atingidas e as que ficaram vulneráveis, para que se possa diminuir os riscos de extinção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência do aparato legal não garante a eficiência da gestão ambiental no Brasil. Mesmo com a existência de leis que regulamentam a extração de minério e que tratam sobre a segurança de barragens no país ainda ocorrem desastres como os que foram analisados nesse trabalho. Assim, é necessária uma reformulação da gestão ambiental no Brasil e a sua adequada aplicação nos empreendimentos, para evitar a ocorrência de desastres ambientais, poupando danos ao meio ambiente e a perda de vidas humanas.

A contagem do número de vítimas não é abrangente o suficiente para alcançar aqueles que foram indiretamente afetados e sofrem com impactos dos desastres que aqui foram analisados, tendo como exemplo aqueles que por consumirem água contaminada e estarem expostos à poluição atmosférica ocasionada pela secagem da lama de rejeitos, desenvolveram doenças ou tiveram seus quadros de saúde agravados. Por não se encontrarem no raio de pessoas diretamente afetadas pelos desastres, o acesso a assistência prestada pelas empresas responsáveis pelas barragens se torna ainda mais complexo, mostrando como a maneira que esse procedimento realizado é ineficiente, gerando prejuízos a vida de diversas pessoas que acabam por ficar desassistidas e sem os cuidados básicos.

Impactos ambientais de considerável magnitude ocorreram em função do rompimento das barragens, incluindo importantes danos à biodiversidade local, com ênfase aos organismos aquáticos, degradação do solo, recursos hídricos e até mesmo poluição atmosférica. Além disso, houve a perda de vidas humanas, pode-se prever o aumento da incidência de doenças e fortes impactos negativos sobre a economia local.

É inevitável destacar a importância da realização de investimentos na implantação de barragens de contenção de rejeitos mais seguras. Os investimentos também podem ser alocados no financiamento de pesquisas e parcerias entre empresas e universidades que visam a descoberta e desenvolvimento de novas condutas na destinação e tratamento de rejeitos da atividade mineradora, diminuindo a defasagem tecnológica existente entre os métodos atualmente utilizados e as tecnologias disponíveis no mercado.

Atividades capazes de prevenir acontecimentos como os citados nesse trabalho são indispensáveis, mas quando há a ocorrência dele, as ações mitigadoras devem priorizar os impactos diretos, diminuindo a ocorrência de impactos indiretos e danos causados ao meio ambiente, social e econômico em sua área de inserção. Outras ações podem ser tomadas

visando a diminuição da abrangência de impactos, tais como a instalação de avisos sonoros em casos de rompimento, disponibilidade de equipe treinada para que em emergências seja feita a evacuação de moradores próximos a área de impacto direto e o treinamento dos próprios moradores para que estejam preparados para emergências.

5. REFERÊNCIAS

Almeida IT (1999) A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Acessado em: 18/07/2019.

Alves R (2015) Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/agenciasenado/22756845789/in/photostream/>. Acessada em: 24/10/2019.

Alves LC (2019) Degradação do Rio Paraíba do Sul no Município de Três Rios: causas e consequências. Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios. 55f.

Amâncio T (14 de fevereiro de 2019) Lama da Vale pode ter destruído sítios arqueológicos em Brumadinho. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/lama-da-vale-pode-ter-destruido-sitios-arqueologicos-em-brumadinho.shtml>. Acessado em: 02/11/2019.

ANA- Agência Nacional de Águas (2016) Encarte especial sobre a Bacia do Rio Doce- Rompimento da barragem em Mariana/MG. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf. Acessado em: 02/09/2019.

Andrade TCG (2018) Impactos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão no município de Barra Longa, Minas Gerais. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD-B9KGLU/1/teresa_andrade___mestrado__vers_o_final_.pdf. Acessado em: 10/10/2019.

Aragão LA, Almeida FS (2019) Levantamento dos impactos ambientais causados pela mineração em Brumadinho, MG. 8º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Araujo ER, Fernandes FRC (2016) Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica. Rio de Janeiro: +CETEM/CICP. p.65-88.

Araújo LP (2013) Impactos Ambientais de carácter positivo e a desnecessidade de concessão de licenciamento ambiental. Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Franca, v. 7, n. 1, p. 267-283.

Arcuri M, Laia PO, Suñer R (2015) Territórios e patrimônios na lama das negociações: desafios para a museologia comunitária na Barragem de Fundão. Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico, v. 24, n. ½. p. 209-244. Disponível em: <https://www.ufmg.br/mhnpj/wp-content/uploads/2017/02/Vol24n1.pdf>. Acessado em: 02/11/2019.

Bezerra SA, Cantalice JRB, Filho MC, Souza WLS (2010) Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1325-1332. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/29.pdf>. Acessado em: 20/09/2019.

Brasil (1986) - Resolução CONAMA nº 1 de 17 de fevereiro 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acessado em: 23/07/2019.

Brasil (2010) - Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 - Política Nacional de Segurança de Barragens. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acessado em: 09/12/2019.

Camargo COSFA (18 de janeiro de 2018) Vozes e silenciamentos em Mariana- crime ou desastre ambiental? Jornal da Unicamp. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/01/17/o-municipio-de-mariana>. Acessado em: 04/09/2019.

Campos MB (2017) Rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão- Desastre socioeconômico e ambiental construído. Disponível em: https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/arquivos/04_marcelo_belisario_09-45hrs_1.pdf. Acessado em: 18/09/2019.

Coelho RMP (2015) Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: o rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico, v. 24, n. ½. Disponível em: <https://www.ufmg.br/mhnpj/publicacoes/mhnpj/arquivos-do-museu/>. Acessado em: 21/09/2019.

Comissão Europeia (2012) Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar e compensar impermeabilização dos solos. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_pt.pdf. Acessado em: 20/09/2019.

Conceição TS (2019) Aplicação de geotecnologias na análise dos impactos ambientais nos imóveis rurais localizados na Bacia do Rio Doce quanto ao desastre do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana/MG.

Corrêa R, Ruiz MS, Roic E (2014) Conflitos socioambientais relacionados aos impactos do uso e ocupação do solo pela mineração subterrânea de carvão em Criciúma-SC. XXXVIII Encontro da ANPAD. Disponível em: http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2014_EnANPAD_APB1457.pdf. Acessado em: 03/10/2019.

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral (2017) Anuário Mineral Brasileiro- Principais substâncias metálicas. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017. Acessado em: 13/08/2019.

Duarte AP (2008) Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco. Acessado em: 14/08/2019.

Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2015) Relatório Técnico- Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária. Acessado em: 30/08/2019.

Espósito TJ (2000) Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico. Acessado em: 14/08/2019.

Felippe MF, Costa A, Franco R, Matos R (2016) A tragédia do Rio Doce: A lama, o povo e a água. Relatório de campo e interpretações preliminares sobre as consequências do rompimento de barragem de rejeitos de Fundão (Samarco/Vale/BHP). Revista Geografias- Edição Especial Vale do Rio Doce, p. 63-94. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13468>. Acessado em: 20/09/2019.

Fernandes MLF, Ramos M, Tolentino M, Fofonka L (2014) Impermeabilização excessiva do solo: impactos ambientais negativos. Revista Educação Ambiental em Ação, v. 49. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1886>. Acessado em: 20/09/2019.

Ferreira LA (2013) Escavação e exploração de minas à céu aberto. Acessado em: 13/08/2019.

Fiocruz- Fundação Oswaldo Cruz (2019) Nota técnica-Avaliação dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (brumadinho, MG). Acessado em: 30/08/2019.

Fonseca HDGDA, Alexandrino JS, Ferreira TED (2019) Metodologias de disposição de rejeitos de minério de ferro para substituir as barragens de rejeito. Profiscientia n. 12, p. 55. Acessado em: 01/10/2019.

Fundação Renova (2019) A construção de Bento Rodrigues. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/reassentamentos/bento-rodrigues/>. Acessado em: 08/12/2019.

Freitas CM, Barcellos C, Asmus CIRF, Silva MA, Xavier DR (2019) Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. Cad. Saúde Pública v.35, n.5 Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2019000600502&script=sci_arttext. Acessado em: 17/08/2019.

G1 (2019a) Barragem da Vale se rompe em Brumadinho, MG. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/bombeiros-e-defesa-civil-sao-mobilizados-para-chamada-de-rompimento-de-barragem-em-brumadinho-na-grande-bh.ghtml>. Acessado em: 14/08/2019.

G1 (2019b) Brumadinho: Sobre para 249 o número de mortos no rompimento da barragem. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/08/31/brumadinho-sobre-para-249-o-numero-de-mortos-no-rompimento-de-barragem.ghtml>. Acessado em: 0/09/2019.

G1 (2019c) Há três anos, rompimento de barragem de Mariana causou maior desastre ambiental do país e matou 19 pessoas. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/ha-3-anos-rompimento-de-barragem-de-mariana-causou-maior-desastre-ambiental-do-pais-e-matou-19-pessoas.ghtml>. Acessado em: 07/09/2019.

G1 (2019d) Vale sabia de problemas em sensores da barragem de Brumadinho, MG. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/02/06/vale-sabia-de-problemas-em-sensores-da-barragem-de-brumadinho-diz-pf.ghtml>. Acessado em: 28/09/2019.

Google Earth (2019). Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acessado em: 09/10/2019.

Governo do Estado de Minas Gerais (2016) Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. Acessado em: 02/10/2019.

Greenpeace (30 de março de 2017) Da lama ao pó: o impacto da tragédia do Rio Doce para a saúde. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/da-lama-ao-po-o-impacto-da-tragedia-do-rio-doce-para-a-saude/>. Acessado em: 03/10/2019.

Hayasaka EK (2015) Rio Doce em Galiléia- MG. Disponível em: https://flickr.com/photos/eli_k_hayasaka/23046795819/in/photolist-B7B9He-B7yRsB-BCNhX5-B7Asgn-BvwH15-BCNzGs-B7zS2v-B7AAai-BCNHmf-AHFR86-BEMRam-BCNXyd-AKA6GY-AHG1hD-Bvw3sU-BhvhXo-AKEWyM-BCNVgC-BHdyHa-BB8QEy-AMadMN-Bg6X5Q-AKPw9g-BHebti-AKPysz-BJBwBK-AKkrU2-AMd3Qg-Bb6pRB-Bg1ofw-AM81b9-Bz5Ucw-BxCiEd-AKCKq9-Bb7WDB-AM7e8d-BBkGm4-AM6Wcu-AM9ut9-Bb8SBr-Bxy3rf-AMgdJZ-AMcUQ8-AKFkus-BddnYc-BGngSA-Bb8iMi-BLJt9B-Bz5EJE-AKP32z. Acessado em: 24/10/2019.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (30 de janeiro de 2019) Rompimento de barragem da Vale em Brumadinho (MG) destruiu 269,84 hectares. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barragem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269-84-hectares>. Acessado em: 21/09/2019.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em: 21/08/2019.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração (2014) A indústria da Mineração- Para o desenvolvimento do Brasil e a promoção da qualidade de vida do brasileiro. Acessado em: 13/08/2019.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração (2015) Informações sobre a economia mineral Brasileira. Acessado em: 13/08/2019.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração (2016) Gestão e Manejo de Rejeitos de Mineração. 1ª ed. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acessado em: 28/09/2019.

ICMBIO- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2015) Nota técnica nº 24- Consequências parciais na biodiversidade aquática da bacia do rio doce provocadas pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração da Samarco Mineradora S.A. no município de Mariana, MG. Acessado: 30/08/2019.

IEF- Instituto Estadual de Florestas MG (2010) MG. Biota. v.2, n.5. Disponível em: http://ief.mg.gov.br/images/stories/MGBIOTA/mgbiota11/mgbiot_%20v.2n.5.pdf#page=5. Acessado em: 18/09/2019.

Kohorn L (2011) Biologia da Conservação. In: Cain ML, Bowman WD, Hacker SD. Ecologia. Artmed S.A.

Lacaz FAC, Porto MFS, Pinheiro TMM (2017) Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional 42: 1-12.

Lopes LMN (2016) O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. Revista Sinapse Múltipla, v.5, n.1. Jun.2016 p. 1-14. Acessado em: 30/08/2019.

Martinelli FS (2014) Fragmentação florestal, perda de habitat e ocorrência de primatas na Mata Atlântica. Tese de mestrado. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_7669_Flavia%20Silva.pdf. Acessado em: 03/10/2019.

Mechi A, Sanches DL (2010) Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. Acessado em: 03/08/2019.

Mendonça H (02 de fevereiro de 2019) Em luto, Brumadinho também teme por seu futuro econômico. El País. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/02/01/politica/1549043753_076295.html. Acessado em: 03/09/2019.

Milanez B (2017) Mineração, Ambiente e Sociedade: Impactos Complexos e Simplificação da Legislação. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7936?mode=full>. Acessado em: 15/07/2019.

Milanez B, Santos RSP, Wanderley LJM, Mansur MS, Pinto RG, Gonçalves RJAF, Coelho TP (2015) Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG). Relatório Final. Disponível em: <http://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/documentos/pagina/poemas-2015-antes-fose-mais-leve-a-carga-versao-final.pdf>. Acessado em: 15/10/2019.

MMA- Ministério do Meio Ambiente (2007) Águas subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf. Acessado em: 06/10/2019.

Moraes DSL, Jordão BQ (2002) Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. Rev Saúde Pública, v. 36, n.3, p.370-374. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rsp/2002.v36n3/370-374/pt>. Acessado em: 18/09/2019.

Muniz DHF, Oliveira-Filho EC (2006) Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. Universitas: Ciências da Saúde v. 4, n. ½, p.83-100. Disponível em: <https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/cienciasaude/issue/view/70/showToc>. Acessado em: 07/09/2019.

O Sul (29 de janeiro de 2019) Desde 2000, o Brasil tem um rompimento de barragem a cada dois anos. Disponível em: <http://www.osul.com.br/desde-2000-o-brasil-tem-um-rompimento-de-barragem-a-cada-dois-anos-veja-lista/>. Acessado em: 14/08/2019.

Odilla F (29 de janeiro de 2019) Brumadinho: Quais são os tipos de barragem e por que a Vale construiu a menos segura na mina Córrego do Feijão? BBC News. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47048439>. Acessado em: 03/09/2019.

Oliveira WK, Rohlfes DB, Garcia LP (2019) O desastre de Brumadinho e a atuação da Vigilância em Saúde. *Epidemol. Serv. Saúde.* v. 28, n.1. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2237-96222019000100100. Acessado em: 03/11/2019.

Pereira FL, Cruz GDB, Guimarães RMF (2019) Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. *Jornal of Environmental Analysis and Progress*, v.4, n.2. Fev.2019 p.122-129. Acessado em: 30/08/2019.

Pinto NP (2018) Avaliação dos impactos ambientais e medidas mitigadoras de empreendimentos de mineração a céu aberto no Brasil. Acessado em: 30/08/2019.

Porto (2016) A tragédia da mineração e do desenvolvimento no Brasil: desafios para a saúde coletiva. *Cad. Saúde Pública.* v.32, n.2. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X2016000200302&lng=pt&tlng=pt. Acessado em: 02/09/2019.

Rima Córrego do Feijão (2017) Rima- Projeto de continuidade das operações da Mina da Jangada de Córrego do Feijão Municípios de Brumadinho e Sarzedo- MG. Acessado em: 22/08/2019.

Rima Mariana (2017) Relatório de Impacto Ambiental-Rima- EIA Integrado do Complexo Germano. Acessado em: 21/08/2019.

Rodrigues E (1998) Efeito de bordas em fragmentos de floresta. Cad. Biodivers. v.1, n.2. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Publicacoes/Cadernos%20da%20Biodiversidade/Cadesrnos_da_Biodiversidade_V1n2/CADERNOS_2_VERS.pdf. Acessado em: 03/10/2019.

Rodrigues L (05 de fevereiro de 2019) Fiocruz alerta para agravamento de doenças na população após tragédia. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-02/fiocruz-alerta-para-agravamento-de-doencas-na-populacao-apos-tragedia>. Acessado em: 03/11/2019.

Saadi A, Campos JCF (2018) Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana). Arquivos do museu de história natural e jardim botânico da UFMG. v. 24, n. 1-2, p. 63-103. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/mhnb/article/view/6262>. Acessado em: 03/10/2019.

Sanchez LE (2010) Avaliação de impacto ambiental conceitos e métodos. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos. 553p.

Sassine V (29 de dezembro de 2015) Laudo aponta que Rio Doce estará sujeito a danos 'imprevisíveis'. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/laudo-aponta-que-rio-doce-estara-sujeito-danos-imprevisiveis-18378346>. Acessado em: 30/08/2019.

Scheller F (13 de abril de 2019) Mariana agora vive temor do colapso econômico. Estadão. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,mariana-agora-vive-temor-do-colapso-economico,70002790633>. Acessado em: 03/09/2019.

Scherer HJ, Essi L, Pinheiro DK (2015) O conhecimento da biodiversidade: um estudo de caso com estudantes de graduação de uma universidade brasileira. Revista Monografias Ambientais, v. 14, n. 2, p. 49-58. Acessado em: 18/09/2019.

Silva LS (2010) Impactos da perda de vegetação nas áreas periurbanas metropolitanas no contexto da dispersão urbana. V Encontro Nacional da Anppas. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT11-506-450-20100905223428.pdf>.

Acessado em: 03/10/2019.

Silva MFS (2019) Sistema de monitoramento online de barragens de mineração. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1818/11/MONOGRAFIA_SistemaMonitoramentoOnline.pdf. Acessado em: 08/12/2019.

Simonato TC (2017) Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FACE-B9EMG8/1/thiago_simonato__4_.pdf. Acessado em: 02/10/2019.

Soares L (2010) Barragens de Rejeitos. Tratamento de Minérios 5ª ed, p. 831-896. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>. Acessado em: 28/09/2019.

SOS Mata Atlântica (2016) Extremos da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/quem-somos/publicacoes/>. Acessado em: 21/09/2019.

SOS Mata Atlântica (23 de maio de 2019) Nove dos 17 estados da Mata Atlântica estão no nível do desmatamento zero, aponta estudo. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>. Acessado em: 21/09/2019.

Supram- Subsecretaria de Regularização Ambiental (2018) Parecer Único. Disponível em: <https://apublica.org/wp-content/uploads/2019/02/item-52-vale-sa-mina-de-corrego-do-feijao-1-2.pdf>. Acessado em: 22/08/2019.

Thomé R, Passini ML (2018) 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, nº. 34. Disponível em: <http://e->

revista.unioeste.br/index.php/csaemrevista/article/view/19480/12650. Acessado em: 03/09/2019.

Toledo MCM (2014) Intemperismo e pedogênese. Geologia. USP/UNIVESP/EDUSP, p. 135-157. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf. Acessado em: 06/10/2019.

Venaglia G (2019). Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brumadinho4.jpg>. Acessado em: 24/10/2019.

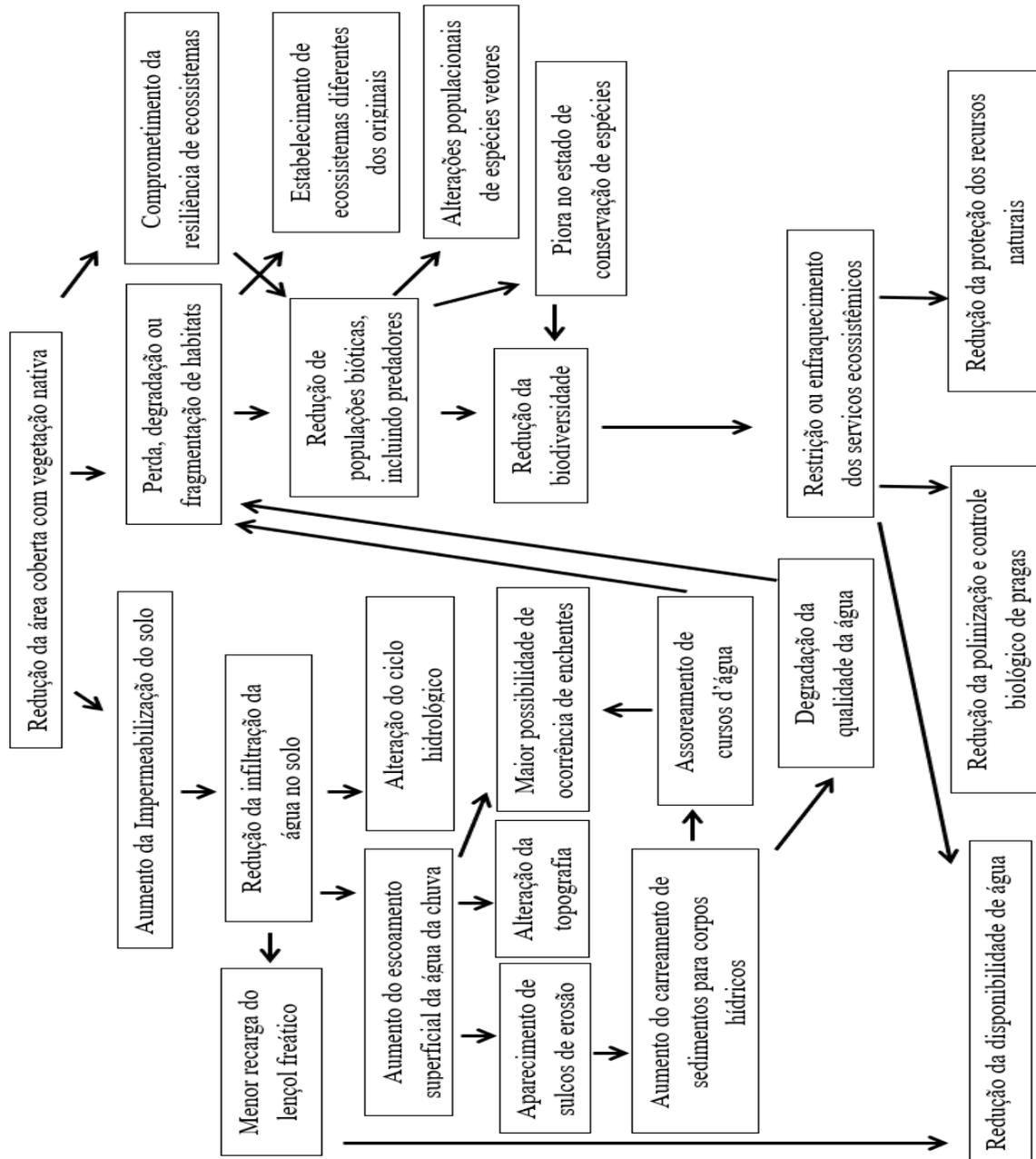
Vick SG (1983) Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams. John Wiley & Sons, New York, USA, 369p.

Vormittag EMPAA, Oliveira MA, Gleriano JS (2018) Avaliação de saúde da população de Barra Longa afetada pelo desastre de Mariana, Brasil. Ambient. Soc. v.21. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2018000100405&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acessado em: 03/10/2019.

Wanderley LJ, Mansur MS, Milanez B, Pinto RG (2016) Desastre da Samarco/ Vale/ BHP no vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais. Cienc. Cult. v. 68, n. 3. Disponível em: cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000300011. Acessado em: 21/08/2019.

6. ANEXOS

Anexo 1. Rede de interações dos impactos ambientais causados pela redução da área coberta com vegetação nativa após os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais.



Anexo 2. Rede de interação dos impactos sociais e econômicos que possuem como causa os danos à infraestrutura e sítios históricos ocorridos após os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Estado de Minas Gerais.

