



MÁRIO SÉRGIO RODRIGUES COSTA

**RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS CILIARES DEGRADADAS
PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM FUNDÃO DE
REJEITOS MINERÁRIOS EM MARIANA-MG**

LAVRAS-MG

2022

MÁRIO SÉRGIO RODRIGUES COSTA

**RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS CILIARES DEGRADADAS
PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM FUNDÃO DE
REJEITOS MINERÁRIOS EM MARIANA-MG**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

LAVRAS-MG

2022

MÁRIO SÉRGIO RODRIGUES COSTA

**RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS CILIARES DEGRADADAS
PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM FUNDÃO DE
REJEITOS MINERÁRIOS EM MARIANA-MG**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 20 de abril de 2022.

Dra. Soraya Alvarenga Botelho

Matheus Santos Luz

Lucas Rafael de Souza

Rodolfo Soares de Almeida

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

LAVRAS-MG

2022

RESUMO

O evento que ficou conhecido como desastre de Mariana teve consequências ambientais de proporções inéditas no mundo. A instalação de armazenamento de rejeitos de minério de ferro que continha cerca de 52 milhões de m³ de partículas resultantes do processo de beneficiamento do minério, se rompeu em novembro de 2015, na cidade de Mariana-MG, lançando um grande volume de lama e destruição por onde passou. A tragédia desencadeou uma série de impactos socioeconômicos e deixou um grave passivo ambiental, sobretudo nas margens dos rios a montante da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves. Este trabalho teve a intenção de, por meio de uma revisão de literatura, buscar compreender a dimensão do dano ambiental causado especialmente nas áreas ciliares afetadas pelo rompimento da Barragem de rejeitos Fundão, avaliar o andamento no cumprimento das metas de restauração florestal e recuperação de nascentes firmadas no Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta TTAC passados 6 anos do desastre e procura ainda apontar as principais mudanças na legislação de mineração no Brasil ocorridas após o rompimento.

Palavras-chave: APP, Recuperação Florestal, Mariana-MG, Fundação Renova, Rompimento de Barragem.

ABSTRACT

The event that became known as the Mariana disaster had environmental consequences of unprecedented proportions in the world. The iron ore tailings storage facility, which contained about 52 million m³ of particles resulting from the ore beneficiation process, collapsed in November 2015, in the city of Mariana-MG, releasing a big volume of mud and destruction in where it passed. The tragedy unleashed a series of socioeconomic impacts and serious environmental liabilities, especially on the banks of the rivers upstream of the Risoleta Neves Hydroelectric Power Plant. This work aimed to, through a literature review, seek to understand the dimension of the environmental damage caused especially in the riparian areas affected by the Fundão tailings dam failure, to evaluate the progress in meeting the goals on forest restoration and recovery of springs signed in the Transaction and Conduct Adjustment Agreement 6 years after the disaster and also seeks to point out the main changes in mining legislation in Brazil that occurred after the disaster.

Key words: Permanent Preservation Area, forest recovery, Mariana disaster, Renova Foundation, dam failure.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 A mineração no Brasil, em Minas Gerais e no Quadrilátero Ferrífero.....	6
2.2 Riscos e passivos da mineração.....	8
2.3 O rompimento da Barragem de rejeitos Fundão.....	10
2.3.1 Características do rejeito da barragem Fundão.....	13
2.3.2 Causa do acidente.....	14
2.3.3 Danos à Mata Atlântica e às Áreas de preservação permanente.....	15
2.3.4 Fundação Renova.....	17
2.4 A restauração 6 anos após o incidente.....	19
2.5 O que dizem as pesquisas sobre os processos de reparação sobre o rejeito.....	21
2.6 Mudanças na Legislação Nacional de Mineração.....	23
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
BIBLIOGRAFIA.....	27

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade que representa um importante e indispensável segmento na economia mundial e o Brasil é um dos maiores países produtores de minério de Ferro do Mundo (DUTRA, 2018). Apesar da contribuição socioeconômica que esse setor traz, inúmeros impactos ambientais são gerados. A mineração é uma das atividades antrópicas que mais causam impactos negativos ao meio ambiente (BARRETO, 2001; SENGUPTA, 1993).

O evento que ficou conhecido como desastre de Mariana, na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, na Bacia do Rio Doce, teve consequências ambientais de proporções inéditas. A barragem Fundão, uma instalação de armazenamento de rejeitos de minério de ferro, que continha cerca de 52 milhões de m³ de material particulado resultante do processo de beneficiamento do minério (Sánchez *et al.*, 2018), se rompeu na tarde de 5 de novembro de 2015 lançando cerca de 32,6 milhões m³ desse material (Andrade, 2020) no ribeirão Gualaxo do Norte, formador do Rio Doce.

A tragédia desencadeou uma série de impactos socioeconômicos e ambientais: provocou mortes humanas, destruição de construções, diminuição do turismo local, devastação de extensas áreas agrícolas e de pastagem, poluição do solo e cursos d'água, prejuízo aos ecossistemas aquáticos, perda de fauna, entre outros problemas. Estima-se que cerca de 1.469 ha de vegetação nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente foram impactadas (IBAMA; DIPRO; CGEMA, 2015) e que tenha destruído em torno de 457,6 ha de floresta de Mata Atlântica (OMACHI, C. Y. et al., 2018). O derramamento do rejeito soterrou as matas ciliares e populações vegetais de sub-bosque, houve também a supressão e arranquio de indivíduos arbóreos, o soterramento do banco de sementes devido ao acúmulo do material, afetando negativamente a capacidade de resiliência e o processo de sucessão ecológica nas áreas atingidas (IBAMA, 2015). De acordo com o art. 38 da Lei 9.605/98, é crime ambiental destruir ou danificar floresta considerada de preservação permanente, mesmo que em formação. A importância ecológica de florestas ao longo de cursos d'água é inegável. As vegetações nessas áreas atenuam a erosão do solo, regularizam os fluxos hídricos e impedem o processo de assoreamento dos cursos da água, dentre outras funções vitais (IBAMA, 2015).

Com objetivo de mitigar e compensar os impactos causados, em 2 de março de 2016, firmou-se um acordo extrajudicial, o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado pela Samarco e suas controladoras - a Vale e a BHP Billiton – em conjunto com o

governo Federal e dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, o que culminou na criação da Fundação Renova, uma organização de direito privado, com autonomia em relação às instituidoras, com o objetivo de gerir e executar todas as medidas previstas nos programas socioeconômicos e socioambientais (Sánchez *et al.*, 2018). Dos 42 programas de reparação e compensação definidos, este trabalho procurou, por meio de revisão de literatura, além de compreender a dimensão dos danos causados às áreas ciliares ocorridos devido ao rompimento, conferir o andamento do programa de Restauração Florestal e Produção de Água tratado no termo, e também compreender se houve e quais foram as mudanças ocorridas na legislação de mineração após o acidente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A mineração no Brasil, em Minas Gerais e no Quadrilátero Ferrífero

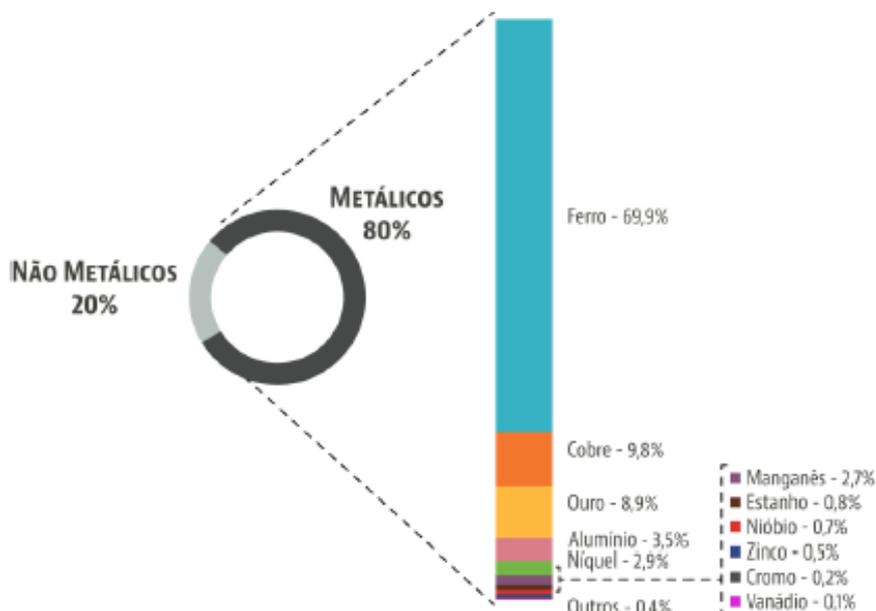
De acordo com a definição do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2015) mineração é a extração de minerais existentes nas rochas e ou no solo. Trata-se de uma atividade que representa um importante e indispensável segmento na economia mundial. A atividade é exercida desde os tempos pré-históricos, disponibilizando para a sociedade recursos minerais essenciais ao seu desenvolvimento. Conseqüentemente a estrutura global da sociedade humana quase que em sua totalidade é baseada no fluxo livre de minerais e seus produtos (DUTRA, 2018).

A atividade minerária no Brasil teve início nos tempos coloniais, no século XVII, com as expedições chamadas entradas e bandeiras que buscavam no interior do território por metais valiosos (ouro, prata, cobre) e pedras preciosas (diamantes, esmeraldas). A descoberta de ouro, diamante e esmeraldas na região da Capitania de São Paulo (Planalto Central e Montanhas Alterosas), nas áreas que depois viriam a se constituir nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso daria início a uma série de eventos ligados à exploração de minerais e tiveram conseqüências históricas e demográficas marcantes que perduram até os tempos atuais. Com a colonização do interior do país e o conhecimento de novas tecnologias geológicas foi possível a descoberta de novos depósitos minerais metálicos essenciais para fomentar o processo de industrialização brasileiro e impactar positivamente a economia nacional (Agência Nacional de

Mineração, 2020), e o Brasil é atualmente um dos maiores países produtores de minério de Ferro do Mundo.

Em 2018, as substâncias da classe dos metálicos responderam por cerca de 80% do valor total da produção mineral brasileira. Onze se destacam-se por corresponderem a 99,7% do valor da produção da referida classe, são elas: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco. O valor da produção dessas onze substâncias totalizou 103 bilhões de reais, com destaque para a expressiva participação de 69,9% do ferro nesse montante, cuja produção é concentrada principalmente nos estados de Minas Gerais e Pará (Agência Nacional de Mineração, 2020).

Figura 1. Participação das Principais Substâncias Metálicas no Valor da Produção Mineral -2018.



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2020.

De acordo com Tonietto e Silva (2011), as reservas de minérios no Brasil totalizam 28,9 bilhões de toneladas, sendo que, desses, 67% está localizado no estado de Minas Gerais. Pelas estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014), Minas Gerais se situa como o maior estado produtor de minério do Brasil, com 47,01% da produção nacional. Pode dizer-se que o estado nasceu em torno das lavras de ouro e de uma diversidade de minerais valiosos e que seu nome destaca a vocação pela atividade e a riqueza de minérios.

A região denominada como Quadrilátero Ferrífero, com uma área de 7 mil km² aproximadamente, localizada entre Belo Horizonte e Ouro Preto, na região central de Minas Gerais, é um dos polos produtores minerais mais importantes do país e o mais conhecido geologicamente. (PRADO FILHO & SOUZA, 2004). Seu nome deve-se à localização espacial das terras altas que constituem um conjunto de cristas e superfícies erosivas soerguidas que possuem uma forma grosseiramente quadrangular que forma o entorno das terras baixas (VARAJÃO et al., 2009) e à composição do material de origem (itabiritos, dolomitos ferruginosos e rochas básico-ultrabásicas) (CARVALHO FILHO; CURI; SHINZATO, 2010).

Na região do Quadrilátero Ferrífero encontra-se parte de duas das mais importantes bacias hidrográficas do estado, a do Rio Doce e a do Rio das Velhas. A bacia do rio Doce possui área de drenagem de cerca de 84 mil km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Espírito Santo. Possui rica biodiversidade, estando 98% de sua área inserida no bioma de Mata Atlântica, um dos mais importantes e ameaçados do mundo, e os 2% restantes em área de Cerrado (ANA, 2016). A bacia possui o maior complexo siderúrgico da América Latina, onde várias empresas siderúrgicas e mineradoras encontram-se instaladas. Tais empresas estão focadas principalmente na exploração de ferro, alumínio, berilo, crisoberilo, mica, feldspato e ouro (SANTOLIN et al., 2015). Todas essas atividades resultam em diversos impactos negativos ao longo da bacia, como o assoreamento, a erosão, a contaminação dos solos, a poluição dos cursos d'água, a perda de vegetação etc (RESENDE FILHO; CORREA; TORRES, 2015).

2.2 Riscos e passivos da mineração

Apesar da contribuição socioeconômica que esse setor traz, inúmeros impactos ambientais são gerados. A mineração é uma das atividades antrópicas que mais causam impactos negativos ao meio ambiente (poluição dos recursos hídricos, assoreamento, destruição da fauna e da flora, contaminação do solo e perda da biodiversidade) (BARRETO, 2001; SENGUPTA, 1993).

Nas últimas décadas há diversos relatos no mundo de desastres causados pelo rompimento de barragens (SITHARAM; HEGDE, 2016). O estado de Minas Gerais possui em sua história, alguns ocorridos desta natureza como o rompimento da barragem de rejeitos da

Mina de Fernandinho, em Itabirito, em 1986, que é o registro mais antigo desta categoria de acidentes. E em 2007, na cidade de Miraí, a estrutura da mineradora Rio Pomba Cataguases ao se romper, atingiu bairros de Miraí e da cidade vizinha Muriaé, onde aproximadamente 1.200 casas foram atingidas, deixando cerca de 4.000 moradores desalojados.

Existem no Brasil atualmente alguns tipos de barragens com dimensões e finalidades diversas tais como para acumulação de água, geração de energia, aterros, diques para retenção de resíduos industriais e barragens de contenção de rejeitos de mineração. Rejeito é definido como um material que carece de valor econômico e cujas características variam de acordo com o tipo de minério e de seu beneficiamento. Ignorado por não oferecer benefícios econômicos ao empreendimento, ele deve ser descartado de forma adequada de acordo com a legislação, considerando o grau de dano potencial ao meio ambiente. Diferentemente do estéril, que é o material descartado in natura diretamente na operação de lavra antes do beneficiamento, o rejeito é descartado durante e/ou após o processo de beneficiamento.

A barragem de rejeitos funciona como uma barreira onde são depositados os rejeitos e que na medida em que é depositado, sua parte sólida se acomoda no fundo da estrutura e a água que resulta do processo de beneficiamento somada à água da chuva fica na superfície dos reservatórios conforme vai ocorrendo a decantação das partículas do rejeito e então, é drenada e tratada, podendo ser reutilizada no processo de mineração e/ou devolvida ao meio ambiente (DUTRA, 2018).

No ano de 2017, segundo Gomes et al. (2019) havia 302 barragens de contenção de rejeitos em Minas Gerais e 47% dessas apresentavam um alto potencial de dano ambiental. Somente no estado de Minas Gerais, 40 barragens são instáveis, ou seja, em condição de não conformidade, e estavam em pleno de uso (MEIRA et al., 2016).

Sedimentos decorrentes da atividade minerária já se acumulavam nos rios e montanhas de Minas desde o século XVII. Foi no Rio do Carmo, em suas nascentes em Mariana, o primeiro grande garimpo de ouro do Brasil (SCHAEFER *et al.*, 2015). Curiosamente na primeira microbacia hidrográfica explorada em maior escala pela atividade minerária no país viria a ocorrer, também, um dos maiores desastres ambientais com barragens de rejeito minerário séculos depois.

2.3 O rompimento da Barragem de rejeitos Fundão

Na tarde do dia 5 de novembro de 2015, aproximadamente 16h30, ocorreu o rompimento da barragem Fundão de rejeitos resultantes do processo de extração e beneficiamento de minério de ferro. Parte do Complexo minerário Alegria, unidade de Germano, no município de Mariana – MG, essa estrutura armazenava 56,4 milhões de m³ de rejeito, tendo sido liberado cerca de 32,6 milhões de m³ desse material (SAMARCO, 2017). A lama seguiu em direção ao subdistrito de Bento Rodrigues depois percorreu 55 km no curso do rio Gualaxo do Norte até o rio do Carmo, e outros 22 km até o rio Doce, chegando à sua foz 16 dias após o rompimento (PINTO-COELHO, 2015).

O desastre em análise, quanto à intensidade, classifica-se como Desastre de Nível IV, “desastre de muito grande porte”, conforme classificação da Defesa Civil. Os desastres desse último nível são caracterizados quando os danos causados são muito importantes e os prejuízos muito vultosos e consideráveis. Nessas condições, esses desastres não são superáveis e suportáveis pelas comunidades, mesmo quando bem informadas, preparadas, participativas e facilmente mobilizáveis, a menos que recebam ajuda de fora da área afetada, como foi o caso. Quanto à evolução, o rompimento da barragem de Fundão classifica-se como súbito, ou seja, caracteriza-se pela subtaneidade, pela velocidade com que o processo evolui e pela violência dos eventos adversos causadores dos mesmos (IBAMA; DIPRO; CGEMA, 2015). Esse acontecimento é considerado o maior desastre mundial no setor de mineração em relação à quantidade e à distância percorrida pelo rejeito (CORDEIRO et al., 2019).

Figura 2 – Vista após o acidente.

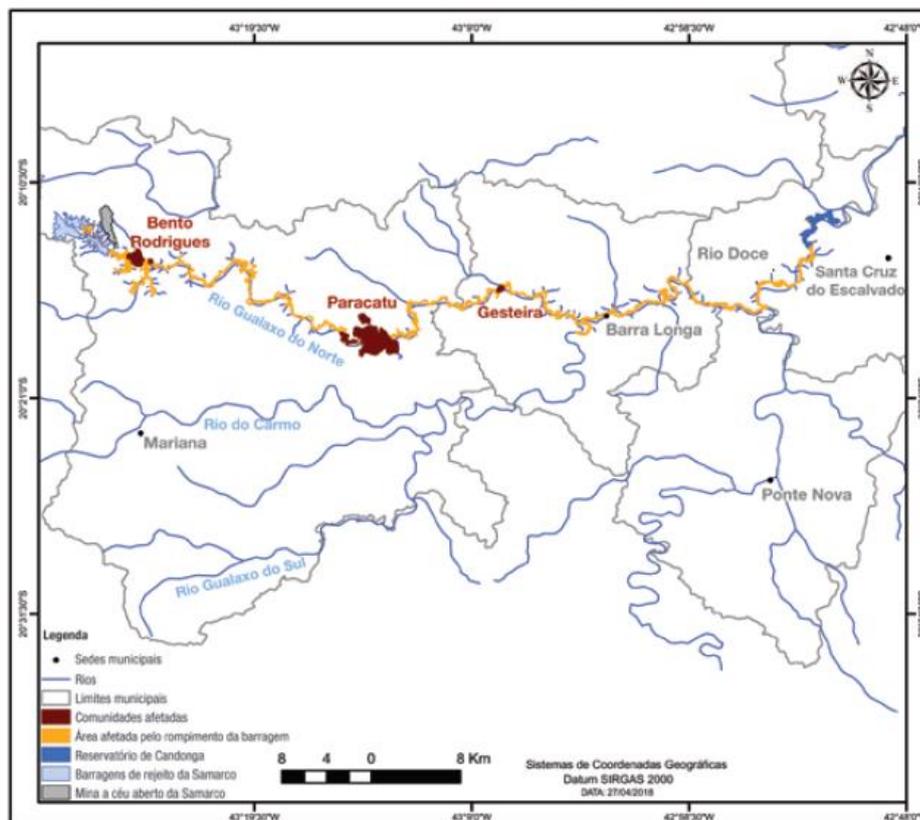


Fonte: DW Brasil. Foto de Sam Cowie.

O grande volume da porção mais pesada do rejeito, cerca de 10,5 milhões de m³, permaneceu ao longo do trecho de 120 km entre Fundão e a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, conhecida como Candonga, localizada nas proximidades de Santa Cruz do Escalvado-MG (SAMARCO, 2017) o que ajudou a reduzir a velocidade com que a lama avançava rio abaixo. Após a barragem Candonga a parte mais fina da lama seguiu em direção ao mar afetando a calha do rio Doce, mas causando impactos menores às margens e planícies a jusante da barragem Risoleta Neves.

Em um primeiro momento o Distrito de Bento Rodrigues foi dizimado (Figura 3). O volume de rejeitos provocou a morte de 19 pessoas, derrubou edificações e destruiu a infraestrutura não só em Bento Rodrigues como em Paracatu de Baixo, em Mariana-MG, e uma parte do distrito de Gesteira, em Barra Longa-MG. Propriedades rurais, que somavam cerca de 2,2 mil hectares, ficaram inundadas, impedidas de produzir. O material fluiu rio abaixo prejudicando o abastecimento público de água dos municípios rio abaixo (SAMARCO, 2016).

Figura 3 – Trecho onde os danos ambientais às APP foram mais severos.



Fonte: (Sánchez *et al.*, 2018)

A lama desembocou dezesseis dias após o rompimento da barragem na foz do Rio Doce, no oceano Atlântico, no município de Linhares – ES, (SCHAEFER et al., 2015) tendo as partículas de rejeito alcançado os litorais dos estados do Rio de Janeiro e Bahia. Estima-se que 663,2 km de corpos hídricos foram afetados, do primeiro afluente até a foz do Rio Doce, no Município de Linhares-ES. (IBAMA, 2015). Pode-se dizer que quanto mais próximos à barragem que se rompeu maior foi o dano.

Figura 4 - Alcance dos Sedimentos na Foz do Rio Doce - Consolidação de 03/12/2015 a 03/02/2017. Mapa adaptado do Mapa consolidado elaborado pelo Núcleo de Geoprocessamento e Monitoramento da superintendência do IBAMA no Estado de São Paulo – NUGEO-SP



Fonte: (IBAMA, 2017)

Figura 5 – Percurso do rejeito até o mar.



Fonte: DW Brasil. <<https://www.dw.com/pt-br/mariana-completa-seis-meses-sob-a-lama/a-19232712>>

2.3.1 Características do rejeito da barragem Fundão

Após o rompimento a deposição de rejeitos nas planícies fluviais do rio Doce principalmente à montante da barragem candonga, atingindo profundidades de até 2 metros, provocou o soterramento dos neossolos flúvicos, gleissolos e cambissolos, presentes originalmente nas várzeas do rio Doce e assim, propiciou a formação de solos completamente distintos dos solos originais (SCHAEFER et al., 2016).

Segundo Silva et al. (2016) o rejeito é considerado alcalino, possui elevado teores de areia e de silte, baixa porosidade e reduzida quantidade de matéria orgânica e nutrientes. As concentrações de metais pesados (zinco, cádmio, cobre, chumbo e níquel) são consideradas baixas, em contrapartida o conteúdo de manganês nesse material é elevado. Os óxidos predominantes no rejeito são SiO_2 e Fe_2O_3 . Segundo esses autores, análises químicas indicaram que há necessidade de correção dos substratos, pois possuem baixos teores de macronutrientes e elevados teores de ferro, que são oriundos das rochas de origem, havendo necessidade de corretivos e adubos para promover desenvolvimento inicial de mudas no estabelecimento da vegetação. O rejeito ainda forma uma camada adensada que constitui uma barreira física para a germinação das sementes e a penetração das raízes (SCHAEFER et al., 2016).

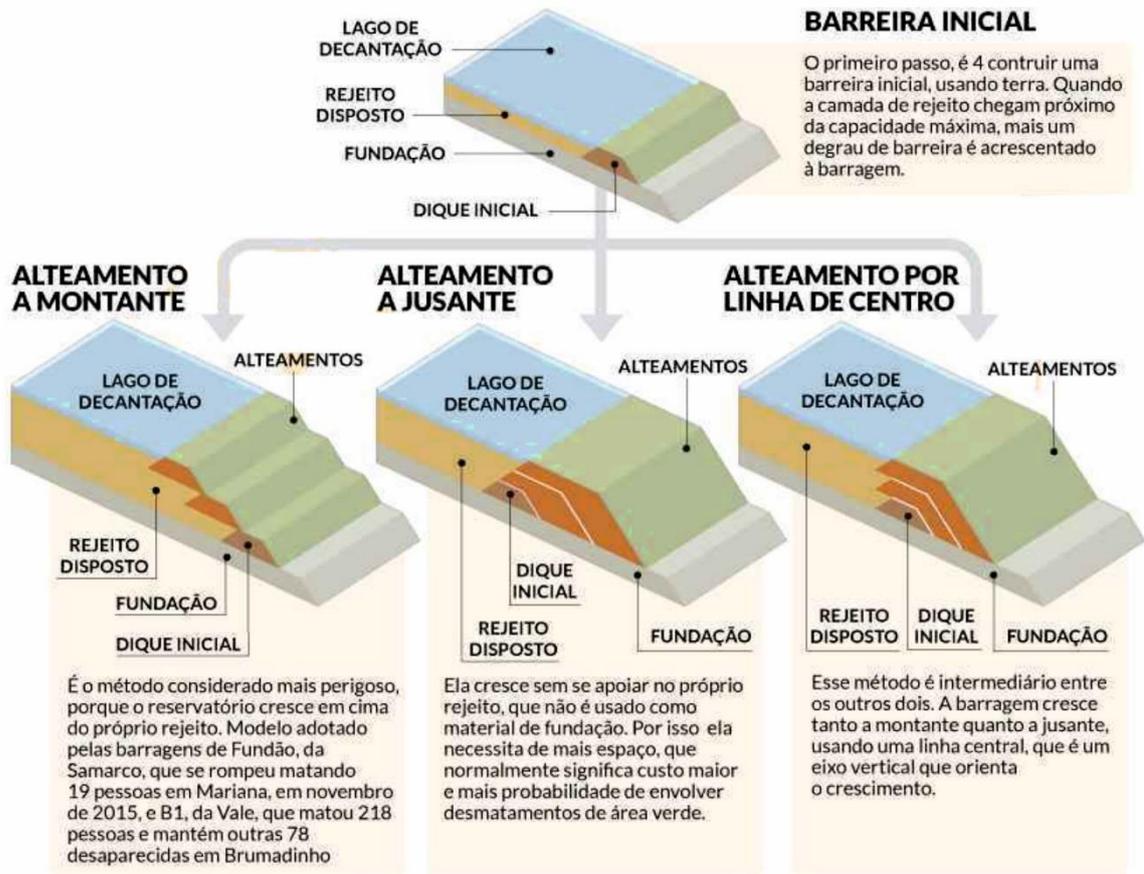
O rejeito depositado constituiu um tecnossolo, como são chamados os solos criados, intencionalmente ou não, por influência antrópica. Esse tecnossolo consiste em sedimentos hidrófilos de granulometria ultrafina e coloidal, matéria orgânica praticamente inexistente, solo e detritos antrópicos, vegetais e animais incorporados. Em um estudo na região afetada ANDRADE e BOTELHO (2016) afirmam que o tecnossolo da área de estudo possui baixa condutividade hidráulica, alta resistência a penetração, baixa porosidade total e alta densidade, características que podem restringir o desenvolvimento das plantas. Outros fatores como competição, veranico, pisoteio de animais e manutenção da área também influenciaram no crescimento.

2.3.2 Causa do acidente

Na engenharia de mineração existem métodos de construção de barragem de rejeitos, elas são denominadas pelo deslocamento do eixo da barragem durante as etapas de construção: são a montante, a jusante e linha de centro (Figura 6). A barragem Fundão era do tipo alteamento a montante, em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado, esse método de alteamento é conhecido por tornar a estrutura mais suscetível a infiltrações de água que diminuem sua estabilidade e por aumentar as possibilidades de rompimento. Essas barragens são construídas com material grosseiro residual oriundo da atividade de mineração e, regularmente em encostas íngremes. (AZAM; LI, 2010; GUERRA et al., 2017 apud SOUZA, 2019).

Num estudo elaborado pela francesa Commission Internationale Des Grands Barrages em 2001, comparando 221 rompimentos de barragem ocorridos em diversos países pelo mundo, notou-se que o método a montante é o que mais sofre rupturas no mundo, mas também é o mais comum e antigo método de alteamento de barragens de rejeito. Acidentes com este tipo de barragem podem ocorrer tanto em barragens ativas quanto em barragens inativas. As principais causas de incidentes com o método à montante de barragens ativas ou inativas são a instabilidade de taludes, alagamento e terremoto (ICOLD, 2001).

Figura 6 – Métodos de Alçamento de barragens.



Fonte: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/04/04/interna_gerais,1043673/barragens-construidas-com-metodo-mais-seguro-estao-sem-estabilidade.shtml

De acordo com Morgenstern et al. (2016), o rompimento da barragem Fundão foi causado pela liquefação do rejeito. Esse processo ocorre quando o rejeito sedimentado adquire um comportamento de líquido, a barragem e/ou a fração sedimentada perde a sua resistência em decorrência do acúmulo de água, esse acúmulo faz com que as partículas fiquem “soltas” exercendo uma maior pressão sobre a barragem, essa pressão, devido à abalos sísmicos, liquefação, ou outras causas eventualmente pode levar a barragem ao seu colapso.

2.3.3 Danos à Mata Atlântica e às Áreas de preservação permanente

O derramamento dos rejeitos soterrou as matas ciliares e populações vegetais de sub-bosque, houve também a supressão e arranquio de indivíduos arbóreos pela força da onda de sedimentos, o soterramento do banco de sementes devido ao acúmulo de sedimentos, afetando

negativamente a capacidade de resiliência e o processo de sucessão nas áreas atingidas (IBAMA, 2015). Omachi et al. (2018) estimou que o rejeito da barragem destruiu 457,6 ha de floresta de Mata Atlântica, sendo que as maiores perdas se concentraram ao longo dos primeiros 100 km da barragem de Fundão.

O bioma da Mata Atlântica tem uma área de 148.194.638 ha, está presente em 17 estados brasileiros o que corresponde a cerca de 15% do território nacional (RIBEIRO et al., 2009). A grande biodiversidade juntamente com a ameaça de extinção do bioma faz com que esse seja considerado um *hotspot*, uma área prioritária mundial para a conservação (MYERS et al., 2000). Encontra-se em uma região densamente povoada, onde vive cerca de 60% da população brasileira (SPECHT et al., 2015). Apresenta grande importância econômica, pois 70% do Produto Interno Bruto vem da região e possui terras de alta produtividade (MARTINELLI et al., 2013; SCARANO; CEOTTO, 2015). Na atualidade, mesmo após a promulgação da Lei da Mata Atlântica (11.428/2006) (Brasil, 2006), as taxas de desmatamento no bioma ainda permanecem altas, registrando 14.502 ha desmatados entre 2018 e 2019 (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020).

Área de Preservação Permanente - APP, são as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, ao longo de corpos d'água, em zonas rurais ou urbanas. São partes intocáveis da propriedade, onde não é permitida a exploração econômica direta segundo a Lei Federal nº 12.651/2012. As matas ciliares apresentam grandes variações em sua estrutura, composição florística e dinâmica frequentemente relacionadas com características da área como: histórico de perturbações, vegetação adjacente, mosaico edáfico, relevo local, entre outros. (DURIGAN, 2009). As vegetações nessas áreas ao longo de cursos d'água atenuam a erosão do solo, regularizam os fluxos hídricos e reduzem o processo de assoreamento dos cursos da água, dentre outras funções vitais. É crime ambiental destruir ou danificar floresta considerada de preservação permanente, mesmo que em formação, ou utilizá-la com infringência das normas de proteção de acordo com o art. 38 da Lei 9.605/98.

2.3.4 Fundação Renova

Após a assinatura do Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), em 2 de março de 2016, entre a Samarco e suas controladoras - Vale S.A. e BHP Billiton Limited & Plc, o Governo Federal e os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, foi criada a Fundação Renova, uma instituição responsável por conduzir os programas de reparação e compensação socioeconômica e socioambiental nas áreas impactadas e arredores. A Fundação Renova é uma organização de direito privado, com autonomia em relação às instituidoras, com o objetivo de gerir e executar todas as medidas previstas nos dois eixos macro do termo, os programas socioeconômicos e programas socioambientais. Ao todo são 42 programas de reparação e compensação definidos.

A Fundação Renova é fiscalizada pela Promotoria de Justiça de Tutela de Fundações do Ministério Público de Minas Gerais, em Belo Horizonte e suas ações são submetidas à aprovação pelo o Comitê Interfederativo (CIF), órgão do qual fazem parte o governo federal, os estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, os municípios de Mariana, Rio Doce e Linhares e instituições públicas especializadas, como IBAMA, ANA, ICMBio, FUNAI, entre outras.

2.3.5 O TTAC e os compromissos em restauração

No programa socioambiental do Termo de Transação de Ajustamento de Conduta são descritos oito eixos temáticos, são eles:

1. Gestão dos Rejeitos, Recuperação e Melhoria da Qualidade da Água;
2. Restauração Florestal e Produção de Água;
3. Conservação da Biodiversidade;
4. Segurança Hídrica e Qualidade da Água;
5. Educação, Comunicação e Informação;
6. Preservação e Segurança Ambiental;
7. Gestão e Uso Sustentável da Terra; e
8. Gerenciamento do Plano de Ações.

No eixo que trata da restauração florestal e produção de água consta três programas de ação no tema, seu conteúdo pode ser resumido conforme descrito abaixo:

- Programa de recuperação da Área Ambiental 1 (municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado) incluindo biorremediação, englobando medidas de cunho reparatório.

Segundo esta primeira subseção, a Fundação Renova assumiu o dever de efetuar a revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas, visando a diminuição da erosão laminar e eólica, com extensão total de 800 ha com conclusão até o último dia útil de junho de 2016 e de recuperar 2.000 ha na ÁREA AMBIENTAL 1 (nos Municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado em um prazo de 4 anos, a contar da assinatura do termo, com 6 anos complementares de manutenção além de realizar a regularização de calhas e margens e controle de processos erosivos nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no trecho a montante da UHE Risoleta Neves.

- Programa de recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP) e áreas de recarga da Bacia do Rio Doce com controle de processos erosivos, de acordo com medidas e requisitos de cunho compensatório.

A segunda subseção diz que a Fundação assume o dever de recuperar APP degradadas do Rio Doce e tributários preferencialmente, mas não se limitando a esses, nas sub-bacias dos rios definidos como fonte de abastecimento alternativa para os municípios que tiveram localidades cuja operação do sistema de abastecimento público ficou inviabilizada temporariamente por decorrência do rompimento da barragem, com prioridades definidas pelo comitê interfederativo numa extensão de 40.000 ha em 10 anos, sendo que 10.000 ha deverão ser executados por meio de reflorestamento e 30.000 ha deverão ser executados por meio da condução da regeneração natural. Ficando estabelecido o valor mínimo de R\$ 1.100.000.000,00 para executar o programa. Sendo que na hipótese de a execução das ações previstas custar um valor inferior ao referido, a Fundação deverá realizar outras ações de reflorestamento e/ou regeneração na área definida pelo comitê interfederativo, até atingi-lo. A recuperação das APP deverá seguir metodologia similar ao Programa Reflorestar, Produtor de Água ou iniciativas semelhantes, nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Na recuperação das áreas

marginais e compensação das APP degradadas, serão implementados projetos de produção de sementes e de mudas de espécies nativas florestais ou serão apoiados projetos correlatos com este mesmo objetivo, alinhados com os programas citados acima. E ainda deverá ser realizado também o manejo do solo visando à recuperação de áreas de erosão e priorizando-se as áreas de recarga da Bacia do Rio Doce nas APP objeto de recuperação deste programa.

- Programa de recuperação de Nascentes, englobando medidas de cunho compensatório.

A terceira subseção trata do compromisso assumido pela Fundação de recuperar 5.000 nascentes, a serem definidas pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Doce (CBH-Doce), sendo 500 nascentes por ano, a contar da assinatura deste acordo, em um período máximo de 10 anos, conforme estabelecido no Plano Integrado de Recursos Hídricos do CBH-Doce, podendo abranger toda área da Bacia do Rio Doce.

2.4 A restauração 6 anos após o incidente

De acordo com o documento A REPARAÇÃO ATÉ AQUI, publicado em janeiro de 2022 pela Fundação Renova, foi concluída no primeiro trimestre de 2021 a reparação de cerca de 550 hectares de florestas e Áreas de Preservação Permanente (APPs) localizadas em Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Ponte Nova. O trabalho foi realizado em mais de 200 propriedades rurais afetadas diretamente pelos rejeitos, onde foram plantadas 300 mil mudas de 96 espécies nativas. Segundo a Fundação Renova, até o momento destinaram-se R\$ 356 milhões às ações de restauração florestal das áreas diretamente impactadas (Renova, 2022).

No trabalho comandado pelo Laboratório de Restauração Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em parceria com a Fundação Renova, foram plantadas 41 mil mudas de espécies nativas em 41,5 hectares de área impactada onde foi observada uma alta capacidade de regeneração do solo com rejeito e uma boa taxa de crescimento das plantas. O rejeito, apesar de pobre em alguns nutrientes, não representa um impedimento para a regeneração natural e não contém substâncias tóxicas (Renova, 2022).

A Fundação Renova afirma ainda estar atuando de forma integrada para revitalização ambiental da bacia do rio Doce, unindo ações para proteção de nascentes, recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e áreas de recarga hídrica. Segundo o documento R\$ 1,5 bilhão é o valor destinado para as iniciativas de restauração florestal (Renova, 2022).

As atividades de restauração florestal alcançaram, até o momento, cerca de 1.150 hectares de Áreas de Preservação Permanente e áreas de recarga hídrica em Minas Gerais e no Espírito Santo. Mudanças utilizadas nestas ações são produzidas em parceria com dez viveiros localizados na bacia do rio Doce. Mais de 250 propriedades rurais são parceiras nas ações de restauro florestal e cerca de 470 participam das ações para recuperação de nascentes. A Fundação Renova também mobilizou e conscientizou comunidades, fornece insumos, mão de obra e assistência técnica. A iniciativa faz parte de uma parceria com o World Wildlife Fund Brasil (WWF-Brasil), que desenvolveu um projeto de recuperação florestal em larga escala específico para a bacia do rio Doce. Das 5000 nascentes propostas, cerca de 1.100 nascentes estão com o processo de recuperação iniciado (Renova, 2022).

Por meio do EDITAL DE ADESÃO DE PRODUTORES RURAIS AOS PROGRAMAS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL, nome dado ao edital pela Fundação Renova, iniciado em novembro de 2021, produtores rurais de 65 municípios da bacia do rio Doce podem aderir às ações recuperação florestal. O edital está aberto permanentemente até que se alcance a meta total de recuperar 5 mil nascentes e 40 mil hectares de APP ou áreas de recarga hídrica nas bacias dos rios Manhuaçu, Santa Maria do Doce, Bananal, Pancas, Corrente Grande, Guandu e Piranga. O proprietário da terra onde a nascente está recebe suporte da Fundação Renova que acompanha as etapas de recuperação. Agricultores que se comprometem a recuperar nascentes, mananciais e fontes de água em suas propriedades são recompensados financeiramente pela Fundação Renova. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tem como objetivo apoiar uma mudança da cultura extrativista para a preservacionista no ambiente rural. A adesão é voluntária e a Fundação Renova é responsável por executar e dar suporte à restauração ambiental nas propriedades, fornecendo os insumos e mão de obra. O produtor rural fica responsável pela manutenção das áreas contempladas pelo programa por um prazo de cinco anos sendo remunerado por isso (Renova, 2022). As propriedades contempladas pelo edital serão remuneradas pelo período mínimo de 5 anos, a contar de 1 ano após o início da

implantação dos projetos de recuperação da vegetação nativa. O valor de pagamento será de R\$ 262,14 por hectare por ano (R\$/Ha/ano) (Renova, 2021).

2.5 O que dizem as pesquisas sobre os processos de reparação sobre o rejeito

Pesquisas realizadas com o rejeito depositado pela barragem Fundão mostraram que a vegetação é capaz de se estabelecer, com resultados distintos em função de alguns fatores. Segundo Andrade (2020), características do tecnossolo da área de estudo, como a baixa condutividade hidráulica, alta resistência a penetração, baixa porosidade total e alta densidade, podem restringir o desenvolvimento das plantas, mas que fatores como competição, veranico, pisoteio de animais e manutenção da área também podem influenciar no crescimento. Entre as espécies estudadas, o crescimento em altura é bastante variável a sobrevivência total do experimento manteve-se em torno de 53%. As espécies listadas com alta taxa de sobrevivência e com elevado crescimento em altura no período avaliado, como *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Hymenaea courbaril* L., *Pterogyne nitens* Tul., *Psidium guajava* L., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Triplaris americana* L., são espécies indicadas na implantação de sistemas de recuperação de áreas com tecnossolo oriundo do rejeito de minério de ferro e condições ambientais semelhantes ao do experimento (ANDRADE e Botelho, 2016).

Em outro estudo, Andrade (2020) constatou que a condição de irrigação do tecnossolo apresentou influência na velocidade de emergência e no percentual de plântulas emergidas, evidenciando a importância da condição de umidade no campo no momento da realização da sementeira. As espécies *Enterolobium contortisiliquum*, *Hymenaea courbaril*, *Pterogyne nitens* e *Peltophorum dubium* foram identificadas como potenciais para utilização na sementeira direta nos tecnossolos. As espécies *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) B.D.Jacks., *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart., *Maclura tinctoria* (L.) D.Don ex Steud., *Myrocarpus frondosus* Allemao e *Triplaris americana* não apresentaram emergência no tecnossolo em nenhuma das condições de irrigação do estudo. De acordo com os resultados obtidos, o uso da sementeira direta com espécies arbóreas para a restauração dos ecossistemas ciliares sobre o rejeito pode ser recomendado, devendo-se atentar para uma seleção adequada das espécies, época adequada de sementeira, que promova umidade de solo adequada, bem como uma boa qualidade dos lotes de sementes a serem utilizados.

Os resultados obtidos por Ribeiro (2021) sugerem que a espécie *Vernonia polyanthes* Less. desempenha um papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, sendo necessário o seu estudo para compor projetos de restauração. Além disso, fica evidente a necessidade da compreensão de quais fatores beneficiam o processo de regeneração natural. Neste estudo, a regeneração natural é facilitada quando as áreas degradadas apresentam adequada cobertura de dossel, se estão próximas a fragmentos florestais conservados e se existe a ausência de gado. As áreas sem ações de restauração contabilizaram maior densidade e riqueza de plantas neste estudo, o autor afirma que o resultado se deve a estas áreas apresentarem esses atributos facilitadores da regeneração natural (adequada cobertura de dossel, se estão próximas a fragmentos florestais conservados e se existe a ausência de gado). A regeneração natural como ferramenta para recuperar os ecossistemas degradados pode ser indicada, desde que seja avaliado se as áreas apresentam atributos que irão contribuir com o sucesso desse método de restauração (Ribeiro, 2021).

Andrade (2022) gerou um modelo que constitui uma forma pragmática de monitorar e acompanhar a trajetória da restauração, que possibilita atribuir “notas de restauração”, levando em consideração apenas dados dos indicadores selecionados: Índice de Shannon do estrato arbóreo; Altura média do estrato arbóreo; Cobertura de dossel; Percentagem de cobertura do solo por serrapilheira e pH do solo. A autora encontrou diferenças estatísticas para todas as variáveis avaliadas comparado as áreas referência e as áreas em processo de restauração, o que seria esperado, em função da idade do processo de restauração e ainda ressalta em seu trabalho a importância do monitoramento do processo no sentido de garantir de que as áreas possam atingir a autossustentabilidade em seus ecossistemas.

Para avaliar o uso de bolas de sementes de diferentes diâmetros e confeccionadas com diferentes substratos - rejeito, composto orgânico, argila e fino de carvão - como técnica alternativa para a restauração florestal de áreas atingidas pelo rejeito da barragem de Fundão, Martins *et al.*, (2021) concluíram que a técnica das bolas de sementes utilizando o próprio rejeito, puro ou com misturas de substratos, configura-se como uma alternativa muito promissora para auxiliar na restauração das áreas atingidas por rejeito e em áreas de compensação na bacia do rio Doce, particularmente em áreas de difícil acesso, áreas com regeneração que precisam de enriquecimento, entre outras. Os autores afirmam que a utilização de bolas pequenas, com cerca de 3 cm de diâmetro mostrou-se mais adequada por resultar em maiores taxas de germinação, além de serem de mais fácil transporte e lançamento manual ou via drones em áreas de difícil acesso. A próxima etapa da pesquisa será a aplicação da técnica

em condições de campo, onde serão lançadas as bolas de sementes em área com depósito de rejeito em Mariana, MG, que serão monitoradas quanto a germinação das sementes e a formação de núcleos de regeneração de espécies arbóreas nativas (Martins *et al.*, 2021).

2.6 Mudanças na Legislação Nacional de Mineração

Após a sequência de rompimentos de barragens de mineração, em especial a Barragem de Fundão em Mariana e a Barragem B1 em janeiro de 2019, no município de Brumadinho, ambas no Estado de Minas Gerais, a Agência Nacional de Mineração estabelece a exigência de novas medidas regulatórias preventivas em relação a barragens de mineração por meio da Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019 (BRASIL, 2019). Passou-se a ser expressamente proibida a utilização em território nacional do método de construção ou alteamento de barragens de mineração onde os diques de contenção se apoiem sobre o próprio rejeito ou sedimento depositado, conhecido como método a montante (BRASIL, 2019). Também passou a vigorar a implementação de sistemas automatizados de acionamento de sirenes; o descomissionamento ou descaracterização de barragens a montante previamente existentes até o prazo limite de agosto de 2021 e a implementação de sistema de monitoramento com acompanhamento em tempo integral para barragens de mineração com Dano Potencial Associado alto (art. 14) (BRASIL, 2019).

A lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 também vem no mesmo sentido e traz alterações na Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), na Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e no Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Nesse contexto, foram incluídas novas obrigações dos mineradores, destacando-se a responsabilidade ambiental e o fechamento da mina, com base nas alterações legais promovidas na PNSB. Também foram ampliadas as sanções e atualizados os valores das multas, o que aumenta o rigor da fiscalização e a proteção da sociedade e do meio ambiente. Caberá à ANM estabelecer as sanções e valores específicos em até 180 dias, os quais poderão chegar a R\$ 1 bilhão. A ANM ainda terá a prerrogativa de exigir caução, seguro, fiança ou outras garantias financeiras ou reais para a reparação dos danos à vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio público. O empreendedor terá novas obrigações, como a de notificar imediatamente o respectivo órgão fiscalizador, o órgão ambiental e o órgão de proteção e defesa

civil sobre qualquer alteração das condições de segurança da barragem que possa implicar acidente ou desastre.

Ressalta-se ainda que áreas de maior risco em relação à localização de uma barragem, como a zona de autossalvamento (ZAS), aquela abaixo do nível da barragem na qual não há tempo suficiente para socorro; e a zona de segurança secundária (ZSS), que é o trecho não caracterizado como ZAS deverão constar do mapa de inundação, neste mapa são detalhadas as áreas potencialmente afetadas por uma inundação e os cenários possíveis para facilitar a notificação e a evacuação eficiente dessas regiões.

Com as mudanças na Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que passa a vigorar acrescida dos seguintes artigos pode-se destacar o artigo 2º-A, que trata da proibição das barragens feitas pelo método a montante e da descaracterização das existentes e traz três dispositivos, o primeiro faz o enquadramento da barragem a montante, o segundo determina o prazo para a descaracterização:

"Art. 2º-A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante.

§ 1º Entende-se por alteamento a montante a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado.

§ 2º O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama)."

Sendo que segundo esta Lei, barragem de mineração descaracterizada é aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo mais características de barragem de mineração, sendo destinada à outra finalidade, considerando a retirada de todo o material depositado na barragem, incluindo diques e maciços onde a barragem deixa de existir no final do processo.

E o terceiro dispositivo prevê prorrogação do prazo para descaracterização em função de inviabilidade técnica, desde que a decisão seja referendada pela autoridade licenciadora do Sisnama para cada estrutura:

§ 3º A entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária pode prorrogar o prazo previsto no § 2º deste artigo em razão da inviabilidade técnica para a execução da descaracterização da barragem no período previsto, desde que a decisão, para cada estrutura, seja referendada pela autoridade licenciadora do Sisnama."

Os parágrafos 18-A, 18-B e 18-C trazem a incompatibilidade de comunidade presente nas áreas caracterizadas como Zona de Autossalvamento com a instalação de barragem; cria um sistema de credenciamento para atestar a segurança de barragens e ordena que o laudo técnico referente às causas do rompimento de barragem deve ser feita por peritos independentes em conjunto das entidades fiscalizadoras e às custas do empreendedor:

"Art. 18-A. Fica vedada a implantação de barragem de mineração cujos estudos de cenários de ruptura identifiquem a existência de comunidade na ZAS.

§ 1º No caso de barragem em instalação ou em operação em que seja identificada comunidade na ZAS, deverá ser feita a descaracterização da estrutura, ou o reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantam a estabilidade efetiva da estrutura, em decisão do poder público, ouvido o empreendedor e consideradas a anterioridade da barragem em relação à ocupação e a viabilidade técnico-financeira das alternativas.

§ 2º Somente se admite na ZAS a permanência de trabalhadores estritamente necessários ao desempenho das atividades de operação e manutenção da barragem ou de estruturas e equipamentos a ela associados.

§ 3º Cabe ao poder público municipal adotar as medidas necessárias para impedir o parcelamento, o uso e a ocupação do solo urbano na ZAS, sob pena de caracterização de improbidade administrativa, nos termos da Lei nº 8.429, de 2 de junho de 1992."

"Art. 18-B. Os órgãos fiscalizadores devem criar sistema de credenciamento de pessoas físicas e jurídicas habilitadas a atestar a segurança da barragem, incluída a certificação, na forma do regulamento."

"Art. 18-C. O laudo técnico referente às causas do rompimento de barragem deve ser elaborado por peritos independentes, a expensas do empreendedor, em coordenação com o órgão fiscalizador."

Com as mudanças, também se destaca que no corpo da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que passa a vigorar acrescida do Capítulo V-A, se estabelece as infrações e sanções, os prazos e a graduação das sanções e das penas. Notoriamente, neste capítulo que se encontra a ampliação da sanção aplicável para o montante de até um bilhão de reais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil sendo um dos maiores produtores mundiais de minério de ferro naturalmente está exposto aos riscos e passivos ambientais intrínsecos da atividade, apesar disso o acidente ocorrido em Mariana não deveria estar incluído em uma margem “aceitável” de riscos e passivos. O método de alteamento de barragens que o reservatório Fundão utilizava, passados mais de 6 anos do acidente agora está proibido em território nacional, e todas as barragens ativas ou inativas caracterizadas por este método de alteamento devem, ou deveriam, hoje já estar descaracterizadas ou em processo apresentando as devidas justificativas técnicas. Esta mudança provavelmente foi uma das consequências mais relevantes no corpo das leis brasileiras de mineração após o acidente, mas pode-se destacar também outros avanços no sentido de aumentar a segurança das barragens, como incompatibilidade da instalação de barragens com comunidade nas regiões do mapa caracterizadas como Zona de Autossalvamento (ZAS), sistemas de sirenes e a criação de um sistema de credenciamento para atestar a segurança de barragens e a exigência que o laudo técnico referente às causas do rompimento de barragem deve ser feita por peritos independentes em conjunto das entidades fiscalizadoras. Apesar de a lei determinar um prazo para o descomissionamento das barragens a montante, a lei não estabelece punição em caso de descumprimento.

O fato de o acidente constituir o maior e mais relevante acidente ambiental que se tem registro na história do mundial relacionado a barragens de rejeito indiscutivelmente trouxe enormes desafios na área de recuperação florestal. A meta firmada no TTAC pela Fundação Renova para recuperação florestal constitui numa extensão de 40.000 ha no prazo de 10 anos, sendo que 10.000 ha por meio de reflorestamento e 30.000 ha por meio da condução da regeneração natural. Agora passados mais de 6 anos do acidente, em meados de 2022, a Fundação parece estar longe de cumprir as metas específicas propostas, uma vez que passado mais da metade do prazo afirma que apenas cerca de 1.150 hectares de Áreas de Preservação Permanente e áreas de recarga hídrica em Minas Gerais e no Espírito Santo foram recuperadas, uma fração de menos de 3% do total 40.000 ha firmados no termo. Se comparado apenas à fração firmada no termo para reflorestamento, o percentual já recuperado passa para 11,5%. Já no que diz respeito às nascentes, o andamento é ligeiramente melhor, apesar de insatisfatório, das 5000 nascentes propostas, cerca de 1.100 nascentes estão com o processo de recuperação iniciado, 22% do total firmado no termo.

BIBLIOGRAFIA

ANA. Agência Nacional de Águas. Encarte especial sobre a bacia do rio Doce: rompimento da Barragem em Mariana/MG. 1. ed. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2016.

ANDRADE, L. M. F. Estabelecimento e Crescimento de Espécies Florestais Nativas Sobre Rejeito de Mineração na Bacia do Rio Doce. 2020.

ANDRADE, L. M. F.; BOTELHO, S. A. Desenvolvimento Inicial de Mudanças de Espécies Florestais Nativas em Tecossolo Formado por Rejeito de Mineração na Bacia do Rio Doce. v. 4, n. 1, p. 1–23, 2016.

ANDRADE, M. M. Indicadores de restauração ecológica em áreas atingidas por rejeito de minério de ferro na bacia do rio doce. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, B. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas 2019. 2020.

BARRETO, M. L. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. CEFETEM/MCT, Brasil, p. 215, 2001.

CARVALHO FILHO, A. et al. Iron oxides in soils of different lithological origins in Ferriferous Quadrilateral (Minas Gerais, Brazil). *Applied Clay Science*, Amsterdam, v. 118, p. 1–7. 2015.

CORDEIRO, M. C. et al. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. *Science of the Total Environment*, v. 654, n. 1, p. 1209-1217, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. DNPM, 2015. In: SILVA, Cassio Roberto da. *Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro* / editor: Cassio Roberto da Silva. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p.

DURIGAN, G. Estrutura e diversidade de comunidades florestais. In: MARTINS, S. V. (Ed.) *Ecologia de florestas tropicais do Brasil*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009, p.185-215.

DUTRA, P. R. F. Análise dos impactos relacionados ao rompimento da barragem de fundão em Mariana/mg com ênfase em recursos hídricos. 2018.

- FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, v. 14, n. 2, p. 35-45, jul./dez. 2016.
<https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/04/04/interna_gerais,1043673/barragens-construidas-com-metodo-mais-seguro-estao-sem-estabilidade.shtml> Acesso em: 20 mar. 2022
- <<https://www.dw.com/pt-br/samarco-pagar%C3%A1-r-44-bilh%C3%B5es-at%C3%A9-2018-por-trag%C3%A9dia-em-mariana/a-19088528>> Acesso em: 20 mar. 2022
- IBAMA. Plumas de Sedimentos na Foz do Rio Doce - Consolidação dos Mapas Gerados de 03/12/2015 a 03/02/2017. p. 2017, 2017.
- IBAMA. Laudo Técnico Preliminar. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Nov. 2015. 38p.
- ICOLD. Tailings dams risk of dangerous occurrences, lessons learnt from practical experiences. Bulletin 121, International Commission on Large Dams (ICOLD), France. 2001 p.144.
- MARTINELLI, G, MORAES, M. A. Livro vermelho da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro: CNC Flora, 2013. p. 60-84
- MARTINELLI, G. et al. Avaliação de risco de extinção de espécies da flora brasileira.
- MARTINS, S. V. *et al.* Bolas de sementes com rejeito da barragem de fundão: uma inovação na restauração florestal das áreas atingidas na região de Mariana, MG. 2021.
- MEIRA, R. M. S. A. et al. Brazil's mining code under attack: giant mining companies impose unprecedented risk to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, v. 25, n. 2, p. 407-409, 2016.
- MORGENSTERN, N. R. et al. Fundão Tailings Dam Review Panel: Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam. New York: Cleary Gottlieb Steen & Hamilton LLP, 2016. 76p
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000.
- OMACHI, C. Y. et al. Atlantic Forest loss caused by the world's largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 12, p. 30-34, 2018.
- PRADO FILHO, J. F. & SOUZA, M. P. 2004. O Licenciamento Ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais - Uma análise da implementação de medidas de controle

ambiental formuladas em EIAs/RIMAs. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9. N. 4. p. 343-349.

RENOVA, F. Edital de adesão de produtores rurais aos programas de restauração florestal. p. 1–57, 2021.

RENOVA, F. A reparação até aqui. Mês base janeiro 2022. 2022.

REZENDE, G. M.; VIEIRA, D. L. M. Forest restoration in southern Amazonia: Soil preparation triggers natural regeneration. *Forest Ecology and Management*, v. 433, n. 15, p. 93-104, 2019.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, C. V. G. Avaliação da Regeneração Natural em Áreas Atingidas Pelo Rejeito Da Barragem de Fundão, Mariana, Lavras – MG. p. 72, 2021.

SAMARCO. Um ano do rompimento de fundão. p. 69, 2016.

SÁNCHEZ, L. et al. Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão: o caminho para uma mitigação sustentável e resiliente.

SANTOLIN, C. V. A. et al. Distribution and environmental impact evaluation of metals in sediments from the Doce River Basin, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 74, n. 2, p. 1235-1248, 2015.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation*, v. 24, p. 2319-2331, 2015.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnosolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, v. 24, n. 1/2, p. 104–135, 2015.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Paisagens de lama: os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da barragem do Fundão, em Mariana. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). A Ciência do solo e o desastre de Mariana. *Boletim Informativo ISSN 1981-979X*, v. 42, n. 1, p. 18-22, jan. /abr. 2016.

- SILVA, A. C. et. al. Características químicas, mineralógicas e físicas do material acumulado em terraços fluviais, originado do fluxo de lama proveniente do rompimento de barragem de rejeitos de mineração de ferro em Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brasil. *Revista Espinhaço, Diamantina*, v. 5, n. 2, p. 44-53, 2016.
- SITHARAM, T. G.; HEGDE, A. Stability analysis of rock-fill tailing dam: an Indian case study. *International Journal of Geotechnical Engineering*, v. 11, n. 4, p. 332-342, 2016.
- SENGUPTA, M. Environmental impacts of mining: monitoring, restoration, and control. Boca Raton, Lewis, p. 494, 1993.
- SOS Mata Atlântica; INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2015-2016. São Paulo: Arcplan, 2017. 69p
- SOUZA, F. R. D. C. Condicionadores químicos e inoculantes microbiológicos no crescimento da urochloa brizantha sobre rejeito da barragem de Fundão, MARIANA, MG. 2019.
- SPECHT, M. J. et al. Burning biodiversity: Fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes. *Global Ecology and Conservation*, v. 3, n. 3, p. 200-209, 2015
- TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil. *Revista brasileira de criminalística*, v.1, n.1, pp. 31-38. 2011
- VARAJÃO, A. F. D. C. et al. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 33, n. 5, p. 1409–1425, 2009.