

Barragens de contenção de rejeitos: o histórico e a lei do Brasil

Tailings dams: the history and the law of Brazil

Rennan Rocha Arrighi ⁽¹⁾

*(1) Engenheiro Civil, Professor e Mestrando em Gestão de Sistemas de Engenharia pela Universidade Católica de Petrópolis - UCP
Avenida Barão de Amazonas, 124 – Centro, Petrópolis, RJ, 25685-100, Brasil.*

RESUMO

Em resultado à abundância de recursos minerais presentes no território brasileiro, a indústria mineradora fez-se muito importante para a economia do país, fato que traz como consequência uma grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos. O histórico de problemas envolvendo este tipo de obra no Brasil é preocupante; os reflexos dos acidentes ultrapassam questões ligadas à engenharia e atingem de forma profunda o meio ambiente, a sociedade e a economia. Apesar do avanço de tecnologias e pesquisas na área permitirem a operação e construção de barragens mais seguras, na prática o que se percebe são projetos deficientes, supervisão inadequada e ausência de monitoramento. Outra condição que contribui para a ocorrência destes desastres é a falta de fiscalização, muitas vezes devido à escassez de profissionais habilitados para a função. O objetivo desta pesquisa é compreender a relação entre as falhas da legislação e o alto número de acidentes, relacionando os problemas da legislação com interesses econômicos e políticos. Dessa forma, inicia-se apresentando questões técnicas das barragens como métodos construtivos, problemas associados ao rompimento dessas estruturas e instrumentos para monitoramento. Posteriormente, são abordados pontos sobre a legislação brasileira de barragens, normas e resoluções. Para exemplificar os assuntos tratados, discute-se os maiores rompimentos de barragens da história brasileira: Samarco em 2015 e Vale em 2019. Conclui-se que, embora a legislação tenha avançado em alguns pontos, há retrocessos, falhas e, principalmente, influência de fatores políticos: a indústria da mineração exerce forte atuação sob órgãos públicos para garantir que os interesses das empresas do setor prevaleçam sobre interesses da sociedade.

Palavras chave: Barragem de rejeito, segurança, legislação.

ABSTRACT

As a result of the abundance of mineral resources present in the Brazilian territory, the mining industry has become very relevant for the country's economy, a fact that results in a large amount of tailings dams. The history of problems involving this type of work in Brazil is worrying; the reflexes of accidents go beyond issues related to engineering and deeply affect the environment, society and the economy. Despite the advancement of technologies and research in the area, allowing the operation and construction of safer dams, in practice what are perceived are deficient projects, inadequate supervision and lack of monitoring. Another condition that contributes to the occurrence of these disasters is the lack of inspection, often due to the shortage of professionals qualified for the function. The objective of this research is to understand the relationship between the failures of the legislation and the high number of accidents, relating the problems of the legislation with economic and political interests. Thus, it starts by presenting technical issues of the dams as construction methods, problems associated with the rupture of these structures and instruments for monitoring. Subsequently, points on Brazilian dams legislation, rules and resolutions are addressed. To exemplify the subjects discussed, the biggest dam breaks in Brazilian history are discussed: Samarco in 2015 and Vale in 2019. It is concluded that, although the legislation has advanced in some points, there are setbacks, failures and, mainly, influence of political factors: the mining industry has a strong presence in public bodies to ensure that the interests of companies in the sector prevail over the interests of society.

Key words: Tailing dam, safety, legislation.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mineração é uma atividade muito presente na história do Brasil: a partir do século XVII ouro e diamante começaram a ser fortemente explorados. A dependência econômica em relação à indústria extrativista acentuou-se após a revolução industrial e trouxe como consequência direta a grande quantidade de rejeitos produzidos (IBRAM, 2016).

Rejeitos são resíduos resultantes de processos de beneficiamento do minério (ESPÓSITO, 2000). A medida que a mineração se desenvolvia e a quantidade de rejeitos aumentava de forma exponencial, tornou-se insustentável continuar descartando esse material longe da área de produção, em geral, próximo a cursos d'água. Dessa forma, a partir do século XX começou-se a investir em barragens de contenção (IBRAM, 2016). A barragem funciona como uma barreira, onde a parte sólida dos rejeitos é depositada e acomodada no fundo. A água decantada na parte superior é então drenada e tratada, com parte sendo reutilizada no processo de mineração e o restante devolvido ao meio ambiente.

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens da ANA (2016), o Brasil possui cerca de 663 barragens de contenção de rejeitos. Todavia, esse tipo de obra tem apresentado problemas graves no país: os acidentes envolvendo essas estruturas tem ocorrido de maneira frequente com impactos alarmantes.

Em 1986, a barragem de Fernandinho em Itabirito (MG) rompeu causando a morte de sete pessoas; em 2001 um acidente envolvendo a barragem da mineração Rio Verde, em Nova Lima (MG), deixou cinco operários mortos além do assoreamento do Rio Taquaras causado pelos rejeitos. Dois anos depois, em Cataguases (MG), a barragem da indústria Cataguases de Papel Ltda rompeu, liberando lixívia negra (sobra industrial da produção de celulose) no Rio Pomba. O acidente afetou três estados e 600 mil pessoas ficaram sem água. Em 2007, mais uma vez em Minas Gerais, agora em Mirai, a barragem da mineradora Rio Pomba Cataguases se rompeu, atingindo bairros de Mirai e Muriaé, deixando inúmeros moradores desalojados. Posteriormente, em 2014, a barragem de Herculano em Itabirito se rompeu, tirando a vida de três pessoas (OLIVEIRA, 2015).

Todos os rompimentos descritos anteriormente não foram razão suficiente para evitar dois desastres de proporções alarmantes. Em 2015, em Mariana (MG), a barragem da mineradora

Samarco rompeu-se causando uma enxurrada de lama que devastou o distrito de Bento Rodrigues e percorreu ainda 600 km, destruindo casas e ocasionando a morte de 19 pessoas. Além disso, os impactos ambientais foram bastante graves: a lama atingiu o Rio Gualaxo e Rio do Carmo que deságuam no Rio Doce, causando a morte de milhares de peixes e outros seres vivos.

Outro grave desastre ocorreu em janeiro de 2019 em Brumadinho (MG). A Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão rompeu-se, e a lama atingiu a área administrativa da Vale e parte da cidade, deixando um rastro de destruição e centenas de mortes.

Do ponto de vista técnico, as falhas consistem mais no “não fazer” do que “não saber como fazer”. A engenharia compreende de forma bastante profunda os principais problemas envolvendo barragens de rejeito, a maneira mais adequada de construir esse tipo de obra, formas eficientes e seguras de monitorar e operar as barragens. Sendo assim, fica evidente que as falhas na segurança de barragens persistem, sobretudo, devido à ausência da aplicação desses conhecimentos desenvolvidos pela engenharia.

Azam e Li (2010), apresentam um histórico mundial das falhas em barragens, onde, segundo a revisão dos autores, cerca de 1,2% das barragens de mineração apresentaram algum tipo de falhas, contra 0,01% das barragens civis, isto para os 100 anos antecessores à publicação.

Nesse contexto, a Política Nacional de Segurança de Barragens lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) cria regras para a acumulação de água, de resíduos industriais e a disposição final ou temporária de rejeitos. Após a criação da lei, diversas propostas de alteração e alterações já foram feitas, entretanto, o que se observa é que a legislação ainda é falha e existe um grave problema de fiscalização na aplicação dessas leis. Tal constatação traz a necessidade de se discutir mais a respeito do assunto, já que o problema em questão transita por diversas áreas, não se tratando apenas de uma questão técnica de engenharia e legislação, envolvendo também aspectos políticos, econômicos e sociais.

2 SEGURANÇA DE BARRAGENS

2.1 BARRAGENS

“Barragem pode ser definida como sendo um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d’água, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água” (MARANGON, 2018, p.1). Inicialmente, as estruturas eram executadas para abastecimento humano, mas atualmente são feitas para diversas finalidades, dentre elas: geração de energia elétrica, abastecimento de água para uso industrial, irrigação, regularização de vazões minimizando os efeitos das enchentes e das secas, navegação, disposição de rejeitos de mineração e acumulação de resíduos industriais líquidos (PIASENTIN, 201?). As barragens podem ser classificadas em diferentes tipos, de acordo com os materiais usados na sua construção, como barragens de concreto, de terra e de enrocamento.

As barragens de concreto podem ser por gravidade e em arco. A barragem por gravidade é bastante resistente e de baixo custo de manutenção. Este tipo pode ser adaptado para diversos locais, entretanto a resistência das fundações limita sua altura. Já as barragens de concreto em arcos são pouco comuns, uma vez que o comprimento dessas barragens deve ser pequeno quando comparado à altura, o que exige a presença de material rochoso adequado e de grande resistência nas encostas do vale, capaz de suportar os esforços a elas transmitidos (MARANGON, 2018).

A barragem de terra é a mais comum no Brasil, já que se dispõe abundantemente de solo. Por não ser uma estrutura rígida, essas barragens permitem ser assentes em fundações mais deformáveis, transmitindo esforços baixos para as fundações se comparadas com as barragens citadas anteriormente. Elas são indicadas para fundação de qualquer tipo de solo ou rocha (MENDONÇA, 2007 *apud* SOUZA, 2013).

Nas barragens de enrocamento são usados blocos de rocha de diferentes tamanhos e uma membrana impermeável na face de montante. A rocha precisa ocupar a maior parte da barragem, ser inalterada pelo intemperismo, não sendo desintegrada ou quebrada facilmente. Rochas que se fragmentam facilmente em pedaços muito pequenos quando expostas à ação de explosivos, com elevada quantidade de lascas e pó também não devem ser usadas. Os blocos de rocha são colocados de maneira a se obter o maior contato entre suas superfícies e os vazios entre elas, que são preenchidos por material de menor tamanho (MARANGON, 2018).

2.2 DIFERENÇA ENTRE BARRAGENS DE REJEITOS E CONVENCIONAIS

Grande parte dos desastres envolvendo barragens ocorrem em barragens de contenção de rejeitos e isso se dá em função de diferenças construtivas e de gestão. Segundo Azam e Li (2010) cerca de 1,2% das barragens de mineração apresentaram algum tipo de falhas, contra 0,01% das barragens civis, isto para os 100 anos antecessores à publicação.

O fato de barragens de rejeitos serem construídas em etapas, diferentemente de barragens convencionais, faz com que o maciço não apresente um comportamento homogêneo devido às diferentes épocas de alteamento e variações das propriedades dos materiais utilizados em cada fase (ARAÚJO, 2006). Além disso, as condições das barragens de rejeitos são alteradas constantemente à medida em que há aumento da carga dos rejeitos na fundação do reservatório, e por isso sua segurança deve ser frequentemente reavaliada (DUARTE, 2008).

Outra diferença importante entre barragens convencionais e de rejeito no que tange questões técnicas é o tratamento dado à percolação pelo maciço ou pela fundação. Em barragens convencionais, a quantidade de água perdida por percolação costuma ser irrelevante quando comparado com os volumes utilizados na operação da obra (geração de energia, captação para uso humano ou industrial) e perdidos por evaporação e infiltração no reservatório. Assim, a percolação é apenas controlada, evitando poropressão excessiva e carreamento de material. O controle da drenagem ocorre através do uso de filtros verticais e tapetes drenantes. Em barragens de mineração, muitas vezes esse sistema não é eficiente a longo prazo, devido a possíveis cristalizações impermeabilizantes causadas por reações químicas no rejeito (ARAÚJO, 2006).

Barragens convencionais são vistas como um recurso, com finalidade de abastecimento de água e geração de energia elétrica. Assim, sua construção, operação e manutenção recebem um alto padrão de cuidado e atenção pelos proprietários. Por outro lado, barragens de rejeitos são tratadas por muitos proprietários como improdutivas. O significado destes aspectos é que as atitudes e os esforços na operação da mina são constantemente menos voltados para o gerenciamento dos rejeitos (DUARTE, 2008).

Outro ponto relevante sobre gestão deste tipo de obra é que barragens convencionais, muitas vezes, são propriedade do Estado ou companhia de utilidade pública. Esses proprietários geralmente possuem importantes recursos à sua disposição, e tem um relacionamento diferente com a sociedade, já que a barragem objetiva diretamente o benefício público (DUARTE, 2008).

2.3 BARRAGENS DE REJEITOS

Os rejeitos da mineração podem ser dispostos de inúmeras formas: por disposição em pasta, em minas subterrâneas, em pilhas, por empilhamento a seco, ou em barragens de contenção de rejeitos (DUARTE, 2008).

A escolha de um método depende do tipo do processo de mineração, das condições geológicas e topográficas da região, das propriedades mecânicas dos materiais e da capacidade do rejeito de impactar o meio ambiente.

Entre os métodos apontados, as barragens de contenção de rejeitos ainda são as mais utilizadas. Essas barragens podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis ou o próprio rejeito. A grande quantidade de rejeitos gerados, condicionados aos custos da disposição, faz com que seja interessante o uso destes materiais como material de construção das próprias barragens de contenção, desde que sejam obedecidas algumas condições: separação da fração grossa e fina, controle dos processos de separação, compactação dos rejeitos, proteção superficial da barragem e sistemas de drenagem adequados (DUARTE, 2008).

2.3.1 PROBLEMAS EM BARRAGENS DE REJEITOS

Alguns fenômenos indesejados são comuns em barragens, e tais problemas, frequentemente, estão diretamente ligados ao rompimentos dessas estruturas. Dessa maneira, a engenharia tem grande preocupação em evitar e controlar esses problemas. Alguns dos fenômenos mais comuns são: liquefação, erosão interna (piping) e colmatação de drenos.

O estudo da liquefação de solos é importante para melhor compreensão dos mecanismos que induzem à ruptura de algumas estruturas (barragens, taludes, fundações de obras civis) sujeitas ao fenômeno. Em condições não drenadas, a poropressão gerada por carregamentos cíclicos ou monotônicos (liquefação estática) podem chegar a reduzir à zero a tensão efetiva, com as partículas sólidas perdendo o contato entre si, em estado de suspensão no solo, que se comporta como líquido viscoso. Este estado de fluidez é chamado liquefação (ISHIHARA, 1977 *apud* RAFAEL, 2012).

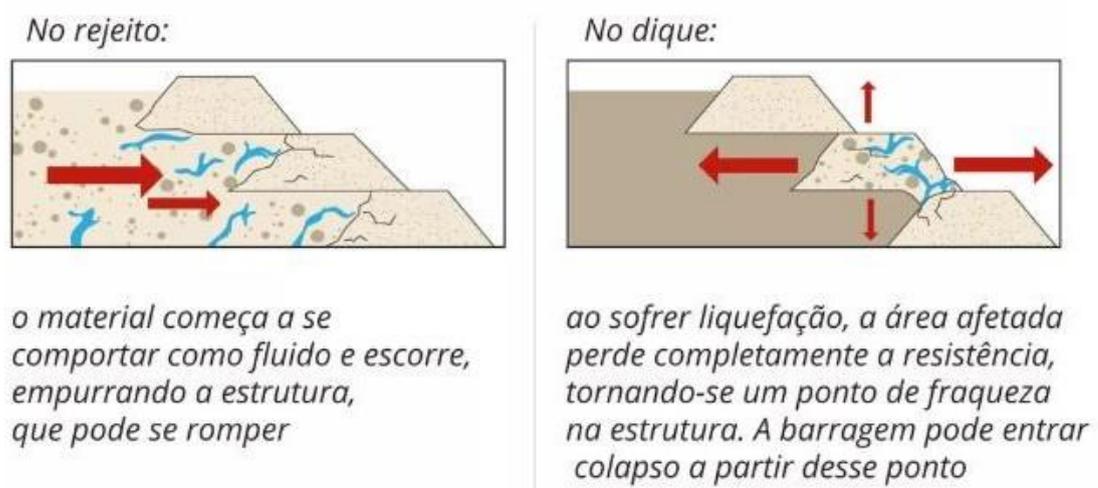
O fenômeno de liquefação está diretamente relacionado a solos saturados fofos, submetidos a carregamentos não drenados. O cisalhamento destes solos produz uma tendência de contração de volume que, em situação não-drenada, acarretará na elevação da pressão da água no interior dos vazios (RAFAEL, 2012).

A conexão do estudo da liquefação com a mineração se faz extremamente importante, em vista das características geotécnicas apresentadas pelos rejeitos granulares e certas condições impostas pelo método de disposição. Os rejeitos granulares, quando depositados hidraulicamente em barragens, apresentam-se saturados e com baixa densidade relativa, condições estas que, se associadas a um carregamento não drenado, tornam-se bastante propícias à ocorrência de liquefação, em função da tendência do solo de se comprimir e a consequente geração de poropressão positiva, em vista da drenagem impedida (SILVA, 2016).

Frei Neto (2009) aponta que, em países com elevada atividade sísmica, a preocupação com a liquefação dinâmica é fundamental. No entanto, em países como o Brasil, que apresentam baixa atividade sísmica, a avaliação do potencial de liquefação estática é mais relevante. O fluxo por liquefação é caracterizado por elevada deformação e perda de resistência em solos sem coesão, saturados e com tendência à contração durante cisalhamento não drenado.

Frei Neto (2009) afirma ainda que, quando de sua ocorrência em campo, o processo de ruptura associado a este mecanismo é caracterizado por deslocamentos rápidos de grande extensão. A massa de solo flui, espalhando-se até as tensões cisalhantes atuantes se tornarem de pequena magnitude, conforme a resistência ao cisalhamento disponível. O processo de liquefação pode ser ocasionado por um gatilho estático ou dinâmico, que resultam, embora por diferentes agentes, em processo semelhante. A Figura 1 ilustra o processo de liquefação.

Figura 1- Processo de liquefação no rejeito e no dique



Fonte: Cantini *et al.* (2019)

Outro problema comum em barragens de rejeito, que danifica sua estrutura e favorece rompimentos, é o processo descontrolado de carreamento de material que pode evoluir para formação de erosão interna (piping), levando a barragem à ruptura.

Esse processo de erosão interna é muitas vezes agravado por falhas nos sistemas de drenagem. Por conta do peso e da pressão da lama de rejeitos sobre o fundo da estrutura, os filtros são amassados e ficam muitas vezes entupidos. Quanto maior o acúmulo de água, mais instável se torna a estrutura e maior é a chance de ruptura da contenção (CARDIA; KUPERMANN, 2017?).

O processo de piping inicia-se no talude de jusante, no ponto de saída do fluxo percolado, e progride para montante, formando um tubo causando o alargamento da seção da barragem deste caminho dando início a brecha (TONUSSI, 2017). Na Figura 2 é possível visualizar o processo de erosão interna.

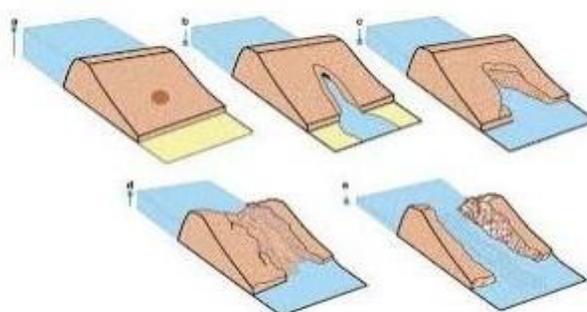
Figura 2- Vista esquemática do processo de piping



Fonte: Goodarzi, (2010 *apud* TONUSSI, 2017)

No caso da falha por piping, o tubo inicial é uma abertura retangular ou trapezoidal em uma elevação de partida e a altura e largura da abertura aumentam até a brecha se transformar em um canal aberto. Posteriormente, a largura do fundo e a elevação do fundo continuam a mudar devido ao rigoroso processo de erosão até que a configuração da brecha final seja obtida. A Figura 3 demonstra esse processo (TONUSSI, 2017).

Figura 3 - Alargamento da seção com o tempo



Fonte: Piping Failures of Landslide Dams (2017 *apud* TONUSSI, 2017)

Quando a superfície colapsa e o fluxo se torna descontrolado, esse é o início da formação da ruptura. A partir desse momento, a taxa de aumento de fluxo é muito grande, uma vez que a entrada para a seção de controle hidráulico é agora um canal aberto em vez de um orifício. A plasticidade é o fator determinante na formação do piping. A formação da brecha é mais provável de ocorrer em solos sem coesão do que em solos coesivos ou plásticos. A ligação entre partículas dos solos plásticos ou coesivo, geralmente, funcionam como uma camada impermeabilizante evitando a formação do tubo e consequentemente a erosão do solo (TONUSSI, 2017).

Já no que diz respeito à colmatagem de drenos, sabe-se que a presença de Ferrobactérias Aeróbicas (que precisam de oxigênio do ar) nas águas de drenagem e a existência de íons de ferro no solo (e/ou nas águas) podem levar à formação de crosta de material endurecido nos vazios do sistema de drenagem. O endurecimento de material carregado e/ou solubilizado, com eventual contribuição de Ferrobactérias Aeróbicas, irá provocar o que normalmente se denomina “Colmatagem de Filtro” (CARDIA; KUPERMANN, 201?).

A colmatagem dos filtros de barragens corresponde a uma das incertezas nos projetos convencionais de filtros e de drenos, por isso adotam-se fatores de segurança em relação à vazão que variam de 10 a 100. Trata-se de um processo cujo mecanismos geoquímicos apresentam estrita relação com os processos de laterização, típicos de regiões equatoriais tropicais e subtropicais (VERGARA, 2012).

A obstrução de sistemas de drenagem de barragens ocorre devido à precipitação de ferro transportado na forma de íon pelas águas percolantes, que passando de um meio redutor para outro oxidante, perde sua solubilidade e precipita-se na forma de óxido ou hidróxido. O

acúmulo desses compostos estáveis, que evolui ao longo do tempo, tende a preencher os vazios dos filtros e drenos de uma barragem diminuindo sua permeabilidade, alterando suas características originais e provocando um aumento da poropressão com a consequente redução da estabilidade dos taludes de jusante da barragem (NOGUEIRA JUNIOR, 1988).

2.3.2 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Três métodos construtivos podem ser utilizados para a concepção de barragens de rejeito alteadas com o próprio rejeito: método de alteamento à montante, método de alteamento à jusante e método de linha de centro. Em todos os casos constrói-se um dique de partida com material de empréstimo e são feitos os alteamentos posteriormente. Os rejeitos são lançados ao longo da crista do dique por ciclones ou por séries de pequenas tubulações, para que haja uma formação uniforme da praia. Os três métodos se diferenciam de acordo com a direção em que é feito o alteamento em relação ao dique inicial.

O método de montante é antigo, simples e econômico em relação aos outros métodos de construção de barragens. O início da execução deste tipo de barragem ocorre com a construção de um dique de partida, normalmente, feito de material argiloso ou enrocamento compactado. Depois, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique (Figura 4), formando a praia de deposição, que se tornará a fundação dos próximos alteamentos.

Figura 4 - Método de alteamento à montante



Fonte: Adaptado de Albuquerque (2004)

Embora esse método apresente baixo custo de construção, também está associado à maioria das rupturas em barragens de rejeitos. Rupturas por percolação e erosão (piping) também são possíveis, já que nesse método construtivo existe uma dificuldade de implantar um bom sistema interno de drenagem para controlar o nível d'água dentro da barragem, fato que pode comprometer a estabilidade da estrutura (RAFAEL, 2012; ARAÚJO, 2006).

O método de alteamento à montante vem sendo bastante questionado no Brasil por ser a forma menos segura; visto que os grandes desastres envolvendo barragens de rejeito ocorreram em construções deste tipo. Dessa forma, a legislação de inúmeros países não permite barragens alteadas à montante.

As barragens de rejeitos alteadas à jusante representam um desenvolvimento recente. A necessidade de que os alteamentos sucessivos não fossem executados sobre o rejeito previamente depositado e pouco consolidado originou esse tipo de obra (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

A etapa inicial ocorre através da construção de um dique de partida, em seguida, os alteamentos subsequentes são realizados para jusante desse mesmo dique (Figura 5). Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAÚJO, 2006).

As vantagens envolvidas no processo de alteamento para jusante consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção; nenhuma parte ou alteamento da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado. Além disso, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a construção da barragem, e prolongados durante seu alteamento, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e então aumentando sua estabilidade (ARAÚJO, 2006).

A barragem pode ser projetada e subsequentemente construída apresentando a resistência necessária, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que existe a possibilidade de seguir totalmente as especificações de projeto (ARAÚJO, 2006).

Figura 5 - Método de alteamento à jusante



Fonte: Adaptado de Albuquerque (2004)

A principal desvantagem deste método é o custo de sua implantação, devido ao grande volume de aterro que necessita e à grande área que sua construção ocupa (RAFAEL, 2012). Nesse sentido, a insuficiência de rejeito granular, principalmente nas fases iniciais de operação, pode implicar a necessidade de execução de um dique de partida mais elevado ou utilização de materiais alternativos provenientes de áreas de empréstimo ou do estéril da mina.

O método de linha de centro trata-se de uma possibilidade entre os dois métodos apresentados anteriormente, possuindo uma estabilidade maior que a barragem alteada somente com o método à montante, porém não requerendo um volume de materiais tão elevado como no alteamento somente com o método à jusante (ASSIS; ESPÓSITO, 1995).

Agrega-se assim vantagens e desvantagens dos dois métodos. Entretanto, o comportamento estrutural destas barragens encontra-se mais próximo daquelas construídas pelo método de jusante, constituindo uma variação deste método, onde o alteamento da crista é feito de maneira vertical, sendo o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida (ASSIS; ESPÓSITO, 1995). A Figura 6 exemplifica o método de linha de centro.

Figura 6 - Método de alteamento de linha de centro



Fonte: Adaptado de Albuquerque (2004)

Nesse método, torna-se possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, o que possibilita o controle da linha de saturação e promove uma dissipação de poropressões, tornando o método apropriado para utilização inclusive em áreas de alta sismicidade (ARAÚJO, 2006).

2.3.3 INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS

Visando a redução dos riscos de acidentes em barragens, em virtude dos impactos causados por elas, é necessária a instrumentação de barragens com tecnologia moderna e eficaz. Por meio da instrumentação pode-se localizar pontos nas barragens onde há níveis críticos de segurança estrutural e operacional. A segurança estrutural compromete a estabilidade da barragem e a questão operacional está relacionada ao funcionamento dos equipamentos (MACHADO, 2007).

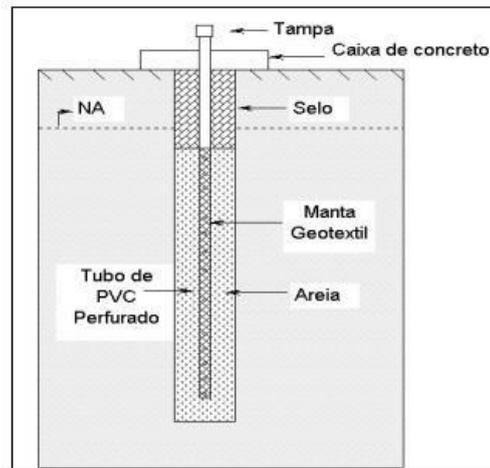
Os instrumentos devem ser instalados de acordo com as especificações e indicações de projeto. Todas as alterações ocorridas durante a implantação ou mesmo durante a operação devem ser registradas em relatórios operacionais. Estes registros da instrumentação podem ser usados tanto para a localização e monitoramento de fenômenos anômalos quanto para aferir quais instrumentos não estão em operação ou operando inadequadamente. Por meio de instrumentação de auscultação e inspeções visuais frequentes, acompanham-se, ao longo da vida útil da barragem, o desempenho das estruturas, da fundação e seus efeitos durante a fase de construção e enchimento do reservatório. As inspeções visuais de segurança da obra são essenciais para manter o controle da situação da barragem no seu todo (MACHADO, 2007).

Os avanços tecnológicos possibilitam, sem grandes dificuldades, o processamento de dados de instrumentação simulando efeitos de condições operacionais adversas, indicando riscos potenciais para a barragem e buscando valores aceitáveis para condições operacionais seguras (MACHADO, 2007). Alguns instrumentos importantes para auxiliar na segurança de barragens são descritos a seguir.

- Medidor de nível d'água

Instrumento mais simples de construir e operar, é usado para determinar a posição da linha freática, como pode ser visto na Figura 7. É produtivo usar esse instrumento quando se busca determinar a linha freática ao longo do maciço. Para sua instalação é preciso executar um furo de sondagem ou poço, com a determinação da cota do nível d'água por qualquer tipo de sistema de aquisição de dados (MACHADO, 2007).

Figura 7 - Medidor de nível d'água

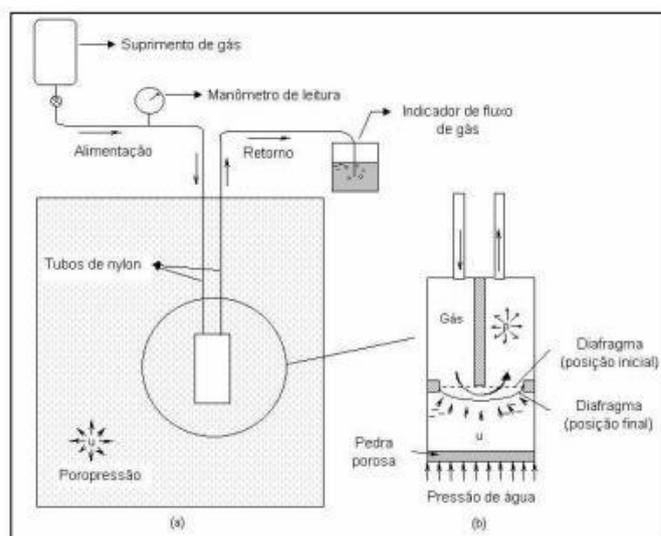


Fonte: Fonseca (2003)

- Piezômetro pneumático

Os piezômetros pneumáticos (Figura 8), como o próprio nome identifica, efetuam as medidas das poropressões a partir de um processo pneumático (expresso em termos da injeção de um gás, geralmente nitrogênio) que tem por objetivos propiciar um regime de equalização de pressões internas na célula piezométrica e forçar a deflexão de um diafragma associado à mesma. A célula piezométrica é conectada a um medidor externo de pressões através de dois tubos flexíveis, designados como 'tubo de alimentação' e 'tubo de retorno' (FONSECA, 2003).

Figura 8 - Esquema e detalhes do piezômetro pneumático

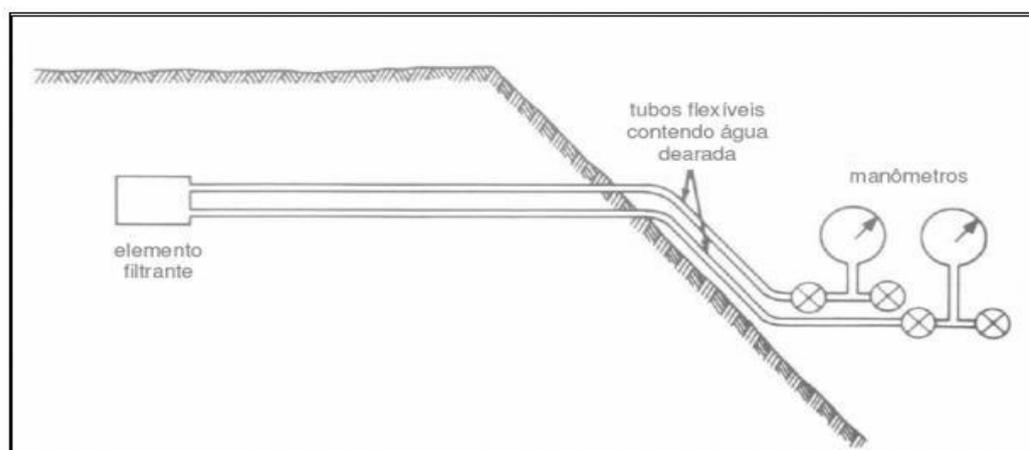


Fonte: Fonseca (2003)

- Piezômetro Hidráulico de Tubo Duplo ou Aberto

Este instrumento é instalado em fundação ou aterro durante o período da obra e a Figura 9 mostra o esquema de instalação do instrumento. A diferença principal em relação ao piezômetro pneumático é que o ar é substituído por óleo, mantendo-se o princípio de funcionamento. A água contida nos vazios do solo fica em contato direto com a água presente no instrumento (MACHADO, 2007).

Figura 9 - Esquema de instalação de um piezômetro hidráulico de tubo duplo ou aberto



Fonte: Duniclif (1988 *apud* MACHADO 2007)

- Piezômetro Elétrico

São piezômetros constituídos por um diafragma de aço inoxidável no qual são fixados extensômetros elétricos de resistência (Figura 10), oferecendo os mais baixos tempos de resposta entre os piezômetros de membrana. As deflexões do diafragma são acompanhadas por variações imediatas da resistência dos extensômetros afixados na sua superfície e uma consequente resposta diferenciada do sinal elétrico de saída (de magnitude proporcional à poropressão medida) e captada em um medidor externo (FONSECA, 2003).

Figura 10 - Piezômetro Elétrico

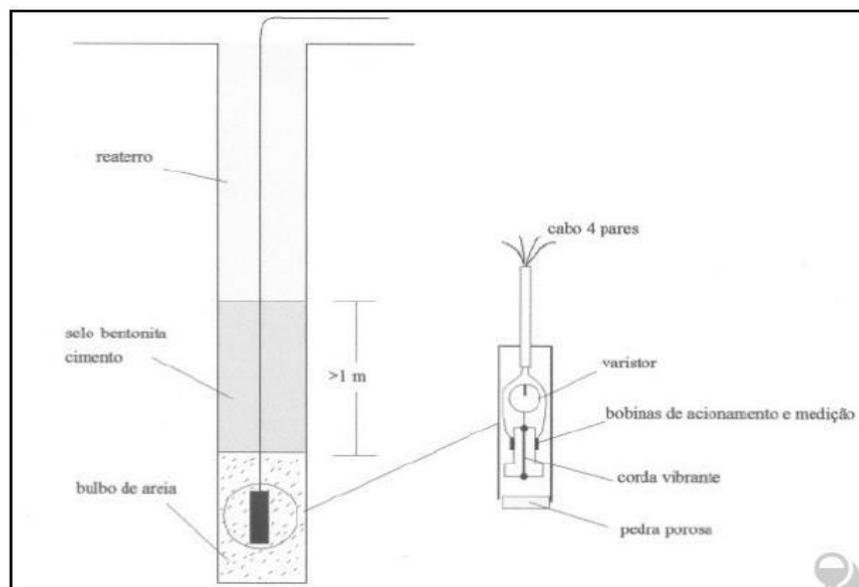


Fonte: Companhia Energética de São Paulo (2007 *apud* MACHADO, 2007)

- Piezômetro de corda vibrante

O piezômetro de corda vibrante (Figura 11) têm como princípio de operação do sensor o cálculo de um parâmetro físico pela medição da mudança na frequência de uma corda vibrante, estendida num corpo de uma estrutura que se deforma com ou pela quantidade a ser medida. O instrumento oferece precisão e confiabilidade a longo prazo sob condições geotécnicas ruins e ainda tolera umidade (MACHADO, 2007).

Figura 11 - Piezômetro de corda vibrante



Fonte: Brasil (2007 *apud* MACHADO 2007)

- Medição de Deslocamentos com Inclínômetros

Os inclinômetros (figura 12) são usados para mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em subsuperfície. Os movimentos horizontais ocorrem devido à compressibilidade dos materiais do aterro da barragem. No sentido longitudinal da barragem em vales simétricos, por exemplo, os deslocamentos verticais atingem geralmente seus maiores valores na seção central da barragem (aumento da tensão horizontal de compressão). Já os deslocamentos horizontais são quase nulos, entretanto à medida que se aproxima das ombreiras da barragem, os deslocamentos horizontais aumentam. Os deslocamentos horizontais ao longo da barragem podem desenvolver fissuras transversais no aterro e ocorrência de erosão interna (MACHADO, 2007).

Figura 12 - Inclínômetro



Fonte: RST Instruments LTD (2007 *apud* MACHADO 2007)

3 LEGISLAÇÃO DE BARRAGENS

3.1 LEI 12.334 DE 2010

Foi publicada em 21 de setembro de 2010, no Diário Oficial da União (DOU), a Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A lei cria ainda o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens que visa garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens, de forma que haja redução de chance de acidentes e suas consequências, principalmente, junto à população potencialmente afetada (BRASIL, 2010).

Com a criação dessa lei, a Agência Nacional de Águas (ANA) foi o órgão fiscalizador que recebeu mais atribuições: fiscalizar a segurança das barragens de usos múltiplos situadas em corpos d'água de domínio da união, promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores na implementação da PNSB, organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB) e, anualmente, coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB) e encaminhá-lo ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Este, por sua vez, após apreciação, deve encaminhar o Relatório ao Congresso Nacional. A intermediação entre os órgãos fiscalizadores é de grande importância para o sucesso desta nova Política Nacional (BRASIL, 2010).

A lei em questão se aplica a barragens que apresentem pelo menos uma das características a seguir, estando, desta forma, inseridas na PNSB: altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros); capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos); reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis ou categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas (BRASIL, 2010).

Foi estabelecido nessa lei que os empreendedores das barragens são os responsáveis legais pela segurança das estruturas, cabendo a eles e aos responsáveis técnicos por eles contratados a responsabilidade de desenvolver e implementar o Plano Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010).

3.2 RESOLUÇÃO 143 DE 10 DE JULHO DE 2012

De acordo com o art. 7º da Lei 12.334 de 2010, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), critérios estes que foram regulamentados por esta Resolução (BRASIL, 2012a). Os procedimentos e os prazos foram os únicos itens que ficaram discricionários para os agentes fiscalizadores designar a seus fiscalizados, sempre dentro dos prazos legais estipulados na Lei.

A classificação das barragens é ato dos órgãos fiscalizadores. Para tal, estes podem fazer uso de informações enviadas pelos seus fiscalizados ou colher informações *in loco* para aferição desta classificação. Todavia, caso o empreendedor queira reclassificar sua barragem, seja por alterações de suas condições a jusante ou em seu estado de conservação ou quaisquer outros motivos, ele poderá solicitar tal revisão da classificação efetuada pelo respectivo órgão, devendo, para tanto, apresentar estudo que comprove essa necessidade (preferencialmente com fotografias ilustrativas) (BRASIL, 2012a).

A classificação citada deverá ser refeita a cada 5 (cinco) anos, se assim considerar necessário, a fim de atualizar as informações contidas em seu banco de dados. Outro ponto importante a ser salientado é que, caso o empreendedor não informe ou omita alguma informação que seja relevante a classificação de algum item de uma dada barragem, este item omitido terá a pontuação máxima para o referido critério (BRASIL, 2012a).

Importante dizer que foram diferenciados dois tipos de barragens: barragens para disposição de rejeito mineral e/ou resíduo industrial e barragens para acumulação de água.

De maneira efetiva, para se classificar uma barragem quanto o risco deve-se utilizar três quadros: Características técnicas (Figura 13); Plano de segurança da barragem (Figura 14); e, Estado de conservação (Figura 15). O valor da soma dos três quadros definirá a categoria de risco: soma menor ou igual a 35 corresponde a baixo risco; maior que 35 e menor que 60, o risco é médio; e, maior ou igual a 60, risco alto. O Dano Potencial Associado (DPA) é classificado de forma semelhante através da Figura 16, onde para soma menor ou igual a 7 o dano é baixo, para maior que 7 e menor que 13 é médio, e para maior ou igual a 13 é alto (BRASIL, 2012a).

Figura 13 - Classificação quanto à categoria de risco (resíduos e rejeitos) - características técnicas

Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)
Altura \leq 15m (0)	Comprimento \leq 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m \leq Altura \leq 60m (4)	200m \leq Comprimento \leq 600m (2)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/Estudo não confiável (10)

Fonte: (BRASIL, 2012a)

Figura 14 - Classificação quanto à categoria de risco (resíduos e rejeitos) - Plano de Segurança da Barragem

Documentação de Projeto (h)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)	Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (k)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (l)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)

Fonte: (BRASIL, 2012a)

Figura 15 - Classificação quanto à categoria de risco (resíduos e rejeitos) 3 – estado de conservação

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (d)	Percolação (e)	Deformações e Recalques (f)	Deterioração dos Taludes/Paramentos (g)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal/barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)

Fonte: (BRASIL, 2012a)

Figura 16 - Classificação quanto ao dano potencial associado

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Muito Pequeno < = 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A- Não Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande > = 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I - Perigosos, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (10)	-

Fonte: (BRASIL, 2012a)

De acordo com o art. 4º da Resolução CNRH nº 143/2012, quanto à categoria de risco, as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta diversos critérios. Alguns deles são: altura do barramento; comprimento do coroamento da barragem; tipo de barragem quanto ao material de construção; tipo de fundação da barragem; estado de conservação da barragem; deterioração dos taludes (BRASIL, 2012a).

Já o Dano Potencial Associado de uma barragem é o dano que pode ocorrer devido a eventual rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. É um fator que não se tem tanta gerência por parte do empreendedor quanto o risco crítico tem, já que o DPA é inerente à o que está abaixo da barragem e o risco crítico é como a barragem está sendo cuidada e gerida (BRASIL, 2012a).

Em relação ao volume, as barragens são classificadas em: muito pequenas (até 500 mil metros cúbicos); pequenas (de 500 mil a 5 milhões de metros cúbicos); médias (de 5 a 25 milhões de metros cúbicos, grandes (de 25 a 50 milhões de metros cúbicos) e muito grandes (maior que 50 milhões de metros cúbicos) (BRASIL, 2012a).

3.3 RESOLUÇÃO 144 DE 10 DE JULHO DE 2012

Seguindo a linha e técnicas da norma legislativa, a Resolução CNRH nº 144 de 2012 iniciou sua regulamentação com as importantes definições de acidente e incidente. Assim define-se:

Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa;

Incidente: qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

A citada resolução estipulou as diretrizes gerais para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, englobando a integração da Política Nacional de Segurança de Barragens às respectivas políticas setoriais, a integração da gestão da segurança das barragens à segurança do empreendimento, em todas as suas fases, a adequação da gestão da segurança das barragens às diversidades físicas, econômicas, sociais e ambientais das diversas regiões do país, às características técnicas dos empreendimentos e ao dano potencial das barragens e a

importante divulgação das informações relacionadas à segurança de barragens associadas a promoção de ações para esclarecimento da sociedade civil (BRASIL, 2012b).

Também são estipulados prazos para que os órgãos fiscalizadores enviem as informações a ANA para a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB) assim como as penalidades caso estes a infringam. Além disso, é responsabilidade dos órgãos fiscalizadores, manter o cadastro atualizado das barragens sob sua jurisdição, além de disponibilizar permanentemente o cadastro e demais informações sobre suas barragens em formato que permita sua integração ao SNISB e mantê-las atualizadas no SNISB (BRASIL, 2012b).

O RSB é um importante instrumento cujo objetivo principal é a disponibilização de informações relativas à segurança das barragens brasileiras a toda a sociedade civil. Importante abordar que esse instrumento se relaciona com todos os demais, uma vez que as informações relativas à implementação daqueles instrumentos serão consolidadas para elaboração do relatório. Além disso, servirá como um referencial importante e registro histórico da evolução da gestão de segurança de barragens no país (BRASIL, 2012b).

Cabe à ANA, anualmente, coordenar a elaboração do RSB. Para isso, todos os órgãos e agentes fiscalizadores de segurança de barragens do país, nas esferas federal e estadual (em todas as unidades da federação), devem enviar à ANA as informações pertinentes às barragens sob sua jurisdição. A ANA deverá reunir as informações passadas e, juntamente com as informações das barragens fiscalizadas pela própria Agência, encaminhá-las à ANM, de forma consolidada. A esta cabe analisar o relatório, fazendo, se necessário, recomendações para melhoria da segurança das obras, e encaminhá-lo ao Congresso Nacional até 20 de setembro de cada ano (BRASIL, 2012b).

Conforme mencionado anteriormente, o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) tem como objetivo coletar, armazenar, tratar, gerir e disponibilizar para a sociedade as informações relacionadas à segurança de barragens em todo o território nacional. Trata-se de um sistema onde os órgãos fiscalizadores e os empreendedores enviarão informações sobre as barragens de sua jurisdição para que a ANA possa condensar um documento único futuro (Relatório Anual de Barragens) além de permitir uma gestão unificada das barragens brasileiras. Os responsáveis diretos pelas informações do SNISB são: Agência Nacional de Águas, como gestora e fiscalizadora; os órgãos fiscalizadores, conforme definido no Art. 5 da Lei N°. 12.334 e empreendedores (BRASIL, 2012b).

Aos órgãos fiscalizadores compete enviar, anualmente, à ANA, as informações referentes as barragens sob sua jurisdição para que a citada agência possa, na qualidade de gestora do SNISB, reunir tais informações. Além de obter as informações sob suas barragens, cabe, também, à ANA desenvolver plataforma informatizada para sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações (BRASIL, 2012b).

3.4 NBR 13028 DE 2017

Além da legislação e das resoluções sobre barragens, também existem normas a respeito deste tipo de obra. Desta maneira, pode-se citar a NBR 13028 de 2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Esta norma especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens de mineração, incluindo as barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos gerados por erosão e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente (ABNT, 2017).

As primeiras versões dessa norma foram publicadas no início da década de 1990 na NBR 13028 da ABNT (1993). Por se tratar de um texto novo sobre o assunto, as normas apresentavam falhas e questionamentos: terminologias inadequadas; incluíam itens não relativos a projetos, continham recomendações específicas, mas sem a devida justificativa técnica; não explicitavam critérios mínimos de projeto.

Buscando resolver esses problemas, foi proposta uma revisão das normas em 2004. Assim, foi criado um grupo de trabalho com intuito de tratar alguns pontos importantes: revisão e adequação das terminologias e definições; explicitar critérios mínimos de projeto; recomendar como fazer em vez de recomendar não fazer culminando na NBR 13028 da ABNT (2006) (OLIVEIRA; ALMEIDA, 2019).

Em fevereiro de 2015, foi proposta nova revisão dessas normas, para sua adequação às normas internacionais e a legislação brasileira vigente, mais especificamente a Lei 12.334 de 2010. Os trabalhos foram interrompidos após o acidente da Samarco, por indisponibilidade dos participantes, devido às novas necessidades em função do evento (OLIVEIRA; ALMEIDA, 2019).

As reuniões foram retomadas em 2017 e a norma foi submetida à consulta pública duas vezes. Os principais pontos de destaque na atual revisão da norma são: revisão da terminologia

específica; adoção de critérios de análise mais abrangentes (liquefação, condição de ruptura não drenada, análises sísmicas, rejeitos perigosos) e utilização de critérios hidrológicos para dimensionamento do sistema extravasor em função das consequências de ruptura ou dano potencial associado, gerando finalmente a NBR 13028 da ABNT (2017).

3.5 PORTARIA 70.389 do DNPM, DE 17 DE MAIO DE 2017

A portaria 70.389 do DNPM de 2017 cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (DNPM, 2017).

Ficam estabelecidos nesta portaria diversos aspectos relacionados a barragens. Em relação a sistemática de cadastramento de barragens foi definido que as barragens de mineração serão cadastradas pelo empreendedor, diretamente no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM, integrando o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Sobre a periodicidade desse cadastro estabeleceu-se que deverá ser efetuado pelo empreendedor, por meio do SIGBM, antes do início do primeiro enchimento (DNPM, 2017).

Sobre a matriz de classificação definiu-se que as barragens de mineração serão classificadas pelo DNPM em consonância com o art. 7º da Lei nº 12.334 de 2010 de acordo com o quadro de classificação quanto a Categoria de Risco e ao Dano Potencial Associado, nas classes A, B, C, D e E. Além disso, o empreendedor é obrigado a elaborar mapa de inundação para auxílio na classificação referente ao Dano Potencial Associado (DPA) de todas as suas barragens de mineração, individualmente, em até 12 meses após a data de início da vigência dessa Portaria, podendo para tal, fazer uso de estudo simplificado (DNPM, 2017).

Em relação ao sistema de monitoramento, o empreendedor é obrigado a implementar sistema de monitoramento de segurança de barragem em até 24 meses após a data de início da vigência dessa Portaria (DNPM, 2017).

Sobre a estrutura e o Conteúdo Mínimo do Plano de Segurança da Barragem (PSB), o mesmo deverá ser composto por quatro volumes, respectivamente: informações gerais; planos e procedimentos; registros e controles e revisão periódica de segurança de barragem (DNPM, 2017).

Da Elaboração e Atualização do Plano de Segurança da Barragem e todos os documentos que compõem o PSB deve ser elaborado e organizado pelo empreendedor, por meio de equipe composta de profissionais integrantes de seu quadro de pessoal ou por equipe externa contratada para esta finalidade. O PSB deverá ser elaborado até o início do primeiro enchimento da barragem, a partir de quando deverá estar disponível para utilização pela Equipe de Segurança de Barragem e para serem consultados pelos órgãos fiscalizadores e da Defesa Civil. O PSB deverá ser atualizado em decorrência das ISR e ISE e das RPSB, incorporando os seus registros e relatórios, assim como suas exigências e recomendações (DNPM, 2017).

Sobre situações de emergência, o empreendedor, ao ter conhecimento da situação, deve avaliá-la e classificá-la, por intermédio do coordenador do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) e da equipe de segurança de barragens, de acordo com os Níveis de Emergência estabelecidos (DNPM, 2017).

3.6 LEGISLAÇÃO DE MINAS GERAIS

Como foi observado, a maior parte dos acidentes envolvendo barragens de rejeito ocorreu em Minas Gerais. Em razão disto, o estado apresenta algumas leis específicas sobre o assunto. A lei que estabelece atualmente as diretrizes para verificação da segurança de barragens em Minas Gerais é a 15.056, de 2004, que tem como foco específico a segurança de empreendimentos de resíduos tóxicos industriais. Foi uma resposta do poder legislativo aos rompimentos de barragens em Nova Lima (2001) e em Cataguases (2003) (LEGISLAÇÃO..., 2017).

Após o rompimento da barragem de Fundão da mineradora Samarco, em Mariana, a Comissão Extraordinária de Barragens da Assembleia Legislativa decidiu criar uma nova legislação para licenciamento e fiscalização de barragens de rejeito no Estado e apresentou o projeto de lei 3676. Paralelamente, foi apresentado o projeto de lei 3695, que surgiu a partir de uma iniciativa da população, com o apoio da Associação Mineira do Ministério Público. Este projeto foi protocolado na Assembleia, em 2016, com cerca de 56 mil assinaturas em uma campanha chamada Mar de lama nunca mais. A PL 3695 apresentava um texto mais rígido em relação a alguns pontos como licenciamento ambiental e audiências públicas. Todavia, a proposta de lei

mais flexível (PL 3676) que foi, de fato, encaminhada para votação e a PL 3695 tornou-se apenas um anexo (LEGISLAÇÃO..., 2017).

Uma das inovações do texto da PL 3676 é a implementação de uma Política Estadual de Segurança de Barragens, que deverá ser feita em conjunto com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e com as Políticas Nacional e Estadual do Meio Ambiente. A lei traz regras sobre o licenciamento ambiental e a fiscalização das barragens em Minas Gerais.

A legislação também torna obrigatória a realização de audiências pública em toda a bacia hidrográfica, e licenças prévias de instalação e de operação que garantam o Licenciamento Ambiental da barragem.

O texto proíbe, ainda, estruturas no mesmo formato das de Mariana e Brumadinho, construídas pelo método de alteamento à montante. Além disso, não serão mais liberadas licenças para a construção de barragens em regiões que tenham comunidades no perímetro da zona de auto salvamento.

Apesar de ter sido proposta em 2016, somente em fevereiro de 2019, em razão do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, da Vale, em Brumadinho (MG), sancionou-se o Projeto de Lei 3.676 de 2016, estabelecendo regras mais rígidas para a atividade de mineração no estado. Sancionado na íntegra, o projeto de lei ainda terá que ser regulamentado por meio de decretos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (RODRIGUES, A., 2019).

Entretanto, além de maior rigor nos processos de licenciamento, faltam na nova lei mecanismos que garantam direitos e segurança “no processo de descomissionamento”, ou seja, para acabar com as barragens que apresentam risco de rompimento (MILENA, 2019).

3.7 LEGISLAÇÃO DE OUTROS PAÍSES

Somente alguns países possuem legislação específica sobre segurança de barragens. Europa e Estados Unidos criaram legislações detalhadas sobre segurança de barragens, sobretudo, entre 1970 e 1990, analisando as características de cada região.

Nos Estados Unidos, as barragens são avaliadas a partir de três perspectivas: do ponto de vista estrutural, do ponto de vista hidráulico-hidrológico e do ponto de vista sísmico. Após o ataque terrorista de 11 de setembro de 2001, os Planos Emergenciais de Segurança de Barragens foram

revisados e adaptados para lidar com ações de terrorismo e vandalismo. Os novos planos preveem a repentina interrupção do suprimento de água em casos de contaminação da água e terrorismo (BELLEZZIA, 2017).

Na Inglaterra, a segurança de barragens foi regulamentada em 1929. Nesse momento, garantiu-se que as inspeções das barragens deveriam ser feitas por um engenheiro especialista. Desde então, o governo desenvolve programas de avaliação da segurança de barragens (BELLEZZIA, 2017).

No Canadá, foram publicadas recomendações em 1999 para avaliação de segurança de barragens existentes, atentos a problemas construtivos e principalmente, no intuito de contribuir com a legislação e regulamentação sobre segurança de barragens. Uma das características mais marcantes da legislação é a imposição de multas severas aos responsáveis por acidentes envolvendo barragens (BELLEZZIA, 2017).

Na Austrália, publicou-se em 1994 documentos com o objetivo de contribuir no planejamento, projeto, construção e operação de grandes barragens e seus reservatórios. A Nova Zelândia segue a mesma linha da Austrália e ambas, acompanham os avanços dos britânicos (BELLEZZIA, 2017).

O Chile também é um bom exemplo quando se fala de segurança de barragens. Por ter uma grande atividade sísmica, o país é mais propenso a acidentes e incidentes e, por isso, proíbe o modelo de alteamento pelo método de montante. Além disso, exige o envio de dados de monitoramento das empresas (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2019).

Se por um lado, alguns países já contam com legislação e fiscalização eficientes, a China é um exemplo oposto. Mesmo sendo um grande produtor de minério, as práticas de mineração são bastante inseguras com ocorrência frequente de acidentes. O pior acidente da história da mineração aconteceu em 1942, quando uma explosão em uma mina de carvão em Honkeiko, na China, matou 1.572 trabalhadores (TAKAR, 2019).

4 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada no presente trabalho. A pesquisa realizada é bibliográfica/documental e possui o intuito de sintetizar e analisar as diversas informações existente sobre o assunto, que muitas vezes se encontram pulverizadas em artigos, sites de notícias, capítulos de livros e outras fontes de consulta.

A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é a análise crítica, meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento (TRENTINI; PAIM, 1999). Optou-se por essa metodologia pelo fato do tema em questão ser considerado atual e relevante face aos problemas verificados a partir de dois graves acidentes ocorridos nos últimos anos no Brasil, sendo necessário, portanto, buscar informações que ajudem na compreensão desse contexto para discutir de forma mais profunda e responsável a segurança das barragens de rejeitos no país.

Há uma escassez de material de pesquisa, uma vez que o tema só ganhou grande notoriedade após o rompimento da barragem da Samarco em 2015, na cidade mineira Mariana. Mesmo ocorrendo um evento dessa magnitude, quatro anos depois a sociedade se deparou com uma tragédia ainda mais devastadora: o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho (MG) em janeiro de 2019.

No que diz respeito à segurança de barragens, a engenharia domina conhecimentos e técnicas muito eficientes sobre construção, operação e monitoramento; técnicas essas que foram apresentadas ao longo deste trabalho e que se usadas da maneira recomendada garantem altos níveis de segurança.

5 DISCUSSÕES

5.1 ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA SAMARCO EM MARIANA (2015)

5.1.1 ANTECEDENTES

Estudar o contexto e os antecedentes do rompimento da barragem da Samarco em 2015 na cidade de Mariana (MG) é fundamental para entender os motivos que levaram a este grave “acidente”. Compreender de forma ampla e adequada as razões do desastre ultrapassam o estudo dos elementos técnicos da obra. É necessário buscar também quais fatores econômicos, políticos e sociais colaboraram para o rompimento.

Entre 2003 e 2013 os valores relativos às importações mundiais de minério foram de US\$ 38 bilhões para US\$ 277 bilhões. Entretanto, poucos países e regiões foram responsáveis por suprir tal demanda, dentre eles o Brasil. Assim, acentuou-se a dependência econômica do país com relação a exportação de minério, que aumentou de 5% para 14,5% (ITC, 2015).

A dependência é ainda maior ao analisar a questão local. As receitas dos municípios onde estão instalados os projetos de mineração têm como principal fonte a arrecadação proveniente da atividade das mineradoras. A principal fonte de recursos para o município de Mariana (MG), por exemplo, é a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). Em 2015, Mariana foi o município que mais recebeu repasses da CFEM em Minas Gerais, totalizando R\$ 106 milhões (DNPM, 2015).

Em relação aos empregos gerados pela atividade, sabe-se que a maioria dos postos de trabalho no setor mineral é temporário, e seu ápice ocorre na etapa de instalação da infraestrutura dos complexos mineradores. Além disso, os cargos mais qualificados costumam ser ocupados por mão de obra originária dos grandes centros urbanos. A mão de obra local é empregada, normalmente, em serviços de limpeza e em manutenção das infraestruturas, máquinas e equipamentos em condições precárias definidas por contratos com empresas terceirizadas, que apresentam níveis de remuneração e de segurança do trabalho mais baixos do que os contratados diretamente pelas mineradoras (SARAIVA; COIMBRA; FERREIRA, 2011).

Contudo, a geração de empregos, mesmo precários e em quantidades pouco relevantes em escala global, é relevante em escala local. Dessa forma, apesar dos impactos negativos causados, a mineração é uma atividade econômica que contribui para parcela importante da renda da população (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Sobre a disposição de rejeito na região em que houve o rompimento dessa estrutura, sabe-se que é realizada nas seguintes barragens: Germano, cuja capacidade de armazenamento esgotou-se em 2009; Santarém; Fundão; além da cava exaurida da mina do Germano.

A barragem do Germano que começou a ser operada em 1977 é considerada o sistema de contenção de rejeitos mais alto do Brasil, com 175 m de altura e capacidade estimada em 200 milhões de m³ (CÂMARA; OLIVEIRA, 2015). A barragem do Santarém entrou em operação em 1994, tendo sido construída tanto para a contenção de rejeitos de mina quanto para utilização como reservatório de recirculação de água (SUPRAM-CM, 2009). A barragem do Fundão, última a entrar em operação em 2008, compreendia dois reservatórios independentes para a disposição de rejeitos arenosos e lama (SUPRAM-ZM, 2008).

A expansão do mercado da mineração vista no início dos anos 2000 não se manteve, e a partir de 2011 iniciou-se a queda do valor do produto. Todavia, mesmo em condições menos favoráveis, a Samarco iniciou ampliação de sua produção (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Também em resposta à conjuntura desfavorável, a Samarco buscou utilizar uma estratégia corporativa que estabelecesse patamares de custo operacional baixos, para contrabalançar o declínio das margens de lucro e sustentá-las em “bons” níveis. A ampliação dos investimentos na escala de produção dependeu adicionalmente de práticas de elevação da produtividade (SAMARCO, 2013), que implicam em pressão contínua sobre os trabalhadores pela ampliação dos níveis de produção e qualidade. A empresa conseguiu, dessa maneira, diminuir o custo unitário por tonelada de pelota de ferro, mantendo os níveis de lucratividade líquida e a distribuição de dividendos.

Porém, as estratégias de aumento de produtividade e ampliação causaram um aumento do endividamento bruto da Samarco, que passou de R\$ 3,4 bilhões em 2010 para R\$ 11,7 bilhões em 2014 (SAMARCO MINERAÇÃO, 2015).

5.1.2 O ROMPIMENTO

O preço do minério de ferro baixo e o crescimento da dívida da Samarco, sem o correspondente aumento de receita, produziram um ambiente de muita pressão de investidores sobre a empresa. Há indícios, principalmente associados ao aumento significativo dos acidentes de trabalho, de que tal pressão causou uma intensificação no processo produtivo e, possivelmente, negligência

com aspectos de segurança e controle, em particular das barragens (WANDERLEY; MANSUR e PINTO, 2016). O laudo do primeiro inquérito da Polícia Civil de Minas Gerais, referente ao rompimento da barragem do Fundão, mostrou que a causa foi a liquefação dos rejeitos arenosos que suportavam a barragem. Segundo o inquérito, sete fatores atuaram para o ocorrido:

- Elevada saturação dos rejeitos arenosos depositados na barragem do Fundão;
- Falhas no monitoramento contínuo do nível de água e das poropressões junto aos rejeitos arenosos depositados no interior da barragem e junto aos rejeitos constituintes dos diques de alteamento realizados;
- Diversos equipamentos de monitoramento encontravam-se com defeito;
- Monitoramento deficiente em virtude do número reduzido de equipamentos instalados na barragem;
- Elevada taxa de alteamento anual da barragem, em função do grande volume de lama que era depositado em seu interior;
- Assoreamento do dique 02, o que permitiu infiltração de água de forma generalizada para a área abrangida pelos rejeitos arenosos, no lado direito da bacia de deposição de rejeitos;
- Deficiência junto ao sistema de drenagem interno da barragem.

O laudo final da investigação da Polícia Civil identificou redução no orçamento da Samarco destinado ao setor de geotécnica, responsável pelo controle e monitoramento das barragens. Esses indícios indicam a implementação de uma política gerencial de retração dos custos operacionais ligados à segurança (POLÍCIA..., 2016).

Ainda em 2009, a Samarco teria contratado o serviço de planejamento estratégico de segurança prevendo a proteção aos funcionários e comunidades, no caso de rompimento de uma barragem junto à Rescue Training International (RTI). Entretanto esse plano de ação nunca foi posto em prática em função de uma crise econômica, assim como outro planejamento relativo a emergências médicas e realizado pela RTI em 2012. Mesmo o Programa de Ações Emergenciais de Barragens (PAE), apresentado à Superintendência Regional do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Região Central Metropolitana (SUPRAM-CM)

em 2014, considerado frágil por especialistas, não teria sido posto em prática integralmente (WERNECK, 2015).

5.1.3 FALHAS DO ESTADO

O rompimento da barragem do Fundão mostrou a necessidade de discussão sobre os sistemas de monitoramento e licenciamento de barragens.

O desastre da Samarco está relacionado à dimensão estrutural da expansão das operações de extração, processamento, logística e disposição de resíduos por corporações mineradoras em todo o mundo, mas que é intensificada no Brasil pela ineficiência do Estado e de seus operadores no exercício de seu papel regulatório sobre o setor. O Estado brasileiro tem sido incapaz de definir uma orientação pública e democrática para a política de acesso aos bens minerais, legitimando padrões de comportamento corporativo incompatíveis com respeito aos direitos de trabalhadores mineiros, comunidades locais e populações afetadas por suas operações (CNDTM, 2013).

No caso de Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) é o órgão responsável pela publicação do Inventário de Barragens do Estado. Nas barragens de rejeitos de mineração, a fiscalização da FEAM ocorre de maneira complementar à do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), órgão federal legalmente responsável pela fiscalização do Plano de Segurança da Barragem e da revisão periódica de segurança de todas as barragens de mineração no país (órgão este que, a partir de medida provisória, convertida na Lei 13.575/2017 em dezembro de 2018, foi substituído pela Agência Nacional de Mineração, ANM).

O monitoramento das condições destas estruturas de engenharia é produzido periodicamente (em um intervalo que varia de acordo com a classificação de dano potencial da construção) por auditores contratados pelas empresas mineradoras possuidoras de barragens. Os pareceres são entregues aos órgãos públicos competentes e têm seus resultados divulgados no Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2014a).

Cabe ressaltar que na lista de 2014 (FEAM, 2014b), as três barragens da Samarco em Mariana (Fundão, Germano e Santarém), todas Classe III, tiveram sua estabilidade garantida pelo auditor. Aproximadamente quatro meses antes do rompimento, a própria barragem do Fundão teve sua estabilidade garantida pelo engenheiro da empresa VogBR em auditoria realizada no

dia 2 de julho de 2015 (BERTONI; MARQUES, 2016a) e pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que confirmou cinco dias depois da auditoria, no dia 7 de julho, que a barragem encontrava-se em condições adequadas de segurança (BERTONI; MARQUES, 2016b). A mesma condição de estabilidade foi atribuída à barragem da Herculano Mineração em 2013, que veio a romper no município de Itabirito, provocando três mortes no ano seguinte (FEAM, 2013).

Essa realidade demonstra a fragilidade do sistema de monitoramento externo e estatal de barragens no estado de Minas Gerais e a limitada capacidade do governo estadual de garantir que as empresas cumpram exigências referentes à segurança das barragens. Além disso, segundo o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), em 2014, apenas 165 estruturas possuíam Planos de Ações de Emergência em todo o país, ou seja, 1,1 % do total existente de 14.966 (ANA, 2015), o que demonstra, mais uma vez, a incapacidade dos órgãos federais de garantir que as empresas cumpram as normas de segurança obrigatórias.

A abertura do processo de licenciamento ambiental referente à barragem do Fundão se deu em 2005, com a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA). Em 2007, foram concedidas para a Samarco as licenças prévias e de instalação e, no ano seguinte, a licença de operação, todas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (COPAM). Em 2009 o preço do minério de ferro alcançava o primeiro pico e no mesmo ano foi concedida a licença de operação, liberando o funcionamento da infraestrutura e possibilitando maior ganho de escala (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Em 2011, a mineradora entrou com pedido de renovação da licença de operação, que foi concedida no mesmo ano, com validade até 2013. A licença buscava manter a infraestrutura para as operações em curso, mas também estava associada a novos projetos de expansão do complexo mineiro-industrial como um todo e da barragem em particular (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Com o intuito de elevar ainda mais a escala de produção, em 2012, a Samarco apresentou um novo EIA visando promover a otimização da barragem do Fundão. Em 2013, outro EIA-RIMA foi apresentado pela Samarco com o objetivo de promover o alteamento e a unificação entre as barragens do Germano e do Fundão, formando uma megabarragem e assim reativando Germano, desativada desde 2009 (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Ambos os projetos propostos possibilitavam o aumento previsto da produção mineral e eram mais baratos, rápidos e eficientes (pois aproveitavam a estrutura existente e o sistema de tratamento e recirculação de água em funcionamento), que a construção de uma nova barragem em outro vale próximo, apesar de serem potencialmente mais perigosos e destruidores. Essa estratégia de implementar obras mais baratas, independente dos riscos associados, condiz com o início da retração dos preços na fase pós-boom (WANDERLEY; MANSUR; PINTO, 2016).

Um laudo técnico elaborado pelo Instituto Prístino a pedido do Ministério Público de Minas Gerais alertou, em 2013, sobre os riscos de rompimento da barragem do Fundão, em Mariana. O relatório foi anexado ao parecer do MP em relação ao pedido feito pela Samarco Mineração ao órgão ambiental do Estado para renovar a licença de operação da barragem. O documento alertava para a proximidade perigosa entre a barragem do Fundão e a pilha de estéril da Mina de Fábrica Nova da Vale (INSTITUTO PRISTINO, 2013). "Notam-se áreas de contato entre a pilha e a barragem. Esta situação é inadequada para o contexto de ambas estruturas, devido à possibilidade de desestabilização do maciço da pilha e da potencialização de processos erosivos" (INSTITUTO PRISTINO, 2013, p. 3).

O laudo orientou a realização de estudos e projetos sobre os possíveis impactos do contato entre as estruturas. Também sugeriu fazer uma análise para caso de ruptura da barragem, monitoramento periódico (havia trincas ao longo da estrutura) e apresentação de plano de contingência em caso de acidentes, o que não foi acatado pela empresa (INSTITUTO PRISTINO, 2013).

5.1.4 MODELO MINERAL BRASILEIRO

O início dos anos 2000 foi marcado, em muitos países da América Latina, por governos progressistas buscando aliar desenvolvimento econômico e redução das desigualdades. Dentro dessa concepção de desenvolvimento, a estratégia crucial era o aprofundamento da inserção desses países na economia globalizada (GUDYNAS, 2009).

Esse crescimento dependia de um fortalecimento do Estado e do mercado. Dessa forma, seria importante que o primeiro criasse condições de investimento que permitissem o crescimento do segundo (BRESSER-PEREIRA, 2012). No caso brasileiro, por exemplo, essas condições incluíam alterações nos procedimentos de licenciamento ambiental, de forma a torná-lo mais ágil e reduzir os "entraves ao desenvolvimento". Essas alterações se deram, principalmente, através de processos de licenciamento mais flexíveis.

A tragédia do Rio Doce mostra o quão ineficaz tem sido o sistema de licenciamento ambiental em garantir que os projetos de extração mineral sejam ambientalmente viáveis. Além disso, ela deve ser considerada como importante evidência das falhas estruturais do sistema de monitoramento de segurança de barragens, seja no nível federal, seja no estado de Minas Gerais; uma vez que esse sistema se mostrou incapaz de garantir que as operações de gestão de rejeitos de mineração sejam feitas de forma segura. Dessa forma, seria de se esperar que esta tragédia viesse a forçar o Estado a rever a legislação ambiental e de segurança de barragens de forma a torná-la mais rigorosa e efetiva. Entretanto, os primeiros sinais dados pelas instituições após o rompimento da barragem da Samarco em 2015 vão em sentido contrário. As mudanças seguiram na direção de diminuir o grau de exigência ambiental para a implementação de projetos de grande impacto (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

Em dezembro de 2015, no mês seguinte ao rompimento da barragem do Fundão, foi levado ao plenário da Assembleia Legislativa de Minas Gerais o Projeto de Lei nº 2.946 de 2015, de autoria do governador Fernando Pimentel, que alterava o funcionamento do Sistema Estadual de Meio Ambiente. Aprovada como Lei nº 21.972/2016, esta nova norma não apenas restringe o tempo de avaliação dos Estudos de Impacto Ambiental pelos órgãos ambientais, como ainda permite que os licenciamentos de projetos sejam debatidos sem a devida análise pelos órgãos competentes. Além disso, a lei cria a classe de “projetos prioritários” (cuja relevância seria definida de forma discricionária), que não seriam mais avaliados pelos órgãos técnicos competentes, mas sim por uma estrutura complementar da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) (MINAS GERAIS, 2016).

Em um sentido semelhante, em 2015, no estado do Espírito Santo, foi iniciado o processo de formulação do Novo Código Florestal Estadual. Se tal proposta for aprovada (até abril de 2019 não havia sido aprovada), ficará estabelecido que empreendimentos de mineração, mesmo os de infraestrutura, serão considerados de “interesse público”, reduzindo, os impedimentos legais para a realização das obras (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

Em abril de 2016, foi aprovada a Proposta de Emenda à Constituição nº 65 de 2012. No caso de obras públicas, a PEC torna desnecessária a avaliação dos estudos de impacto ambiental, uma vez que a simples apresentação de um estudo prévio garantiria a autorização. Também impediria que tais obras fossem interrompidas, mesmo quando não se adequassem às exigências ambientais (BRASIL, 2012c). Em maio de 2018, uma comissão do Senado aprovou a PEC 65 de 2012 que ainda precisa passar por votação no Plenário do Senado. Caso aprovada (até maio

de 2019 não havia sido aprovada), a proposta seguirá para tramitação na Câmara e depois retornará ao Senado para aprovação de quaisquer mudanças. Por fim, seguirá à sanção presidencial (MOVIMENTO..., 2018).

Dessa forma, o rompimento da barragem do Fundão não chegou a interferir na percepção sobre a vulnerabilidade do sistema de licenciamento ambiental do Brasil. Ao contrário, diferentes legisladores mantiveram ações que irão tornar o sistema ainda menos exigente e mais vulnerável (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

5.1.5 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Um laudo técnico preliminar do Ibama, divulgado assim que ocorreu o rompimento da barragem da Samarco em 2015, evidenciou e relatou alguns impactos causados, como a destruição direta de ecossistemas, prejuízos à fauna, flora e ainda impactos socioeconômicos, que afetaram o equilíbrio da bacia hidrográfica do rio Doce (IBAMA, 2015). De uma análise primária e sistemática do citado documento infere-se que a tragédia de Mariana se configurou em um desastre socioambiental de proporções nunca antes vista na história da mineração brasileira e mundial (LOPES, 2016). A Figura 17 mostra o caminho percorrido pela lama até o dia primeiro de dezembro de 2015.

Figura 17 - Caminho percorrido pela lama até o dia primeiro de dezembro de 2015



Fonte: O G1... (2015)

O distrito de Bento Rodrigues sofreu os impactos mais imediatos em razão do “acidente”. Com população estimada em 612 habitantes, localizado na cidade mineira de Mariana, foi o primeiro a receber a onda de rejeitos. A Figura 18 mostra o distrito antes e depois do rompimento da barragem. Devido à violência da enxurrada, o pequeno povoado simplesmente desapareceu – soterrado em um mar de lama. Todos os sobreviventes ficaram desabrigados, pois suas casas, igrejas e colégios foram arrastados e destruídos pela força da avalanche (LOPES, 2016).

Bento Rodrigues, embora vilarejo, era um distrito que possuía uma história digna de orgulho para seus moradores. Com 317 anos de existência, abrigava igrejas centenárias com obras sacras importantes e monumentos de notória relevância cultural, além de fazer parte da rota da Estrada Real no século XVII. Além das perdas de vidas humanas, em apenas onze minutos de avalanche todo patrimônio histórico e cultural, construído ao longo de séculos, fora dizimado pelo mar de rejeitos (GONÇALVES; VESPA; FUSCO, 2015).

Figura 18 - Distrito de Bento Rodrigues antes e depois do rompimento



Fonte: Veja... (2015)

Além disso, o laudo apontou que houve interrupção da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas (Candonga, Aimorés e Mascarenhas); destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa de Mata Atlântica; mortandade de biodiversidade aquática e fauna terrestre; assoreamento de cursos d’água; interrupção do abastecimento de água;

interrupção da pesca por tempo indeterminado; interrupção do turismo; perda e fragmentação de habitats; restrição ou enfraquecimento dos serviços ambientais dos ecossistemas; alteração dos padrões de qualidade da água doce, salobra e salgada e sensação de perigo e desamparo na população (BRASIL, 2015). A figura 19 mostra o rio doce antes e depois do desastre.

Figura 19 - Rio Doce antes e depois do desastre



Fonte: Vale (2015)

Mais de três anos após o rompimento da barragem, os impactos ainda podem ser notados. O nível de contaminação no rio ainda é desconhecido, principalmente em relação às espécies que vivem no local. Por isso, pesquisadores de 24 universidades brasileiras fizeram uma expedição em outubro de 2018 para coletar materiais para análise (MACHADO; BONELLA, 2018).

No Espírito Santo, os municípios mais afetados pela lama de rejeitos foram Baixo Guandu, Colatina e Linhares. Neste último, onde o rio encontra o mar, na Praia de Regência, a pesca continua proibida, já que foi ali o destino final de todos os rejeitos que caminharam ao longo do rio. Nos primeiros meses seguintes ao desastre, os níveis de metais nos peixes e outros animais que viviam no Rio Doce estavam acima do permitido. Mesmo passados três anos do desastre, a pesca ainda não havia sido liberada na foz (MACHADO; BONELLA, 2018).

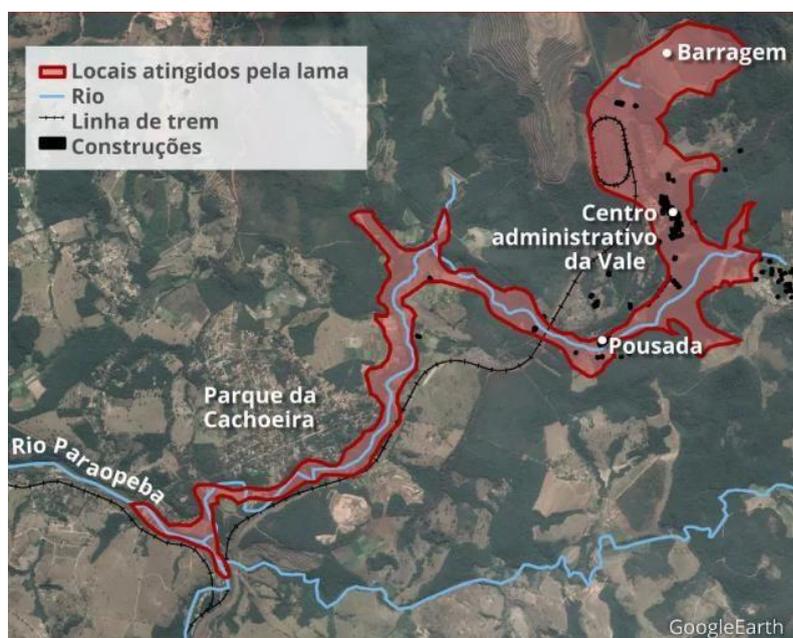
A lama de rejeitos da barragem que rompeu em Mariana chegou ainda até o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, no sul da Bahia. Esta é a conclusão de uma pesquisa realizada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em um relatório de quase 50 páginas, em que os pesquisadores apresentaram análises detalhadas sobre a presença de metais na região, entre eles zinco e cobre (PESQUISA..., 2019).

5.2 ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA VALE EM BRUMADINHO (2019)

5.2.1 O ROMPIMENTO

O rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, região metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais, no dia 25 de janeiro de 2019, causou uma grande avalanche de rejeitos de minério de ferro. A Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão rompeu-se e a lama atingiu a área administrativa da Vale e a comunidade da Vila Ferteco, provocando grande destruição e centenas de mortes (SANTOS, 2019). Dados de 29 de maio de 2019 mostram que 245 pessoas morreram devido ao rompimento da barragem e outras 25 continuam desaparecidas (VALE, 2019). A Figura 20 mostra o caminho da lama no dia do rompimento.

Figura 20 - Caminho da lama no dia do rompimento da barragem



Fonte: Tragédia... (2019)

No momento do acidente, as sirenes de alerta não tocaram, fato que contribuiu para o elevado número de mortes, já que as pessoas não foram avisadas para adotar os procedimentos de segurança. A barragem que se rompeu estava inativada e apresentava um volume de 11,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos (SANTOS, 2019). Tinha 86 metros de altura e começou a ser construída em 1976 pela Ferteco Mineração (adquirida pela Vale em 2001). Em comunicado divulgado após o rompimento, a Vale informou que a barragem estava sem receber novos rejeitos desde 2015 (ALVARENGA; CAVALINI, 2019).

Sobre as possíveis causas do rompimento, uma das linhas de apuração aponta para a possibilidade de acúmulo de água e saturação da barragem e para uma possível falha no sistema de drenagem (JASEN, 2019). Outra causa teria sido a ocorrência do processo de liquefação, o que já ocorreu em outros grandes desastres no mundo em estruturas com o mesmo método de construção de Brumadinho (MG), com tecnologia de alteamento a montante. No entanto, seria preciso entender por que a liquefação teria acontecido, uma vez que a Vale afirma que os piezômetros não detectaram movimentação de água interna na estrutura (TUDO..., 2019).

5.2.2 MONITORAMENTO, LAUDOS E LICENCIAMENTO

De acordo com o laudo de segurança dessa barragem, emitido no ano de 2018, tratava-se de uma barragem monitorada. O monitoramento geotécnico era realizado por 90 piezômetros, 37 indicadores de nível d'água, 7 marcos superficiais, 56 pontos de medição de vazão, 2 inclinômetros, 1 pluviômetro e 1 radar interferométrico (VALE, 2018).

O mesmo laudo concluiu pela estabilidade da estrutura, mas registra que, em determinada área da barragem que estava parcialmente saturada de água, havia um dreno seco e ainda trincas de onde vertia água. O documento recomendou a instalação de novos piezômetros, equipamentos que medem a pressão e o nível da água no solo, e de um mecanismo de registro sísmológico no entorno da barragem. Segundo o laudo, para aumentar a segurança da barragem e evitar a liquefação, a Vale deveria tomar atitudes que diminuíssem a probabilidade de gatilhos, como proibir detonações nas redondezas, evitar o tráfego de equipamentos pesados e impedir a elevação do nível da água na estrutura (LAUDO..., 2019).

O Cadastro Nacional de Barragens de Mineração de 2015, mostra que a barragem em questão se enquadrava na Política Nacional de Segurança de Barragens e era classificada como uma estrutura de baixa Categoria Risco e alto Dano Potencial Associado.

Outro ponto importante é que a ANM não verificou em vistoria de campo em 2016 e nem nas informações repassadas pela Vale no Sistema Integrado de Gestão e Segurança de Barragens de Mineração constatações de risco à estabilidade da estrutura (BRUMADINHO..., 2019).

A Vale emitiu uma nota com esclarecimentos em relação à barragem que se rompeu afirmando que a barragem possuía Fator de Segurança adequado. Entretanto, os fatos divergem desta informação: o laudo de segurança de barragem de 2018 da barragem 1 da Vale mostra que um fator de segurança maior que 1,05 é suficiente pra condição de liquefação e mesmo que a NBR

13028 (ABNT, 2017) não apresente um valor mínimo para este caso, é comum que obras de engenharia, utilizem fator de segurança em torno de 1,5, inclusive a NBR 16682 sobre estabilidade de taludes traz fator de segurança igual a 1,5 para obras que necessitem de altos níveis de segurança (ABNT, 2009).

Parte dos rejeitos que soterraram centenas de pessoas foi empilhada durante nove anos sem a devida licença. Desde 2000 estava em vigor, em Minas Gerais, uma norma estadual que estipulava o licenciamento para cada alteamento (elevação de rejeitos) de uma barragem. Inaugurada em 1976, a barragem foi ampliada ao longo dos anos (GONÇALVES, 2019).

Os alteamentos foram regularizados apenas em 2009, por meio de um processo de licenciamento irregular: não se exigiu da mineradora um estudo de impacto ambiental aprofundado, o chamado EIA/RIMA. O estudo, que deveria contemplar as possibilidades de desastre e propor ações para minimizá-las, é obrigatório para todo empreendimento em que há supressão de Mata Atlântica, sobretudo de atividades minerárias, conforme a lei 11 428, de 2006. À época, a Secretaria de Meio Ambiente do governo de Minas Gerais constatou que haveria a retirada de 3 hectares de Mata Atlântica e, mesmo assim, não exigiu o EIA/RIMA. Contentou-se com outra modalidade de estudo ambiental, o Relatório de Controle Ambiental (RCA), que é emitido mais rapidamente e é menos minucioso (GONÇALVES, 2019).

Posteriormente, em 2018, o COPAM aprovou a ampliação das atividades do complexo Paraopeba, que inclui a mina Córrego do Feijão. A aprovação, com licenciamento único e mais rápido, foi obtida, sem explicação, através de uma diminuição do potencial de risco da barragem. O licenciamento obtido foi LAC 1, ou seja, análise em uma única fase, das etapas de Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação da atividade ou do empreendimento (COMPLEXO..., 2019).

Todavia, segundo Klemens Laschefski, pesquisador da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), a mina Córrego do Feijão era considerada classe 6, com maior potencial poluidor e, por isso, um licenciamento ambiental de três fases era necessário. Quando foi transferido para a Copam, sem explicações, durante a reunião se tornou classe 4, o que significa que pode pular etapas de licenciamento. É um projeto tratado como de menor impacto ambiental. O pesquisador da UFMG diz que a mudança foi justificada pela Suppri (Superintendência de Projetos Prioritários) como erro de digitação (COMPLEXO..., 2019).

5.2.3 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

O impacto ambiental causado pela enxurrada de lama após o rompimento da barragem da companhia Vale na Mina do Córrego do Feijão, na cidade de Brumadinho (MG), será sentido por muito tempo, advertiu a ONG Fundo Mundial para a Natureza (OITO..., 2019).

Aproximadamente 125 hectares de florestas foram perdidos, o equivalente a mais de um milhão de metros quadrados, indica o relatório divulgado quatro dias depois de que uma enxurrada de lama e rejeitos atingiu instalações da Vale, casas e veículos em Brumadinho (OITO..., 2019). A Figura 21 a seguir mostra uma pousada da região antes e após o rompimento.

Figura 21 - Pousada da região antes e após o rompimento



Fonte: Pousada... (2019)

A lama chegou em poucas horas ao rio Paraopeba (Figura 22) e avançava a 1 km por hora pelo leito. A aldeia indígena Naô Xohã, de 27 famílias, a 22 km de Brumadinho, epicentro da catástrofe, foi duramente afetada pela poluição da água (OITO..., 2019).

Figura 22 - Rio Paraopeba antes e depois do rompimento



Fonte: Água... (2019)

O rompimento da barragem de rejeitos no complexo minerário Córrego do Feijão gerou mudanças de cobertura da terra muito significativas. Essas mudanças permitem avaliar os impactos do desastre de forma integrada e realista. A seguir são apontados alguns dos principais impactos socioeconômicos e ambientais gerados pelo rompimento (PEREIRA; GUIMARAES; CRUZ, 2019).

Os rejeitos de mineração de ferro na região do quadrilátero ferrífero apresentam alto potencial de contaminação dos meios físico e biótico, do curto ao longo prazo, devido ao seu conteúdo de minério fino e presença de metais pesados (CARVALHO *et al.*, 2017; QUEIROZ *et al.*, 2018). A contaminação provocada pelo rejeito comprometeu a sobrevivência de comunidades à jusante e o abastecimento hídrico de áreas urbanas. Os 12 milhões de metros cúbicos de lama devem elevar o transporte de sedimentos ao longo do tempo (MAGRIS *et al.*, 2019), causando assoreamento do leito e barragens de hidrelétricas dos rios Paraopeba e São Francisco, além da contaminação dos mananciais subsuperficiais.

A lama cobriu grande extensão de terras férteis da região. Além da contaminação geoquímica, o ressecamento do rejeito de minério de ferro gera uma camada densa espessa, que impede fisicamente a prática agropecuária (SILVA *et al.*, 2017). Extensas áreas de agricultura foram destruídas, principalmente culturas como alface e outras culturas folhosas. Ao destruir pastagens, a lama também soterrou bovinos e outros animais domésticos.

A produção de alimentos, segurança alimentar e saúde das comunidades tendem a ser fortemente afetadas na região. Além disso, muitas estradas, moradias, bens e meios de produção foram destruídos pela lama, gerando perdas econômicas graves para as famílias atingidas. A

grande dimensão das perdas humanas, ambientais e socioeconômicas também impactará fortemente a condição psicológica, psiquiátrica e psicossocial das populações atingidas (PEREIRA; GUIMARAES; CRUZ, 2019).

Assim, são requeridos diversos estudos sobre o processo de degradação socioambiental, bem como sua dinâmica temporal e espacial. Devido à grande dimensão e à natureza dos impactos imediatos encontrados, são considerados emergenciais os estudos que: visem diagnosticar os quadros socioeconômico, ambiental e psicológico pós-catástrofe; abordem as propriedades e o potencial poluidor dos rejeitos; e avaliem efeitos imediatos da contaminação sobre a saúde humana e do ecossistema. Os resultados desses estudos forneceriam diretrizes para selecionar os problemas, apresentariam tecnologias e métodos de remediação dos impactos de curto e médio prazo, e também maneiras de buscar soluções de mitigação dos danos a longo prazo. Por fim, tendo em vista a grande quantidade de estruturas empresariais e familiares presentes na trajetória da lama, há necessidade de estudos relacionados à melhoria na gestão de riscos pelas empresas de mineração, bem como desenvolvimento de políticas de acompanhamento e indenização das famílias atingidas (PEREIRA; GUIMARAES E CRUZ, 2019).

5.2.4 A EMPRESA FRENTE A TRAGÉDIA

Diante de um desastre dessa proporção, é necessário debater as responsabilidades da empresa e exigir que medidas efetivas sejam tomadas. Em 20 de fevereiro de 2019, um Termo de Ajuste Preliminar (TAP) foi firmado entre a mineradora, os Ministérios Públicos Federal (MPF) e Estadual (MPMG), as defensorias públicas da União (DPU) e do estado (DPMG) e as advocacias-gerais da União (AGU) e do estado (AGE). Foi definido que os prejudicados têm direito a um salário-mínimo por adulto, meio salário por adolescentes (12 a 17 anos) e um quarto de salário por criança (abaixo de 12) durante um ano. O pagamento vale para moradores do município e para quem vive a até um quilômetro do leito do Rio Paraopeba, desde Brumadinho e demais cidades na calha do rio até Pompeu, na represa de Retiro Baixo (RONAN, 2019).

Entretanto, em março, mais de 50 dias depois da tragédia de Brumadinho, os atingidos pelo rompimento da Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão ainda não haviam recebido os pagamentos emergenciais prometidos pela Vale. Na mesma semana, a Vale informou que o dinheiro começou a ser pago (RONAN, 2019).

Sobre as responsabilidades criminais, oito funcionários da Vale foram presos em fevereiro, em investigação sobre o rompimento da barragem de Brumadinho, na Grande Belo Horizonte. A operação ocorreu em Minas Gerais, em São Paulo e no Rio de Janeiro. Segundo o Ministério Público, a ação visa apurar responsabilidade criminal pelo rompimento de barragens existentes na Mina Córrego do Feijão, mantida pela empresa Vale, na cidade de Brumadinho. Em sua decisão, o juiz Rodrigo Heleno Chaves afirmou que os oito funcionários da Vale tinham conhecimento da situação de instabilidade da barragem B1 e ficaram inertes (IMPACTO..., 2019).

Após quatro meses do rompimento da Barragem de Córrego do Feijão, os investigados estavam soltos, a multa aplicada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) não foi paga e as apurações continuam. Além disso, os inquéritos criminais ainda não foram concluídos e ainda não há réus nessas investigações (PIMENTEL, 2019).

Segundo a Polícia Civil, o inquérito criminal já permite apontar a hipótese de homicídio com dolo eventual – quando se assume o risco de cometer o crime. Agora, resta apurar a participação de cada um dos considerados envolvidos na tragédia (PIMENTEL, 2019).

5.2.5 DESCOMISSIONAMENTO DE BARRAGENS

Depois da tragédia de Brumadinho, a Vale anunciou a decisão de acabar com as 10 barragens construídas pelo método a montante, o mesmo utilizado para construir a barragem da mina Córrego do Feijão (ALVARENGA, 2019).

A palavra descomissionamento, basicamente, significa procedimento de eliminação de uma infraestrutura depois de atingir a sua vida útil. No planejamento e projeto destas infraestruturas é necessário incorporar o seu descomissionamento ao final da sua vida útil para que o empreendimento observe os princípios de sustentabilidade e não fique para o Estado a responsabilidade desta ação. Isto ocorre no processo de concessão dos serviços públicos e de obras relacionadas com o mesmo. As barragens, de forma geral, na sua concessão, planejamento e projeto não incorporam este processo que representa um custo para o investidor que deverá ser absorvido e fazer parte da avaliação econômica financeira (TUCCI, 2012).

Nesse contexto, a Agência Nacional de Mineração através da resolução 4 de 15 de fevereiro de 2019 estabeleceu medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido.

Tal resolução traz diversos pontos relacionados ao descomissionamento dessas estruturas. Primeiramente, foi estabelecido que o empreendedor deve concluir, até 15 de agosto de 2019, a elaboração de projeto técnico de descomissionamento ou descaracterização da estrutura, que deverá contemplar, no mínimo, obras de reforço da barragem à jusante ou a construção de nova estrutura de contenção à jusante, com vistas a reduzir ou eliminar o risco de liquefação e o dano potencial associado, obedecendo a todos os critérios de segurança. Também foi definido que até 15 de agosto de 2021, deve-se concluir o descomissionamento ou a descaracterização da barragem.

Ainda de acordo com esta resolução, na hipótese das barragens de mineração construídas ou alteadas pelo método a montante ou por método declarado como desconhecido estarem em operação na data de entrada em vigor desta Resolução, a conclusão do descomissionamento ou da descaracterização da barragem deverá ocorrer até 15 de agosto de 2023.

Na visão da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), o descomissionamento dessas estruturas deve ser executado com base em projeto geotécnico rigoroso, elaborado por especialistas, de modo a evitar que as obras envolvidas nesse processo acabem por produzir novos acidentes ao invés de evitá-los (ABMS..., 2019).

Ainda segundo a ABMS, que vem elaborando propostas de descomissionamento para auxiliar a Agência Nacional de Mineração, esses projetos deveriam levar muito mais tempo do que o previsto na Resolução da Agência Nacional de Mineração (ABMS..., 2019).

Na primeira proposta, a ABMS sugere que a data para a realização dos projetos e das necessárias investigações geotécnicas seja estendida em um ano, ou seja, até 15 de agosto de 2020, pois segundo a Associação, para a execução dessas obras é preciso fazer investigações detalhadas. A ABMS reconhece inclusive que não há profissionais qualificados em quantidade adequada para desenvolver os projetos de descomissionamento e, ao mesmo tempo, as obras necessárias em mais de 100 barragens com alteamento a montante existentes hoje no país (ABMS..., 2019).

Na proposta Nº 2, a ABMS diz que é importante estender por três anos (de 15 de agosto de 2021 a 15 de agosto de 2024) o prazo para o descomissionamento das barragens. Essa orientação se dá por motivos de segurança, além de procedimentos técnicos complexos e sofisticados, já que segundo a Associação, as obras de descomissionamento, se realizadas com pressa e sem projeto técnico adequado, podem desencadear novas rupturas (ABMS..., 2019).

A terceira proposta apresenta a inclusão da análise probabilística na determinação do risco de ruína das barragens de rejeitos, inclusive no seu descomissionamento. Trata-se de um recurso técnico avançado e que possibilita a determinação da probabilidade de ruína de uma barragem. As análises probabilísticas são o único recurso técnico que viabiliza a quantificação da probabilidade de ruína de cada barragem e, conseqüentemente, o seu risco (ABMS..., 2019).

Na Proposta Nº 4, a ABMS ressalta a importância de que as análises probabilísticas sejam sucedidas por estudos de Dam Break e da quantificação de impacto e conseqüências a jusante. Dam Break é o estudo que avalia os potenciais impactos da ruptura de uma barragem (ABMS..., 2019).

Já a Proposta Nº 5 toca num ponto importante, que é a definição de quem deve ser o responsável final pela segurança e estabilidade da barragem. Na visão da ABMS, o responsável final pela obra deve ser sempre o dono ou concessionário do empreendimento, sendo ele o responsável por assinar a DCE (Declaração da Condição de Estabilidade) e por responsabilizar-se pela segurança do mesmo. Os relatórios que irão embasar a decisão final do proprietário devem ser assinados pelos técnicos envolvidos – engenheiros projetistas, engenheiros de registro e engenheiros de construção (ABMS..., 2019).

Na sexta proposta, a ABMS trata das ações emergenciais. A entidade sugere que tais ações devem ser planejadas e definidas até 31 de dezembro de 2019, podendo até envolver a desocupação de áreas antes mesmo da implantação de qualquer reforço. Na visão da ABMS, tal planejamento e ações decorrentes, devem ocorrer antes das obras de reforço, descomissionamento, descaracterização ou mineração (ABMS..., 2019).

Além de apresentar as sugestões contidas em documento entregue à Agência Nacional de Mineração, a ABMS colocou-se à disposição das autoridades para prestar todos os esclarecimentos necessários à perfeita compreensão das medidas propostas e aguarda os próximos movimentos por parte da ANM (ABMS..., 2019).

5.3 REAPROVEITAMENTO DO REJEITO E NOVAS FORMAS DE MINERAÇÃO

Os rompimentos das barragens da Samarco em Mariana e da Vale em Brumadinho trouxeram para o centro das discussões a necessidade de se repensar o descarte de rejeitos e novas formas de mineração. Inclusive, diversas pesquisas sobre o assunto vem sendo feitas no Brasil há

algum tempo. Boa parte dessas pesquisas apresentam possibilidades de uso do rejeito da mineração na construção civil.

Um relatório técnico de 2016 elaborado pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), propõe utilizar rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para a engenharia civil, como infraestrutura para obras rodoviárias, concretos, argamassas, blocos de alvenaria e blocos de pavimentação. O rejeito de mineração bruto foi caracterizado física, mecânica e quimicamente, e, analisado conforme seu impacto ambiental. Os resultados da caracterização foram comparados com propriedades de elementos naturais comumente utilizados e prescrições normativas. Por fim, avaliou-se a viabilidade da utilização destes materiais na construção de infraestrutura para pavimentação urbana ou rodoviária; produção de matrizes cimentícias como concretos e argamassas, e fabricação de elementos pré-moldados de concreto como blocos de alvenaria e pavimentação. Como resultado, o rejeito de barragem de minério de ferro se mostrou técnica, econômica e ambientalmente viável para os propósitos estudados (BATISTA *et al*, 2016).

Silveira (2015), em estudo realizado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), apresenta dados sobre o processo de separação do minério de ferro para a produção da areia industrial e um estudo de caso com a utilização desta areia como insumo para pré-moldados de concreto. O trabalho concluiu que a reutilização desses resíduos é primordial para a minimização de impactos ambientais, seja pela redução do volume dos rejeitos e conseqüentemente das áreas de deposição, bem como pela geração de novos materiais e dedução de custos.

Um outro projeto também de Minas Gerais, desenvolvido há três anos na Universidade Federal de Lavras (UFLA) aposta no uso dos resíduos de mineração como matéria prima na fabricação de telhas, tijolos e outros materiais de construção. Após a criação do protótipo, em 2017, os pesquisadores conseguiram melhorar a qualidade e agora já produzem os materiais em escala industrial (RODRIGUES, F., 2019)

Embora a barragem de rejeitos continue sendo utilizada no processo de mineração, ela não é a única escolha disponível. Uma das possibilidades é o empilhamento do rejeito à seco através do uso de tecnologias como o filtro prensa, que em alguns equipamentos, consegue o reaproveitamento de até 95% da água. O tratamento do rejeito muitas vezes era dispensado porque considerava-se o custo de implantação alto, mas, com o histórico de desastres, já pode

considerar que essa é uma boa opção. Em caso extremo de uma tragédia, o valor fica incalculável e incomparável a favor do empilhamento a seco. Esse sistema pode ser uma das alternativas para a disposição do material, principalmente se tratamento de Minério de Ferro. Toda gama de rejeitos provenientes da mineração de ferro possui solução para filtração, onde a água é reutilizada no processo e o material compactado será destinado a empilhamento a seco, eliminando desta forma o sistema de barragem. Também existem soluções muito similares para mineradoras que exploram minerais como zinco, cobre, chumbo, prata, alumínio, grafite e caulim (EMPILHAMENTO..., 2019).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança de barragens é fundamental para se evitar acidentes graves capazes de trazer problemas ambientais, sociais e econômicos. Alcançar, de fato, melhorias neste cenário depende de diversos fatores. As autoridades legais e a agência fiscalizadora têm o papel de fazer cumprir as regras estabelecidas pela legislação e penalizar aqueles que não as cumprem. O corpo técnico da obra deve utilizar de conhecimento e tecnologias disponíveis desde a concepção da ideia, passando pelo projeto e chegando à construção e operação da barragem, ou seja, é importante realizar um bom monitoramento da obra, seguir orientações de normas e leis (OLIVEIRA; ALMEIDA 2019).

Cabe à engenharia buscar constantemente por barragens cada vez mais seguras e até por técnicas capazes de dispensar o uso de barragem, como o empilhamento de rejeito à seco. A utilização de rejeitos da mineração na construção civil também é uma alternativa que pode trazer importantes melhorias, inclusive para o meio ambiente.

No que tange especificamente a legislação, pode-se observar que, de fato, esta apresentou importantes avanços nos últimos anos: a partir da lei 12.334 de 2010 se deram muitas conquistas, através de outras leis, alteração de normas e novas resoluções. Contudo, é preciso reconhecer que também há retrocessos e falhas. Um problema grave que se pode apontar é a demora que ocorreu, em Minas Gerais, para transformar a proposta de lei 3676 de 2016 em lei. Foi necessário um desastre de proporções ainda mais trágicas (Brumadinho em 2019) para que a lei fosse assinada.

Outro problema associado à legislação é a ineficiência dos órgãos fiscalizadores. Estes, muitas vezes, não conseguem fazer cumprir os termos estabelecidos pela lei. No caso do “acidente” de Mariana, por exemplo, o Tribunal de Contas da União afirmou que o processo de fiscalização das barragens a cargo do DNPM, é frágil, deficiente e carente de uma coordenação adequada, não atendendo aos objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (MARTELLO, 2016).

Além da fiscalização, a questão política tem se mostrado pertinente nas falhas do Estado. O avanço de propostas esbarra na pressão e no poder exercidos pela indústria da mineração sobre políticos e órgãos públicos para garantir que os interesses das empresas do setor prevaleçam sobre a proteção ao meio ambiente e os direitos das populações locais (SAMPAIO, 2019).

Nas eleições de 2014, quando ainda eram permitidas doações de empresas a políticos, a Vale, suas mineradoras e empresas subsidiárias, por meio de doações oficiais e legalizadas, doaram a soma de R\$ 82,2 milhões a deputados, senadores, governadores e aos três candidatos mais votados à presidência, segundo levantamento do Estadão Dados. Dessa forma, a Vale figurou entre os maiores protagonistas de financiamento de campanha naquele ano (DOAÇÕES..., 2019).

Mais de 100 deputados estaduais e federais eleitos por Minas Gerais (78,4% do total) receberam recursos de mineradoras para suas campanhas em 2014 (MATEUS, 2019). Dos 22 deputados estaduais que fazem parte da Comissão Extraordinária de Barragens da Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG), apenas três não receberam dinheiro de mineradoras em suas campanhas nas eleições de 2014. A comissão foi criada para acompanhar as consequências do rompimento da barragem de Fundão em Mariana (PIMENTEL, 2015).

O secretário de Meio Ambiente de Minas, Sávio Souza Cruz, responsável durante o Governo Pimentel (2015-2018) pela pasta que autoriza a operação das mineradoras, renova as licenças e tem a função de multar empresas, foi contemplado com R\$ 270,8 mil destas corporações na campanha para deputado estadual no ano de 2014. A Vale, controladora de 50% da Samarco, doou diretamente ou via comitê nacional R\$ 1,5 milhão ao governador de Minas, Fernando Pimentel (MENEZES, 2015).

Em março de 2015, uma funcionária pública do órgão que fiscaliza barragens em Minas Gerais tirou uma licença de dois anos para “tratar de interesses pessoais”. Vinte dias depois, ela assinou um documento, entregue ao Ibama, como gerente de licenciamento da mineradora Anglo American, no processo de aprovação da ampliação de uma barragem de rejeitos quatro vezes maior do que a que rompeu em Mariana, causando o maior desastre ambiental do país (MACIEL, 2018).

Todas as questões citadas anteriormente colocam sob suspeita o comprometimento da política com os interesses da população. A forte ligação da indústria da mineração com diversos políticos é motivo suficiente para pensar que a política pode colocar os interesses da mineração acima de interesses da sociedade.

Legislação, política, engenharia, indústrias, precisam, em conjunto, repensar o modelo de mineração no Brasil, só assim as barragens serão mais seguras e a longo prazo poderão ser

menos utilizadas. Gudynas (2012) fala da necessidade de se abandonar o modelo do extrativismo depredador, no qual se encontram muitos países latino-americanos, buscando construir um extrativismo sensato para, então, alcançar o extrativismo indispensável. Este seria um extrativismo preocupado com um uso mais racional dos recursos naturais e voltado para reduzir a pobreza e atender às necessidades da população em uma escala mais regional do que global.

Entretanto, a recente ascensão de governos de extrema-direita em diversos países (inclusive no Brasil) vai na contramão de um modelo extrativista mais adequado. Governos capazes de desvalorizar fortemente as lutas por causas sociais e ambientais afastam do presente a implementação de um modelo extrativista preocupado com os impactos da mineração. Como exemplo, pode-se citar a condenação do atual ministro do Meio Ambiente, Ricardo Salles, por improbidade administrativa. O Ministério Público o acusou de fraude na elaboração do plano de manejo da Área de Proteção em 2017. A ação diz que a atuação dele no caso beneficiou empresas de mineração e filiadas à Fiesp, por meio da modificação de mapas elaborados pela USP e alteração da minuta do decreto do plano de manejo (TAJRA; MONTESANTI, 2018).

Posto tantos pontos, é importante entender a importância de diversos fatores na segurança de barragens de rejeito: legislação, fiscalização, política e engenharia. A legislação tem falhado de forma sistemática, muito em razão da forte influência da indústria da mineração sobre a política; a fiscalização se mostra muito pouco eficiente e por fim, a engenharia tem falhado ao não fazer o que sabe; não usar sua capacidade técnica da melhor forma.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por se tratar de um assunto multidisciplinar e em constante mudança, é possível sugerir diversos trabalhos futuros. No que tange a geotecnia, sobretudo no desastre do vale de 2019, ainda há muito o que pesquisar para esclarecer de forma profunda as causas do rompimento. Nesse sentido, a contribuição de trabalhos experimentais pode ser muito relevante.

Ainda dentro da geotecnia, pode-se estudar detalhadamente o descomissionamento das barragens, assunto muito pouco discutido até o momento. Visto que projetos apresentados até o momento se voltam fortemente para descomissionamento, é fundamental que a engenharia esteja preparada para auxiliar neste processo e possibilitar que seja altamente seguro.

Em relação às questões ambientais, muita coisa já vem sendo feita. Todavia, os impactos dos rejeitos serão sentidos por muito tempo, fato que mostra a necessidade de continuar estudando problemas ambientais ligados aos rompimentos de barragens.

Aspectos de legislação e política podem ser trabalhados detalhadamente pelas ciências humanas. Por se tratar de um assunto que sofre alterações constantemente, é importante ter sempre trabalhos atuais nesta área. Ainda dentro das ciências humanas, é importante estudar as populações que vivem a jusante de grandes barragens. Compreender características sociais e economias dessas populações pode ser determinante para explicar o descaso do poder público e das empresas diante dos desastres ocorridos.

REFERÊNCIAS

ABMS APRESENTA À ANM SEIS PROPOSTAS PARA O DESCOMISSIONAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITOS. 2019. **ABMS**, 5 abr. 2019. Disponível em: < <https://www.abms.com.br/abms-apresenta-a-anm-seis-propostas-para-o-descomissionamento-de-barragens-de-rejeitos/> >. Acesso em: 4 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. **Relatório de Segurança de Barragens de 2014**. Brasília, 2015, 155 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. **Relatório de segurança de barragem de 2016**. Brasília, 2017, 229 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. AMN. **Resolução Nº 4, De 15 de Fevereiro de 2019**. Brasília, 2019.

ÁGUA do Rio Paraopeba está contaminada e apresenta riscos à saúde. **FNU**, 31 jan. 2019. Disponível em: < <http://www.fnucut.org.br/agua-do-rio-paraopeba-esta-contaminada-e-apresenta-riscos-saude/> >. Acesso em: 30 mai. 2019.

ALBUQUERQUE FILHO, L. H. **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2004, 192 p.

ALVARENGA, D. Veja onde estão e saiba mais sobre as 10 barragens que a Vale promete eliminar. **G1**, 5 fev. 2019. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/02/05/veja-onde-estao-e-saiba-mais-sobre-as-10-barragens-que-a-vale-promete-eliminar.ghtml> >. Acesso em: 4 jun. 2019.

ALVARENGA, D; CAVALINI, M. Entenda como funciona a barragem da Vale que se rompeu em Brumadinho. **G1**, 28 jan. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/entenda-como-funciona-a-barragem-da-vale-que-se-rompeu-em-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 4 jun. 2019.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de ferro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UF RJ, Rio de Janeiro, 2006, 136 p.

ASSIS, A; ESPÓSITO, T. Construção de barragens de rejeitos sob uma visão geotécnica. In: Simpósio Sobre Barragens De Rejeitos E Disposição De Resíduos - REGEO, 3, 1995, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, 1995, p. 259-273.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro, 2009, 39 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração. Rio de Janeiro, 1993, 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Rio de Janeiro, 2006, 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017, 16 p.

AZAM, S; LI, Q. Tailing dam failures: a review of the last one hundred years. **Geotechnical News**, v. 28, n. 4, 2010, p 50-53.

BATISTA, J. O. S. COSTA, E. C. P. SANTOS, D. H. SANT'ANA FILHO, J. N. BASTOS, L. A. C. FONTES, W. C. MENDES, J. C. Peixoto, R. F. **Utilização de Rejeito de Barragem de Minério de Ferro na Construção Civil**. Relatório técnico, Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2016, 56p.

BELLEZZIA, V. C. Segurança de barragens pelo mundo: como outros países lidam com o desafio. **Dom Total**. 9 fev. 2017. Disponível em: < <https://domtotal.com/noticia/1124343/2017/02/seguranca-de-barragens-pelo-mundo-como-outros-paises-lidam-com-o-desafio/>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

BERTONI, E.; MARQUES, J. Vale adulterou dados sobre lama em barragem após tragédia, diz PF. 2016a. **Folha de S. Paulo UOL**, São Paulo, 31 mai. 2016. Disponível em: < <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/05/1776525-vale-adulterou-dados-sobre-lama-em-barragem-apos-tragedia-diz-pf.shtml>>. Acesso em: 31 mai. 2019.

BERTONI, E.; MARQUES, J. Qualquer engenheiro faria cálculos que fiz em Mariana (MG), diz indiciado. 2016b. **Folha de S. Paulo UOL**, São Paulo, 18 mar. 2016. Disponível em: <<https://m.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/03/1751384-qualquer-engenheiro-faria-calculos-que-fiz-em-mariana-mg-diz-indiciado.shtml>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

BRASIL. Lei 12334, de 20 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 21 set. 2010. p. 1.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICO. **CNRH**. Resolução no 143, de 10 de julho de 2012. Brasília, DF, 2012a.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICO. **CNRH**. Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012. Conselho Nacional De Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2012b.

BRASIL. **Proposta de Emenda à Constituição nº 65, de 2012**. Brasília, 2012c.

BRESSER-PEREIRA, L. C. A taxa de câmbio no centro da teoria do desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 75, 2012, p. 7-28.

BRUMADINHO: O que se sabe sobre o rompimento de barragem que matou ao menos 115 pessoas em MG. **BBC**, 29 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47002609>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

CÂMARA, L.; OLIVEIRA, N. Tomada por lama, barragem de Santarém atinge risco máximo. **O Tempo**, 17 nov. 2015. Disponível em:< <https://www.otempo.com.br/cidades/tomada-por->

lama-barragem-de-santar%C3%A9m-atinge-risco-m%C3%A1ximo-1.1170856 >. Acesso em: 19 mai. 2019.

CANTINI, F; MARTINEZ, C. Entenda o que é a liquefação, fenômeno que pode levar barragens ao colapso. **G1**, 7 fev. 2019. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/07/entenda-o-que-e-a-liquefacao-fenomeno-que-pode-levar-barragens-ao-colapso.ghml> >. Acesso em: 6 mar. 2019.

CARDIA, R. R; KUPERMANN, S. C. **Curso segurança de barragens, Modulo II**. Universidade Estadual de São Paulo, Unesp, São Paulo, 201?, 110p.

CARVALHO, M. S.; RIBEIRO, K. D.; MOREIRA, R. M.; DE ALMEIDA, A. M. 2017. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 37-41.

CHILE proíbe o modelo de barragem de Mariana e Brumadinho desde os anos 1970. **Época Negócios**, 3 fev. 2019. Disponível em < <https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/02/chile-proibe-o-modelo-de-barragem-de-mariana-e-brumadinho-desde-os-anos-1970.html>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

COMITÊ NACIONAL EM DEFESA DOS TERRITÓRIOS FRENTE À MINERAÇÃO. **CNDTM**. 7 eixos da sociedade civil para o novo Código da Mineração. Brasília, 2013.

COMPLEXO de barragem rompida foi ampliado em dezembro com aprovação 'express'. **Folha De São Paulo**, 25 jan. 2019. Disponível em: < <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/01/barragem-rompida-da-vale-faz-parte-de-complexo-que-ampliou-atividades-no-fim-de-2018.shtml>>. Acesso em: 2 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **DNPM**. Maiores Arrecadadores CFEM. 2015. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/cfem/maiores_arrecadadores.aspx>. Acesso em: 02 fev. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **DNPM**. Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017. Brasília, DF, 2017.

DOAÇÕES da Vale a políticos somaram R\$ 82 milhões em 2014. **EM.COM. BR**, Belo Horizonte, 1 fev. 2019. Disponível em < https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/02/01/interna_gerais,1026872/doacoes-da-vale-a-politicos-somaram-r-82-milhoes-em-2014.shtml> Acesso em: 2 mai. 2019.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de minas gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2008, 114 p.

DUNNICLIFF, J. (1988) Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Duniclif with the assistance of Gordon E. Green, Wiley-Interscience Publ., 577 p.

EMPILHAMENTO de rejeito à seco: alternativa à disposição em barragens. **Instituto Minere**, 10 mar. 2019. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/empilhamento-de-rejeito-a-seco-alternativa-a-disposicao-em-barragens>>. Acesso em 6 jun. 2019.

ESPÓSITO, T.J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construída por aterro hidráulico**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2000, 363 p.

FONSECA, A. R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2003, 158p.

FREI NETO, J. P. **Estudo da liquefação estática em rejeitos e aplicação de metodologia de análise de estabilidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2009, 154p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. FEAM. **Lista de Barragens 2013**. In: **lista de barragens_2013.xls (Ed.)**. 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. FEAM. **Inventário de Barragem do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2014a.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. FEAM. **Lista de Barragens 2014**. In: **lista de barragens_2014_publicao.xls (Ed.)**. 2014b.

GOODARZI, E; SHUI, L. T; ZIAEI, M; Haghizadeh; A. Estimating Probability of Failure Due to Internal Erosion with Event Tree Analysis. *EJGE*, v. 15, p. 936-947

GONÇALVES, E. Barragem de Brumadinho foi ampliada sem licença. **Revista Veja**, 31 mai. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/entenda-como-funciona-a-barragem-da-vale-que-se-rompeu-em-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 6 jun. 2019

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

GUDYNAS, E. Diez tesis urgentes sobre el nuevo extractivismo. In: **Extractivismo, política y sociedad**. Quito: Centro Andino de Acción Popular; Centro Latino Americano de Ecología Social, 2009. p. 187-225.

GUDYNAS E. **Hay alternativas al extractivismo: transiciones para salir del viejo desarrollo**. Lima: Centro Peruano de Estudios Sociales, 2012, 44 p.

IMPACTO ambiental da tragédia de Brumadinho 'será sentido por anos', diz Fundo Mundial para a Natureza. **G1**, 30 jan. 2019d. Disponível em: < <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/01/30/impacto-ambiental-da-tragedia-de-brumadinho-sera-sentido-por-anos-diz-fundo-mundial-para-a-natureza.html> >. Acesso em: 1 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. IBRAM. **Gestão e manejo de rejeitos de mineração**. 2016, 127 p. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf> >. Acesso em: 20 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. IBAMA. **Laudo técnico preliminar**. 2015, 10 p.

INSTITUTO PRISTINO. **Laudo Técnico em resposta ao Parecer Único N° 257/2013**. Belo Horizonte, 2013, 7 p.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE. ITC. **Trade Map: trade statistics for international business development**. 2015.

ISHIHARA K. Undrained Deformation and Liquefaction of Sand under Cyclic Stress. Soil and Foundation, 1977.

JASEN, R. Brumadinho: PF diz investigar duas causas para rompimento de barragem. 2019. NOTÍCIAS UOL, 7 fev. 2019. Disponível em: < <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2019/02/07/brumadinho-acumulo-anormal-de-agua-e-falha-em-drenagem-sao-investigadas-pela-pf.htm>. > Acesso em: 4 jun. 2019.

LAUDO de segurança de barragem em Brumadinho apontou erosão e problemas de drenagem. **O Globo**, 5 fev. 2019. Disponível em:< <https://oglobo.globo.com/brasil/laudo-de-seguranca-de-barragem-em-brumadinho-apontou-erosao-problemas-de-drenagem-23429183>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

LEGISLAÇÃO vigente sobre barragens de rejeito. **Lei.a**, 30 nov. 2017. Disponível em: < <http://blog.leia.org.br/entenda-a-legislacao-vigente-sobre-barragens-de-rejeito> >. Acesso em: 2 nov. 2018

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, 2016, p. 1-14.

MACHADO, W. G. L. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2007, 155 p.

MACHADO, V; BONELLA, M. Três anos depois, situação do Rio Doce é incerta e Samarco tem previsão de volta só em 2020. **G1**, 5 nov. 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2018/11/05/tres-anos-depois-situacao-do-rio-doce-e-incerta-e-samarco-tem-previsao-de-volta-so-em-2020.ghtml> >. Acesso em: 5 mai. 2019

MACIEL, A. Subsecretária de órgão ambiental pede licença e ajuda mineradora a aprovar barragem maior que Mariana. 2018. **Ambiente Brasil**, 2 fev. 2018. Disponível em: <https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/02/02/141635-subsecretaria-de-orgao-ambiental-pe-de-licenca-e-ajuda-mineradora-a-aprovar-barragem-maior-que-mariana.html> . Acesso em: 2 mai. 2019.

MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A.; BAN, N. C. 2019. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 659, p. 828-840.

MARANGON, M. Barragens de terra e enrocamento. In: MARANGON, M. **Geotecnia de fundações e obras de terra**. Juiz de Fora: UFJF, 2018. p.1-28.

MARTELLO, A. Fiscalização de barragens foi 'frágil e deficiente', avalia TCU sobre Mariana. **G1**, 21 set. 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/09/fiscalizacao-de-barragens-foi-fragil-e-deficiente-avalia-tcu-sobre-mariana.html> >. Acesso em: 5 mar. 2019.

MATEUS, B. Mineradoras bancaram 102 deputados eleitos por Minas Gerais em 2014. **O Tempo**, 31 jan. 2019. Disponível em: < [https:// www.otempo.com.br/pol%C3%ADtica/mineradoras-bancaram-102-deputados-eleitos-por-minas-gerais-em-2014-1.2129410](https://www.otempo.com.br/pol%C3%ADtica/mineradoras-bancaram-102-deputados-eleitos-por-minas-gerais-em-2014-1.2129410)> Acesso em: 2 mai. 2019.

MENDONÇA, M. B. de, 2012, “Notas de aula da disciplina Obras de Terra”. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro.

MENEZES, E. Deputados que vão investigar barragem receberam R\$ 1,5 milhão de doações de mineradoras. **R7**, 13 nov. 2015. Disponível em: < <https://noticias.r7.com/minas-gerais/deputados-que-vaio-investigar-barragem-receberam-r-15-milhao-de-doacoes-de-mineradoras-13112015>> Acesso em: 2 mai. 2019. 2015.

MILANEZ, B; LOSEKANN, C. Considerações finais: desafios para o Rio Doce e para o debate sobre o modelo mineral brasileiro. In MILANEZ, B; LOZEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce**. 1. ed. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016. 401-425.

MILENA, L. Minas Gerais aprova lei de segurança de barragens. **Jornal GGN**, 24 fev. 2019. Disponível em: <<https://jornalggm.com.br/defesa-civil/minas-gerais-aprova-lei-de-seguranca-de-barragens/>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MINAS GERAIS. **LEI Nº 21.972, DE 21 DE JANEIRO DE 2016**. BELO HORIZONTE, 2019.

MOVIMENTO DOS TRABALHADORES SEM TETO. **MTST**. No Senado, comissão aprova PEC que derruba licenciamento ambiental. 3 mar. 2018. Disponível em: < <https://mtst.org/noticias/no-senado-comissao-aprova-pec-que-derruba-licenciamento-ambiental/>>. Acesso em 3 jun. 2019.

NOGUEIRA JUNIOR, J. **Possibilidade de colmatarão química dos filtros e drenos da Barragem de Porto Primavera (SP) por compostos de ferro**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Paulo, 1988, 229 p.

O G1 viajou ao longo do Rio Doce ouvindo relatos de pessoas afetadas pela queda da barragem de Mariana; veja as histórias delas. **G1**, 10 dez. 2015. Disponível em: < <http://especiais.g1.globo.com/minas-gerais/2015/desastre-ambiental-em-mariana/a-vida-apos-a-lama/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

OITO funcionários da Vale são presos em investigação sobre rompimento da barragem de Brumadinho. **G1**, 15 fev. 2019e. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/15/funcionarios-da-vale-sao-presos-em-operacao-em-3-estados.ghtml>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

OLIVEIRA, N. Minas já sofreu com outros rompimentos de barragem. 5 nov. 2015. **O tempo**. Disponível em: < <https://www.otempo.com.br/cidades/minas-j%C3%A1-sofreu-com-outros-rompimentos-de-barragens-1.1159501>>. Acesso em: 6 out. 2018.

OLIVEIRA, Y. R; ALMEIDA, J. R. Segurança de barragem de rejeitos: uma análise da legislação brasileira. In: Congresso de Engenharia Civil, 6, 2019. Juiz de Fora. **Anais eletrônicos...** CONENGE, Juiz de Fora, 2019. 15p.

PEREIRA, L. F; CRUZ, G, B; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4 n. 2 ,2019, p.122-129.

PESQUISA da UERJ conclui que lama de rejeitos da barragem que rompeu em Mariana, em 2015, afetou Parque de Abrolhos. **G1**, 21 fev. 2019a. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2019/02/21/pesquisa-da-uerj-conclui-que-lama-de-rejeitos-da-barragem-que-rompeu-em-mariana-em-2015-afetou-abrolhos.ghtml>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

PF conclui inquérito da tragédia de Mariana e indícia 8 pessoas. **O Globo Online Minas Gerais**, 9 jun. 2016. Disponível em:< <http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/06/pf-conclui-inquerito-da-tragedia-de-mariana-e-indicia-8-pessoas.html> > . Acesso em: 11 mai. 2019.

PIASENTIN, C. **Curso segurança de barragens, Modulo I**. Universidade Estadual de São Paulo, Unesp, São Paulo, 201?, 31 p.

PIMENTEL, T. Mineradoras pagaram de R\$ 7 a R\$ 560 mil a deputados de comissão. **G1**, 27 nov. 2015. Disponível em <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/mineradoras-pagaram-de-r-7-r-560-mil-deputados-de-comissao.html>> Acesso em: 2 mai. 2019.

PIMENTEL. T. Brumadinho: após quatro meses, investigados estão soltos, multa do Ibama não foi paga e apurações ainda continuam. **G1**, 26 mai. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/05/26/brumadinho-apos-quatro-meses-investigados-estao-soltos-multa-do-ibama-nao-foi-paga-e-apuracoes-ainda-continuam.ghtml>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

POLÍCIA CIVIL DE MINAS GERAIS. Polícia civil conclui primeiro inquérito do rompimento de barragem. **G1**, 22 fev. 2016.

POUSADA em Brumadinho foi destruída com 35 pessoas no local. **O Tempo**, 28 jan. 2019. Disponível em: < <https://www.otempo.com.br/cidades/pousada-em-brumadinho-foi-destru%C3%ADda-com-35-pessoas-no-local-1.2127989> >. Acesso em: 30 mai. 2019.

QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; ALMEIDA, L. S.; ROMERO, T. B.; SANTAELLA, S. T.; BERNARDINO, F. A.; OTERO, X. L. 2018. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Science of the Total Environment**, n. 637, p. 498-506.

RAFAEL, H. M. A. M. **Análise do potencial de liquefação de uma barragem de rejeito**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012, 103 p.

RODRIGUES, A. Sancionada lei que torna regras para barragens mais rígidas em MG. **Agência Brasil**, 25 fev. 2019a. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-02/sancionada-lei-que-torna-regras-para-barragens-mais-rigid-as-em-mg>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

RODRIGUES, F. Pesquisa em MG aposta em produção de telhas com resíduos de mineração. 2019b. 31 jan. **G1**. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2019/01/>

31/pesquisa-em-mg-aposta-em-producao-de-telhas-com-residuos-de-mineracao.ghtml>. Acesso em: 4 jun. 2019

RONAN, G. Vale começa a pagar indenizações pela tragédia com barragem em Brumadinho. **Em.com.br**, 16 mar. 2019. Disponível em: < https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/03/16/interna_gerais,1038549/vale-comeca-a-pagar-indenizacoes-pela-tragedia-em-brumadinho.shtml >. Acesso em: 6 jun. 2019

SAMARCO MINERAÇÃO. Relatório Anual de Sustentabilidade 2012. Belo Horizonte, 2013, 96p.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2013**. Belo Horizonte, 2014a, 57p.

SAMARCO MINERAÇÃO. **Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras**. Belo Horizonte, 2014b, 93p.

SAMARCO MINERAÇÃO. Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras 2014. Belo Horizonte, 2015, 93p.

SAMPAIO, C. Como o lobby de mineradoras trava projetos de interesse público sobre barragens. **Brasil de Fato**, 28 jan. 2019. Disponível em: < <https://www.brasilefato.com.br/2019/01/28/como-o-lobby-e-mineradoras-trava-projetos-de-interesse-publico-sobre-barragens/> >. Acesso em: 2 mai. 2019.

SANTOS, V. S. "Rompimento da barragem em Brumadinho". 2019. **Brasil Escola**. Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/rompimento-barragem-brumadinho.htm> >. Acesso em: 4 jun. 2019.

SARAIVA, L. A. S.; COIMBRA, K. E. R.; FERREIRA, J. A. Relações de Trabalho em Empresas Terceirizadas sob a Ótica dos Trabalhadores: Um Estudo Multicasos no Setor de Mineração de Minas Gerais. **Revista gestão organizacional**, v. 5, n.2, 2012, p 135-148.

SILVA, A. R. L. **Avaliação do potencial de liquefação em barragens de rejeito através de ensaios de campo**. Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016, 51 p.

SILVA, A. C.; CAVALCANTE, L. C. D.; FABRIS, J. D.; FRANCO JÚNIOR, R.; BARRAL, U. M.; DE MELO FARNEZI, M. M.; VIANA, A. J. S.; ARDISSON, J. D.; FERNANDEZ-OUTON, L. E.; LARA, L. R. S.; STUMPF, H. O.; BARBOSA, J. B. S.; SILVA, L. C. 2017. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 5, n. 2, p. 44-53.

SILVEIRA, M. D. **Utilização de resíduos de mineração na construção civil**. Monografia. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015, 29 p.

SOUZA, M. M. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC**. Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013, 129 p.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. SUPRAM-CM. **Parecer Único SUPRAM-CM N° 137/2009. Processo N° 00015/1984/069/2009.** Belo Horizonte , 2009.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. SUPRAM-ZM. **Parecer Único SUPRAM-ZM. Processo N° 00015/1984/066/2008.** Juiz de Fora, 2008.

TAJRA, A; MONTESANTI, B. Futuro ministro, Ricardo Salles é condenado em ação de improbidade. **UOL**, 28 dez. 2018. Disponível em <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/12/19/futuro-ministro-ricardo-salles-e-condenado-em-acao-de-improbidade.htm>> Acesso em: 2 mai. 2019.

TAKAR, T. Barragem brasileira é pior? Problema é fiscalização, punição e lucro alto. **UOL**. 31 jan. 2019

TONUSSI, A. P. **Estudo de ruptura de barragem por piping.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade do sul de Santa Catarina, UNISUL, Florianópolis, 2017. 64p.

TRAGÉDIA em Brumadinho: o caminho da lama. **G1**, 27 jan. 2019b. Disponível em:< <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/27/tragedia-em-brumadinho-o-caminho-da-lama.ghtml> >. Acesso em: 15 jun. 2019.

TRENTINI, M.; PAIM, L. **Pesquisa em Enfermagem.** Uma modalidade convergente-assistencial. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

TUCCI, C. E. M. Descomissionamento de barragens. 2012. **Rhama.** Disponível em: < <http://rhama.com.br/blog/index.php/aguas-urbanas/descomissionamento-de-barragens/>>. Acesso em: 4 jun. 2019.

TUDO indica que barragem se rompeu por liquefação diz autoridade de Minas Gerais. **G1**, 1 fev, 2019c. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/01/tudo-indica-que-barragem-se-rompeu-por-liquefacao-diz-autoridade-de-minas-gerais.ghtml>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

VALE, J. H. Mais uma vítima de Brumadinho é identificada; mortos chegam a 245. Estado de Minas. **Em.com.br**, 29 mai. 2019. Disponível em: < https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/05/29/interna_gerais,1057695/mais-uma-vitima-de-brumadinho-e-identificada-mortos-chegam-a-245.shtml .> Acesso em: 4 jun. 2019.

VALE. **Auditoria Técnica de Segurança de Barragens.** 2018. 128 p.

VEJA como era o pacato distrito de Bento Rodrigues antes da tragédia. **R7**, 10 nov. 2015. Disponível em <<https://noticias.r7.com/minas-gerais/fotos/veja-como-era-o-pacato-distrito-de-bento-rodrigues-antes-da-tragedia-11112015#!/foto/1>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VERGARA, J. E. **Aplicabilidade dos rejeitos de mineração de ferro para utilização em filtros de barragens.** Dissertação de mestrado em geotecnia da Universidade De Brasília, UNB, Brasília, 2012. 112 p.

WANDERLEY, L. J; MANSUR, M. S; PINTO, R. G. Avaliação dos antecedentes econômicos, sociais e institucionais do rompimento da barragem de rejeito da Samarco/ Vale/BHP em Mariana (MG). In MILANEZ, B; LOZEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce**. 1. ed. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016. 23-87.

WERNECK, G. Samarco contratou plano de emergência contra desastres, mas nunca pôs em prática. **Em.com.br.**, Belo Horizonte, 24 nov. 2015. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/11/24/interna_gerais,710870/samarco-contratou-plano-de-emergencia-para-desastre-mas-nunca-pos-em.shtml> . Acesso em: 12 fev. 2019.