ANA BEATRIZ GERALDI LEITE
ANA PAULA FERREIRA
BEATRIZ HAYASHI PIMENTA
FERNANDA CARDOSO STAUDOHAR

INSTRUMENTOS PARA ATENUAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E PREVENÇÃO DE RUPTURA DE BARRAGENS DE REJEITO

SÃO CAETANO DO SUL
2017

ANA BEATRIZ GERALDI LEITE
ANA PAULA FERREIRA
BEATRIZ HAYASHI PIMENTA
FERNANDA CARDOSO STAUDOHAR

INSTRUMENTOS PARA ATENUAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E PREVENÇÃO DE RUPTURA DE BARRAGENS DE REJEITO

Trabalho de Graduação apresentado à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Civil.
Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Me. Carlos Alberto de Moya Figueira Netto

SÃO CAETANO DO SUL
2017

I47 Instrumentos para atenuação de impactos ambientais e prevenção de ruptura de barragens de rejeito / Ana Beatriz Geraldi Leite...[et al.] – São Caetano do Sul: CEUN-EEM, 2017.
119 f.

Trabalho de Graduação - Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2017.

Orientador: Prof. Me. Carlos Alberto de Moya Figueira Netto

1. Barragem de rejeito 2. Ruptura 3. Impactos ambientais 4. Barragem de fundão 5. Gestão I. Leite, Ana Beatriz Geraldi. II. Ferreira, Ana Paula. III. Pimenta, Beatriz Hayashi. IV. Staudohar, Fernanda Cardoso. V. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. VI. Título.

CDU 624

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho em especial a todas as vítimas fatais e pessoas afetadas pelos desastres ocorridos com rompimentos de barragens no Brasil e suas famílias.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador Carlos Alberto de Moya Figueira Netto, pelas horas dedicadas às diversas reuniões e leituras seguidas de correções do texto escrito para o trabalho de conclusão de curso.

Agradecemos também o apoio, incentivo e amor de nossos familiares e amigos que sempre nos apoiaram nas horas pesquisando e compondo os textos, assim como na apresentação da Eureka nos ajudando com as montagens e preparações.

À Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia e seus colaboradores em geral, em especial seu corpo docente, que fizeram parte da nossa formação profissional, nosso muito obrigada.

E principalmente a Deus por nos permitir ter saúde e resistência para superar as dificuldades.

"O Rio? É doce.

A Vale? Amarga.

Ai, antes fosse

Mais leve a carga.

Entre estatais

E multinacionais,

Quantos ais!

A dívida interna.

A dívida externa

A dívida eterna.

Quantas toneladas exportamos

De ferro?

Quantas lágrimas disfarçamos

Sem berro?"

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

O presente trabalho apresenta, inicialmente, a definição de barragens, uma breve introdução a respeito da mineração no Brasil e como é feita a dissociação do minério, criando assim o rejeito. A seguir, são apresentados os métodos construtivos de uma barragem de rejeito, os tipos de ruptura, alguns rompimentos no Brasil e no mundo e a legislação vigente. A partir do estudo dos impactos ambientais das rupturas mais recentes de barragens de rejeito de mineração ocorridas no Brasil, principalmente da Barragem de Fundão em 2015, foram analisados instrumentos de gestão visando à prevenção de futuros rompimentos ou atenuação de impactos ambientais significativos. Para isso são comparadas as antigas Portarias que estavam vigentes quando houve o desastre de Mariana com a nova Portaria publicada em maio de 2017, assim como foi analisada a parte de fiscalização que ocorre nas barragens de responsabilidade do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Outro instrumento estudado foram as auditorias, ou seja, a inspeção detalhada de campo, para o qual foram sugeridas melhorias. O penúltimo instrumento é o uso de tecnologias que têm como objetivo retirar e reutilizar a água do rejeito. Ao final, é apresentada, de forma sucinta, uma solução de reciclagem para o rejeito de minério de ferro, que justifica o investimento no uso das tecnologias apresentadas. E apenas com o intuito de comparação, é relatada a gestão pós ruptura da Barragem de Fundão.

Palavras-chave: Barragem de Rejeito. Ruptura. Impactos Ambientais. Barragem de Fundão. Gestão.

ABSTRACT

The present work presents, initially, the definition of dams, a brief introduction regarding the mining sector in Brazil and how the dissociation of the ore is made, thus creating the tailings. The following are the construction methods of a tailing dam, types of rupture, some disruptions in Brazil and worldwide, and current legislation. Based on the assessment of the environmental impacts of the most recent ruptures of mining tailings dam occurred in Brazil, mainly the Fundão Dam in 2015, management instruments were analyzed aiming at the prevention of future disruptions or mitigation of significant environmental impacts. For that, the old Ordinances that were in force when the Mariana disaster with the new Ordinance published in May of 2017 were compared, as well as the inspection part that occurs in the dams under the responsibility of the National Department of Mineral Production (DNPM). Another instrument studied was the audits, that is, the detailed field inspection, for which improvements were suggested. The penultimate instrument is the use of technologies that aim to remove and reuse wastewater. At the end, a recycling solution for iron ore tailings, which justifies the investment in the use of the presented technologies, is briefly presented. And only for the purpose of comparison is, the post-rupture management of the Fundão Dam reported.

Keywords: Reject Dam. Break. Environmental impacts. Fundão dam. Management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 BARRAGEM DE PEDRA, JEQUIÉ, BA.....16

FIGURA 2 PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA.....17

FIGURA 3 PARTICIPAÇÃO MUNDIAL DO BRASIL NA PRODUÇÃO MINERAL.....18

FIGURA 4 PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS NO BRASIL.....19

FIGURA 5 LOCAIS DE MAIOR EXPLORAÇÃO MINERAL NO BRASIL.....20

FIGURA 6 BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO.....21

FIGURA 7 FLUXOGRAMA DA CIANETAÇÃO DO MINÉRIO DE OURO.....22

FIGURA 8 BARRAGEM DE REJEITO DE MINÉRIO DE BAUXITA-VOTORANTIM METAIS/CBA.....24

FIGURA 9 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE UMA BARRAGEM DE REJEITOS.....26

FIGURA 10 RUPTURA DE BARRAGEM POR PIPPING OU EROSÃO INTERNA.....28

FIGURA 11 RUPTURA DA BARRAGEM DE ORÓS NO CEARÁ POR GALGAMENTO,1960.....29

FIGURA 12 IMAGEM AÉREA DA ÁREA DEVASTADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FERNANDINHO.....32

FIGURA 13 DEVASTAÇÃO DE LAGOS EM CATAGUASES, FOTO TIRADA EM 2011, 8 ANOS APÓS ACIDENTE.....33

FIGURA 14 BRECHA NA BARRAGEM SÃO FRANCISCO.....34

FIGURA 15 LOCAL TOMADO POR LAMA EM HERCULANO.....35

FIGURA 16 ANTES E DEPOIS DA RUPTURA DA BARRAGEM.....36

FIGURA 17 ANTES E DEPOIS DA RUPTURA MOSTRA A DESTRUIÇÃO EM BENTO RODRIGUES.....37

FIGURA 18 ÁREA AFETADA PELOS REJEITOS NA DATA DE 12 DE NOVEMBRO DE 2015.....39

FIGURA 19 RIO DOCE NO MUNICÍPIO DE BAIXO GUANDU/ES.....39

FIGURA 20 DESTRUIÇÃO DA VEGETAÇÃO CILIAR.....41

FIGURA 21 A BARRAGEM ROMPIDA EM MARIANA.....42

FIGURA 22 GRÁFICO REFERENTE AO CADASTRO NACIONAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL.....50

FIGURA 23 GRÁFICO REFERENTE À CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS NO BRASIL.....50

FIGURA 24 DISTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS PELO TERRITÓRIO BRASILEIRO.....51

FIGURA 25 IMAGEM REFERENTE AO FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÃO.....56

FIGURA 26 ZAS, ZONA DE AUTOSSALVAMENTO.....57

FIGURA 27 DISTRIBUIÇÃO DAS BARRAGENS INSERIDAS NA PNSB.....65

FIGURA 28 ESTUDO DE CASO EM BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO, APLICAÇÃO RHEOMAX.....81

FIGURA 29 ANTES E DEPOIS DE 12 HORAS COM A APLICAÇÃO DO POLÍMERO RHEOMAX ® ETD.....81

FIGURA 30 REMOÇÃO DO REJEITO MAIS COESO POR MEIO DE ESCAVADEIRA.....82

FIGURA 31 SLUMP TEST COM ADIÇÃO DO POLÍMERO RHEOMAX ® ETD.....82

FIGURA 32 FILTRO PRENSA FUNCIONAMENTO VERTICAL.....84

FIGURA 33 FILTRO PRENSA FUNCIONAMENTO VERTICAL.....85

FIGURA 34 SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS DOS REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO.....86

FIGURA 35 BLOCOS DE CONCRETO FEITOS A PARTIR DA RECICLAGEM DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO (À ESQUERDA) AO LADO DE UM BLOCO CONVENCIONAL (À DIREITA).....87

FIGURA 36 CASA-PROTÓTIPO CONSTRUÍDA NA UFOP: USO DE AGREGADOS RETIRADOS DOS REJEITOS DE SIDERURGIA.....88

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 RUPTURAS DE BARRAGENS DE REJEITO NO MUNDO DESDE 1965.....29

QUADRO 2 RUPTURAS DE BARRAGENS DE REJEITO NO BRASIL.....31

QUADRO 3 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO.....48

QUADRO 4 BARRAGENS DE REJEITO COM ALTO RISCO E ALTO DANO POTENCIAL NO BRASIL.....51

QUADRO 5 COMPARAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DA PORTARIA DNPM Nº70.389/2017 E COM AS PORTARIAS DNPM Nº416/2012 E Nº526/2013.....59

QUADRO 6 CONDICIONANTES DE SEGURANÇA A SEREM AVALIADAS DURANTE PROCESSO DE AUDITORIA.....69

QUADRO 7 CONDICIONANTES DE SEGURANÇA A SEREM AVALIADAS DURANTE PROCESSO DE AUDITORIA.....77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVO 14

3 PESQUISA DE REFERÊNCIA 15

3.1 BARRAGENS 15

3.2 MINERAÇÃO NO BRASIL 16

3.2.1 Tipos de minério explorados no Brasil e sua economia 17

3.2.2 Dissociação do minério ao rejeito 20

3.2.3 Impactos dos reagentes de beneficiamentos na natureza 23

3.3 BARRAGENS DE REJEITO 23

3.3.1 Métodos construtivos 24

3.4 RUPTURAS DE BARRAGENS 26

3.4.1 Tipos de rupturas 27

3.4.2 Rupturas de barragem de rejeitos no mundo 29

3.4.3 Rupturas de barragem de rejeitos no Brasil 30

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE FUNDÃO 37

3.5.1 Barragem de Fundão, em Mariana/ MG 37

3.6. INSTITUIÇÕES RELACIONADAS A BARRAGENS 43

3.6.1 Instituições governamentais 43

3.6.2 Instituições não governamentais 45

3.7 LEGISLAÇÃO 46

3.7.1 Âmbito Federal 46

3.7.2 Âmbito Estadual 64

4 METODOLOGIA 67

5 DISCUSSÕES E RESULTADOS 68

5.1 GESTÃO PREVENTIVA 68

5.1.1 Legislação 68

5.1.2 Fiscalização 73

5.1.3 Auditorias 75

5.1.4 Tecnologias sem vasta aplicação 78

5.1.5 Reciclagem 85

5.2 GESTÃO PÓS RUPTURA 89

6 CONCLUSÕES 91

7 SUGESTÕES 94

8 RECOMENDAÇÕES 95

REFERÊNCIAS 96

ANEXOS 105

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o número de barragens rompidas recentemente é alarmante, principalmente no Estado de Minas Gerais, onde seis barragens se romperam em apenas quinze anos (ALVES, 2015). Dessas, cinco eram barragens de mineração, atividade de vasta exploração no estado.

A altura das barragens de rejeito aumenta ano a ano. Quanto maior a altura da barragem, maior o risco de ruptura e, consequentemente, por abrigar um maior volume de rejeitos, maior o dano resultante de um rompimento. A cada terço de século, o risco de ruptura de uma barragem aumenta vinte vezes (ROBERTSON, 2017).

A ruptura da barragem de Fundão, localizada em Mariana/MG, em 2015, considerada por especialistas a maior catástrofe ambiental do Brasil, teve grande repercussão junto à sociedade, trazendo a público o conhecimento de barragens de rejeito e seus riscos, assunto pouco conhecido fora da área de atuação gerando um questionamento pela população, governo e organizações sobre a forma como rejeitos vêm sendo dispostos, sua fiscalização e a legislação aplicada às barragens de mineração. Em meio a esse cenário, há uma tendência mundial de utilização de métodos de disposição de menor risco e uma crescente preocupação com a gestão de projeto, construção e operação das barragens, bem como uma revisão na legislação atual.

Infelizmente são esperadas 2 rupturas de grande relevância no mundo por ano, muitas vezes associadas a mortes e quase sempre a graves danos ambientais, econômicos e sociais. Dentro desse contexto, a adoção de elementos e processos para controle e mitigação de riscos envolvendo seus depósitos de rejeitos vai além de ser uma opção, passando a ser uma necessidade real para as empresas de mineração. (BITTAR, 2017).

A partir da análise dos danos ambientais causados por acidentes em barragens de mineração, foram estudados instrumentos de gestão que possam reduzir os riscos de ruptura em barragens ou minimizar impactos ambientais significativos caso o rompimento venha a ocorrer, visando conter a possível recorrência de cenários semelhantes.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é estudar as rupturas de barragens de rejeito de mineração ocorridas no Brasil e avaliar instrumentos de gestão, sendo eles: legislação, fiscalização, auditorias, uso de tecnologias e reciclagem do rejeito; visando à prevenção de futuros rompimentos ou atenuação de impactos ambientais significativos.

3 PESQUISA DE REFERÊNCIA

3.1 BARRAGENS

Barragem é qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (Artigo 2º da Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010).

Completando essa definição, barragens são barreiras artificiais construídas com a finalidade de retenção de líquidos, para fins de armazenamento ou controle, disposição temporária ou final de água, rejeitos, detritos ou acumulação de resíduos industriais. Podem variar em tamanho, desde pequenos maciços de terra a enormes estruturas de concreto, enrocamento ou de terra.

As barragens surgiram em decorrência da necessidade da população de coletar e estocar a água, quando abundante, para depois usá-la em épocas de seca, formando estoques de água indispensáveis ao sustento de cidades e de fazendas, para a irrigação e para a produção de alimentos. Elas servem à população mundial como fonte confiável de abastecimento há mais de 5 mil anos, segundo o Comitê Nacional de Grandes Barragens (CBDB, 2011), órgão ligado ao ICOLD (International Commission on Large Dams).

Segundo o CBDB (2011), a barragem é definida como grande quando possui altura de 15 metros ou mais (independentemente do volume de água armazenável em seu reservatório) ou altura entre 10 e 15 metros, desde que tenha capacidade de armazenar mais de 3 milhões de metros cúbicos de água em seu reservatório. De acordo com esse critério, a altura de uma barragem é determinada pela diferença entre a elevação de sua crista e o ponto mais baixo da sua fundação.

Quanto às finalidades, os barramentos podem apresentar uso específico, sendo conhecidos por “barragens de função única”, ou servem para diversos fins, sendo denominadas “barragens de usos múltiplos”. Atualmente, as barragens mais utilizadas são as de usos múltiplos, como no caso da Barragem de Pedra, localizada em Jequié, Bahia, Figura 1, que está ligada à geração de energia, irrigação agrícola, controle de enchentes e abastecimento de água (CBDB, 2011).

FIGURA 1- BARRAGEM DE PEDRA, JEQUIÉ, BA

FONTE: CHESF, 2013.

Segundo o CBDB (2011), suas funções se dividem em:

a) Hidroeletricidade: as barragens apresentam grande importância para geração de energia em hidrelétricas, pois mesmo no período de estiagem, estas mantêm um nível de água essencial para a atividade;
b) Abastecimento: reservatórios projetados para que não falte água à população ou à indústria;
c) Irrigação agrícola: o projeto tem por objetivo suprir a demanda por água na época de safra;
d) Navegação: muitos países têm sua economia baseada nesta atividade que pode ser realizada nas partes mais profundas de um barramento;
e) Regularização de enchentes: impedem o alagamento de áreas marginais a rios, pela contenção do volume a montante;
f) Recreação e turismo;
g) Retenção de rejeitos e resíduos industriais: para preservação do meio ambiente, são criadas as barragens para disposição de rejeitos de mineração ou resíduos industriais, que se fossem apenas lançados aos cursos d'água existentes causariam grandes danos ecológicos.

3.2 MINERAÇÃO NO BRASIL

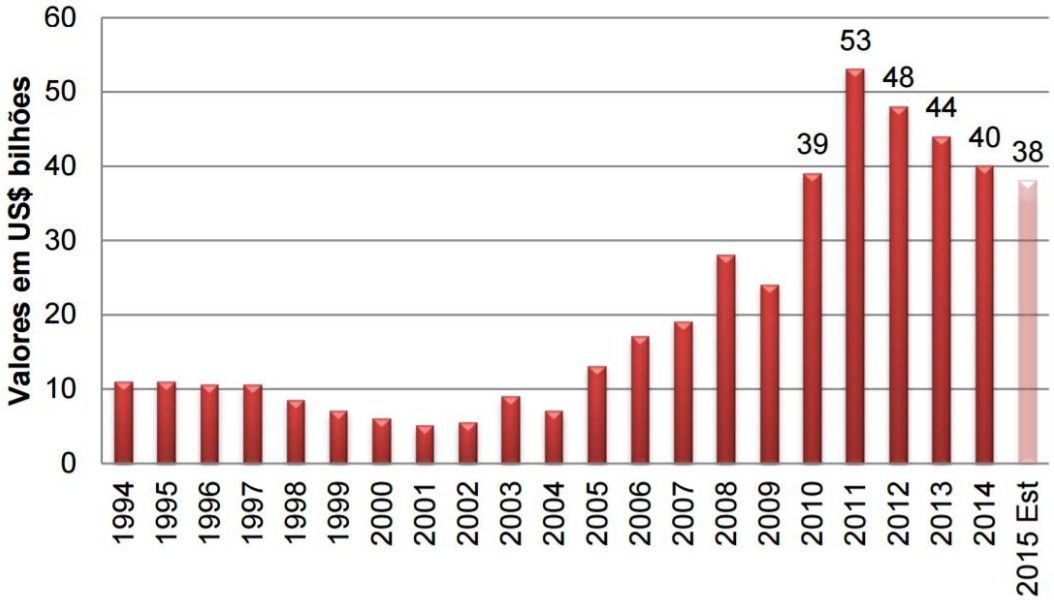
"A mineração é um processo que visa suprir a necessidade de obtenção de matéria-prima para inúmeras áreas da indústria" (LOPES, 2017). Ela tem por objetivo pesquisar, descobrir e extrair os minérios do solo e beneficiá-los para que estes apresentem um valor comercial e social e se diferencia de outros setores industriais por fornecer insumos base para diversas cadeias produtivas, pela quantidade de resíduos gerados para cada tipo mineral e, principalmente, pelas

particularidades específicas e distintas dos resíduos gerados em outros segmentos (IBRAM, 2016). Com a extensão do Brasil e seu solo com grande diversidade geológica, o país apresenta uma rica composição mineral a ser explorada.

Eduardo Parente, presidente da MRS, concessionária que opera a malha regional sudeste da rede ferroviária federal (*apud* BRASIL, 2011), cita algumas dificuldades para o desenvolvimento do setor no Brasil, como a falta de mão de obra qualificada desde tarefas simples até as mais complexas e a falta de fornecedores com preços justos. Mesmo com esses empecilhos, a atividade minerária tem um importante papel na economia nacional e teve um pico do crescimento de produção mineral nacional em 2011, quando o país faturou 53 bilhões de dólares (Figura 2).

Segundo o IBRAM (2015), no ano de 2014, o Brasil atingiu 40 bilhões de dólares em produção mineral, cerca de 5% do PIB industrial. No comércio exterior, o Brasil faturou cerca de 34 bilhões de dólares, sendo 28,5 bilhões apenas em minério de ferro.

FIGURA 2 – PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA



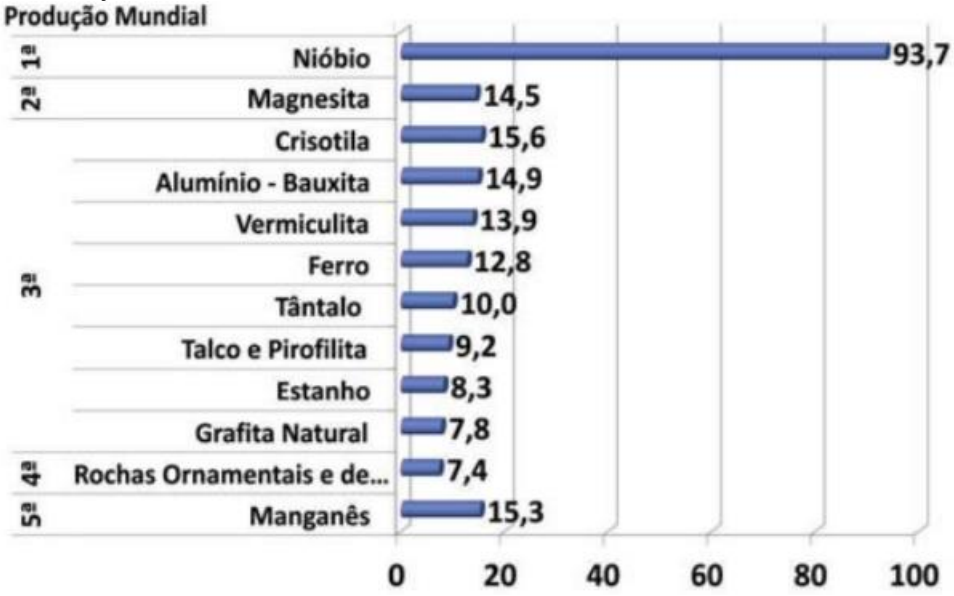
FONTE: IBRAM, 2015.

3.2.1 Tipos de minério explorados no Brasil e sua economia

A indústria mineralógica do Brasil é uma prática antiga, tendo mais de 300 anos sendo que, incialmente, eram explorados majoritariamente ouro e diamante. A partir da Revolução Industrial, no século XVIII, os demais setores industriais passaram a requerer outros minérios para suas atividades e produções, como alumínio para fabricação de embalagens.

Segundo o DNPM (2015), o Brasil é o maior produtor de minério de nióbio [1]do mundo, sendo também o segundo maior em magnesita[2], e o terceiro em produção de ferro. Além desses três tipos de minério, o subsolo nacional é rico em pedras preciosas, manganês e bauxita, como mostra a Figura 3.

FIGURA 3 – PORCENTEGEM DA PARTICIPAÇÃO MUNDIAL DO BRASIL NA PRODUÇÃO MINERAL

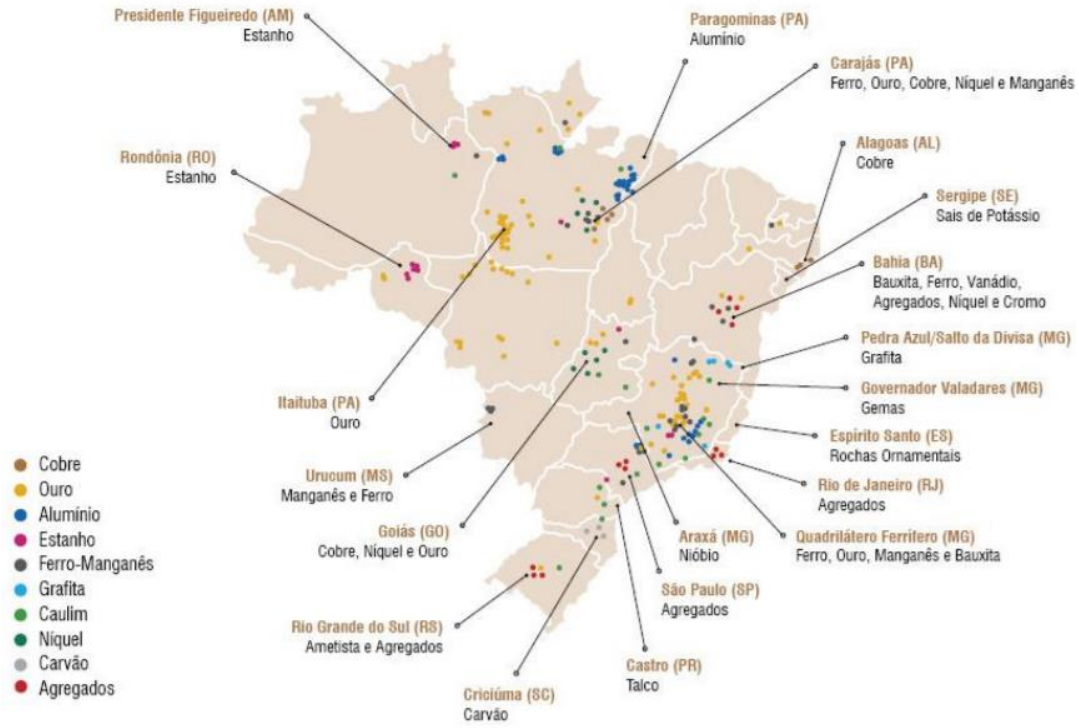


FONTE: DNPM, 2015.

Os minérios encontrados no País estão distribuídos em várias regiões. O minério de ferro se encontra em abundância na Serra dos Carajás (PA) e Quadrilátero Ferrífero (MG). A Magnesita se encontra em maior concentração também na Serra dos Carajás e no Maciço do Urucum (MS). O ouro em Minas Gerais e sudoeste do Pará, conforme se observa na Figura 4 (BRANDÃO, 2012).

[1] Nióbio – Metal refratário mais leve já descoberto, utilizados em ligas ferrosas.
[2] Magnesita – Mineral de carbonato de Magnésio.

FIGURA 4 - PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS NO BRASIL



FONTE: IBRAM, 2015.

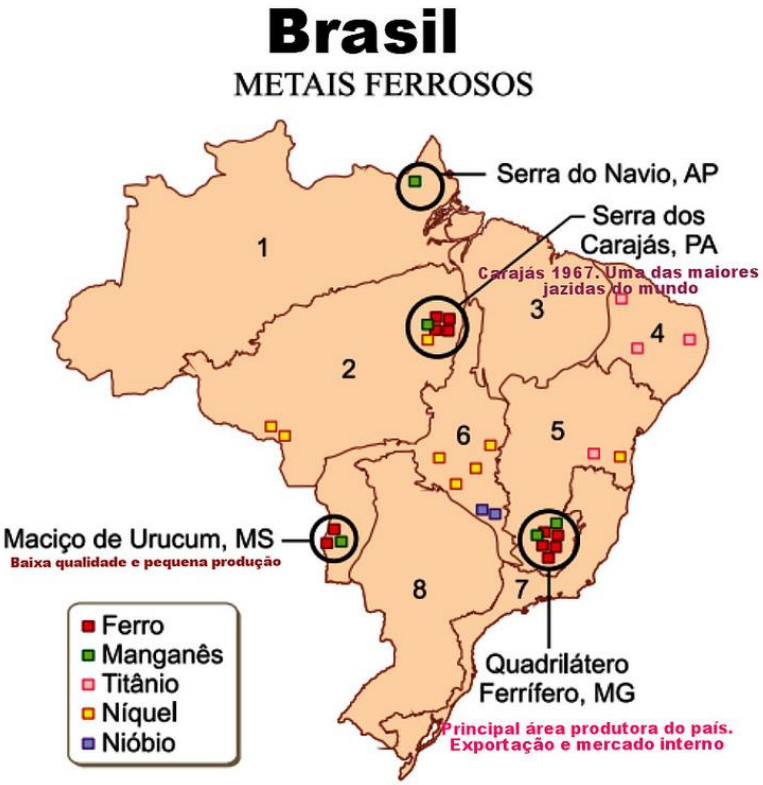
Regiões ricas em jazidas de minérios, como as mostradas acima, não necessariamente são exploradas por inúmeros motivos, desde a localização em áreas de difícil acesso até a falta de conhecimento estrutural e tectônico das rochas para realizar a extração em blocos rochosos (SANTOS; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010). O presidente da Comissão de Geodiversidade, Recursos Hídricos, Minas, Gás e Energia da Assembleia Legislativa do Estado do Amazonas (ALEAM), deputado Sinésio Campos (*apud* UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL, 2015), reforça ainda que áreas onde são encontradas muitas jazidas em reserva indígena têm dificuldade de exploração, pois devem ter a participação dos indígenas nessa exploração, cujo dispositivo constitucional ainda não foi regulamentado pela legislação ordinária.

Segundo Lopes (2016), no Brasil os minérios são explorados, principalmente, em três áreas, sendo elas mostradas na Figura 5.

a) Quadrilátero Central, conhecido também como Ferrífero, no Estado de Minas Gerais: região responsável pela extração e produção em grande quantidade, do minério de ferro e do manganês e, em menor quantidade, bauxita e cassiterita em quantidades não tão expressivas;
b) Maciço do Urucum, no Estado do Mato Grosso do Sul: produz, modestamente, minério de ferro e manganês;

c) Serra dos Carajás, no Estado do Pará: O projeto Carajás tornou-se destaque na década de 60 ao ser descoberto como o maior território mineral do planeta, com extrema abundância de minério de ferro e de outros minerais como níquel, cobre, estanho e ouro.

FIGURA 5 – LOCAIS DE MAIOR EXPLORAÇÃO MINERAL NO BRASIL



FONTE: SABERATUAL, 2010.

3.2.2 Dissociação do minério ao rejeito

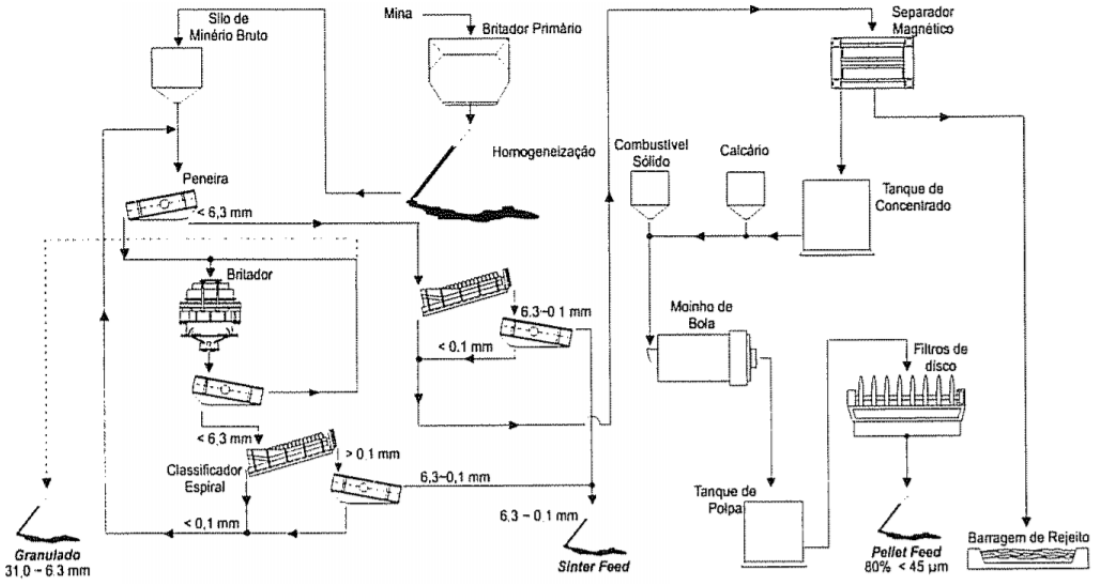
Com o crescimento da demanda por insumos minerais na indústria, começaram a ser explorados minérios em locais com baixa concentração mineral, ou seja, passou a ser necessário retirar maior quantidade de solo para obter a quantidade desejada de minério. Isso resultou em uma crescente geração de resíduos, diferenciados de resíduos de outros setores por apresentar os estéreis (resíduos sólidos da extração) e rejeitos (resíduos do beneficiamento) (IBRAM, 2016).

Beneficiamento do minério é o processo que retira o material que apresenta valor comercial do material bruto retirado da exploração mineral. Esse processo pode ter etapas diferentes para cada tipo de minério.

3.2.2.1 Beneficiamento do minério de ferro

O processo de beneficiamento do minério de ferro (Figura 6) utiliza dois métodos de britagem e moagem, que têm por objetivo a fragmentação do mineral. A parte fina segue para um processo de sinterização e a parte grossa volta a ser britada até ser atingir a granulometria desejada. No Brasil, as etapas de britagem, peneiramento e classificação já conseguem retirar boa parte do produto final (GOMES, 2009).

FIGURA 6 – BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO



FONTE: BORIM, 2000.

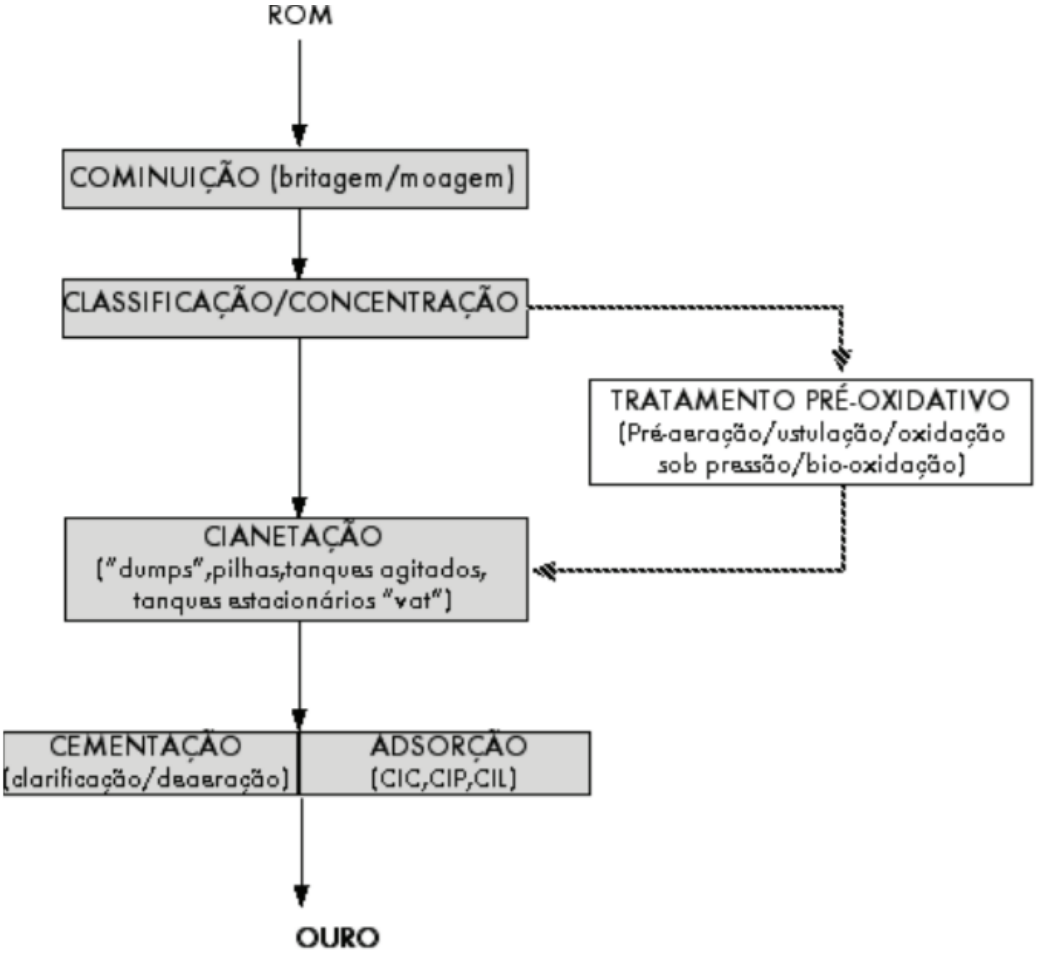
3.2.2.2 Beneficiamento do minério de ouro

O beneficiamento do ouro antes apresentava processos de separação por gravidade, cominuição[3], classificação e amalgamação[4]. Hoje, com a evolução das tecnologias empregadas, utiliza-se a lixiviação[5] com cianeto de sódio[6]. O ouro é posteriormente adsorvido em filtros de carvão ativado, extraído, purificado e fundido. Esse processo se inicia com a cominuição do minério até uma granulometria conveniente, depois há a remoção dos grãos de ouro livre a partir da concentração em mesas estáticas e vibratórias. Segue-se então a pré-oxidação, que consiste em passivação de sulfetos solúveis em cianetação[7], como na Figura 7 (CIMINELLI; GOMES, 2002).

---

[3] Cominuição – Quebra de rochas e matéria prima em pedaços menores. (BRANCO, 2012).
[4] Amalgamação – Extração de materiais nobres por meio do mercúrio. (BARBOSA, 2007).
[5] Lixiviação – É a dissolução do mineral de valor bruto por uma solução aquosa do agente químico. (HECK, 2009).
[6] Cianeto de sódio – Composto químico capaz de oxidar e dissolver o ouro (JACOBI, 2015).
[7] Cianetação – Lixiviação com cianeto de sódio (GOMES, 2002).

FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DA CIANETAÇÃO DO MINÉRIO DE OURO



FONTE: CIMINELLI; GOMES, 2002.

3.2.2.3 Beneficiamento do minério de quartzo

As rochas silicáticas apresentam alto teor de quartzo. O beneficiamento do minério se resume nos processos de desagregação, deslamagem, peneiramento, flotação dos óxidos de ferro para separação destes do quartzo e do feldspato, filtragem, secagem e moagem (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, [s.d.]).

3.2.2.4 Beneficiamento do minério de feldspato

As rochas silicáticas apresentam alto teor de feldspato, além do quartzo. Porém, os processos de beneficiamento desses minérios são diferentes entre si.

O beneficiamento do feldspato é feito por meio da britagem, moagem, peneiramento e classificação conforme sua granulometria. A fração da britagem menor que 25 mm é submetida a uma moagem úmida, depois o barro é retirado do minério, a fim de ser eliminada a fração menor que 38µm. Quando atingido o tamanho adequado, iniciam-se as operações de flotação

para separar a mica e os minérios de ferro (COELHO, 2001 *apud* MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, [s.d.]).

3.2.3 Impactos dos reagentes de beneficiamentos na natureza

Os reagentes utilizados para realização do beneficiamento dos minérios podem ser mais ou menos agressivos, porém, em alguma proporção, todos alteram as características naturais do meio ambiente. Por este motivo, é necessário o tratamento do rejeito, e assim descartar água na natureza com padrão aceitável pela legislação ambiental (LEITE, 2011).

Entre os reagentes mais prejudiciais é possível citar: amônia, sulfetos, metais pesados, cianetos, arsênio, além de partículas finas lançadas no ar nos processos de britagem e moagem a seco (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, [s.d.]).

Ainda segundo Wanderson Pereira Leite (2011), os cianetos utilizados na lixiviação do ouro e da prata são nocivos aos animais, pois se ligam aos íons da matéria viva, fazendo com que os animais percam a capacidade de transportar o oxigênio para as células durante a respiração celular.

3.3 BARRAGENS DE REJEITO

Barragens de rejeito são barragens feitas de terra e, em alguns casos, em parte pelo próprio rejeito da mineração. Elas têm o objetivo de armazenar e drenar, de forma economicamente viável, o material estéril e o rejeito proveniente do beneficiamento do minério, para que eles não prejudiquem o meio ambiente se lançados *in natura* nos cursos d'água, já que o rejeito pode apresentar elevado grau de toxicidade, partículas dissolvidas e em suspensão, metais pesados e reagentes.

As características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas dos rejeitos da mineração dependem do tipo de minério beneficiado e do processo adotado. Podem ser finos, compostos de siltes[8] e argilas, depositados sob a forma de lama, ou formados por materiais não plásticos que apresentam granulometria mais grossa e são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000). São considerados finos os rejeitos com diâmetro menor do que 74 mm. Se a granulometria ultrapassar essa dimensão, o rejeito é considerado grosso.

[8] Silte - Fragmento de rocha menor do que areia fina e maior do que argila, diâmetro > 4 µm e < 64 µm.

Os rejeitos são lançados por meio de tubulações com bombeamento ou por gravidade junto com uma grande quantidade de água. A mistura dos rejeitos com água se chama polpa e esta é depositada na barragem, vide Figura 8 (LOZANO, 2006).

FIGURA 8 - BARRAGEM DE REJEITO DE MINÉRIO DE BAUXITA-VOTORANTIM METAIS/CBA

FONTE: ALVES, 2015.

3.3.1 Métodos construtivos

A primeira etapa da construção de uma barragem de contenção de rejeitos é a realização de um dique de partida feito com solo de empréstimo, com material argiloso ou enrocamento[9] compactado, seguida pelo lançamento do rejeito por canhões que, posteriormente, pode servir de fundação e fornecer material para a etapa de alteamentos.

Segundo Vick (1983), engenheiro geotécnico, os alteamentos são constituídos pelo mesmo solo que o dique inicial, pelos rejeitos, por estéreis ou pela ciclonagem[10] dos rejeitos (1983). A ciclonagem é o processo de separação dos rejeitos segundo sua granulometria, por efeitos de pressão gerados com um equipamento denominado ciclone. Os alteamentos são classificados em três métodos diferentes segundo a direção de sua construção em relação ao primeiro dique

[9] Enrocamento - conjunto de blocos de pedra lançados uns sobre os outros dentro da água para servir como lastro para fundação de obra hidráulica.

[10] Ciclonagem dos rejeitos – Separação dos rejeitos de acordo com sua granulometria.

(métodos de montante, método a jusante e método da linha de centro). Cada método apresenta suas próprias características e especificações vide Figura 9.

3.3.1.1 Método a montante

Segundo Araújo (2006), o método a montante é o método mais antigo, fácil e econômico existente. No entanto, é também o mais arriscado em relação à segurança da barragem por apresentar dificuldade de drenagem e um baixo controle construtivo, já que os alteamentos são construídos sobre materiais que são depositados. Logo, o método apresenta suscetibilidade à liquefação e baixa resistência ao cisalhamento.

O processo se baseia em fazer um dique de partida com material argiloso ou enrocamento compactado. Após essa etapa, é lançado o rejeito a montante da linha de simetria da barragem. Os rejeitos formam uma praia de deposição que servirá como fundação para os alteamentos sucessivos (ARAÚJO, 2006).

3.3.1.2 Método a jusante

O método se resume na construção de um dique inicial com solo ou enrocamento compactado, sendo os alteamentos realizados a jusante da linha de simetria.

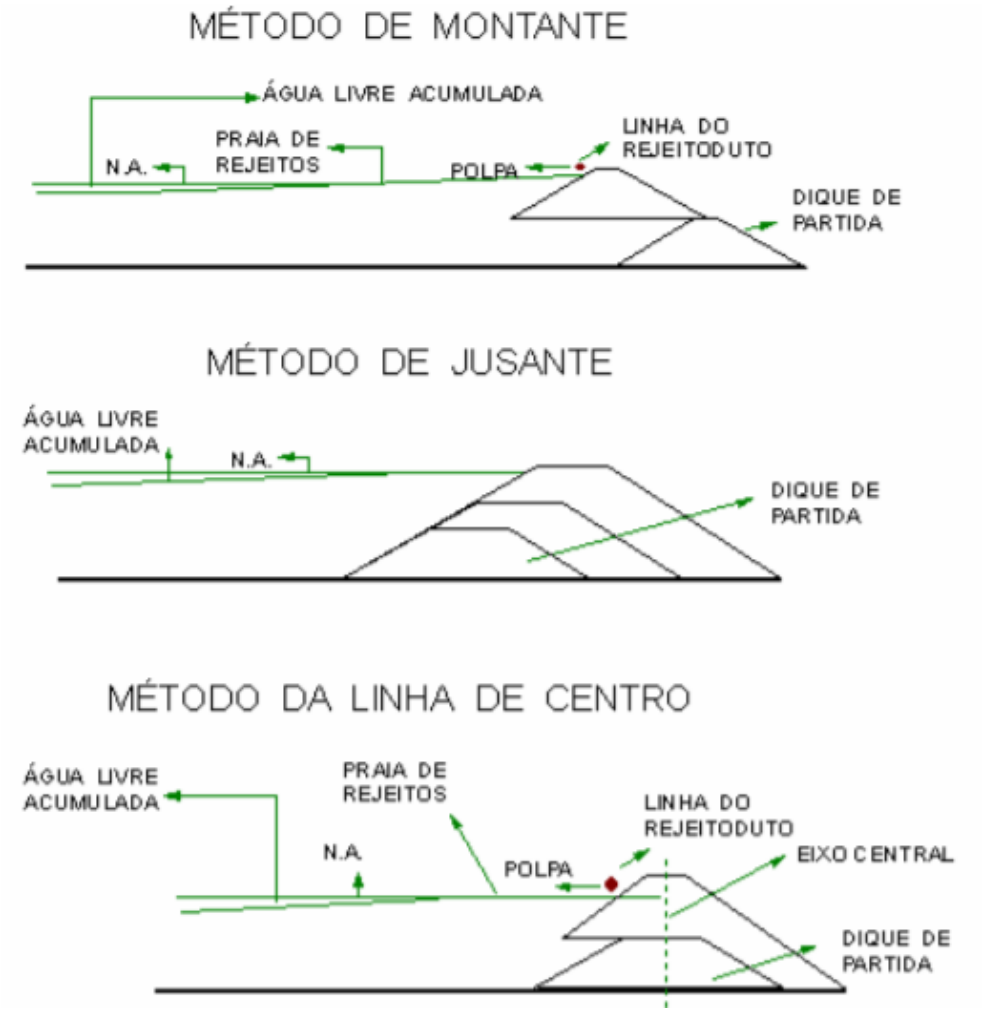
Mais seguro para controle da estrutura da barragem, o método a jusante apresenta controle no lançamento e compactação do material. Nenhuma parte do alteamento é construída sobre os rejeitos e os sistemas de drenagem podem ser instalados na construção da barragem e de seus alteamentos. Além disso, os barramentos construídos dessa maneira podem ser projetados para suportar a resistência desejada e até a abalos sísmicos. No entanto, apresenta um aumento nos custos de construção da barragem, pois são necessários mais materiais, elevação na altura da barragem e, em alguns casos, alguns processos de ciclonagem (KLOHN, 1981).

3.3.1.3 Método de linha de centro

Esse processo se baseia em uma variação do método a jusante, onde os alteamentos são feitos na vertical seguindo o eixo do dique de partida. O método de linha de centro também permite a colocação de drenos durante sua construção, promovendo um controle de saturação e dissipação de poropressões[11] (ASSIS; ESPÓSITO, 1995).

[11] Poropressão – é a pressão que o fluído causa no interior dos poros de um material poroso como o solo (Meri, 2013).

FIGURA 9 - MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE UMA BARRAGEM DE REJEITOS



FONTE: ESPÓSITO, 2000.

3.4 RUPTURAS DE BARRAGENS

A indústria da mineração tem como principais preocupações os impactos ambientais e os riscos com os, nem tão incomuns, acidentes de barragens de rejeitos (IBRAM, 2016).

> Numa primeira fase, o controle da segurança das barragens era basicamente orientado para a segurança estrutural e hidráulico-operacional, em que a característica básica era investir na causa potencial da ruptura da barragem. A regra era optar pelo controle rigoroso do projeto, construção e operação como forma de garantir à sociedade, em geral, e às populações residentes nos vales a jusante, uma segurança satisfatória, compatível com probabilidade de ruptura adequadamente baixa. Posteriormente, as técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação vieram reforçar o controle da segurança em longo prazo. Com o passar do tempo, a produção de rejeitos aumentou e as áreas para disposição se tornaram cada vez mais escassas, culminando no desenvolvimento dos projetos de engenharia permitindo a construção de barragens com alturas cada vez maiores. Esses projetos se tornaram possíveis com a ampliação contínua do conhecimento e controle dos aspectos de segurança, tais como melhor compreensão do comportamento dos

> materiais, novos desenvolvimentos na ciência de mecânica de solos, introdução de equipamentos cada vez mais robustos para movimentação de terra. Entretanto, as falhas ocorrem, muitas vezes devido à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente durante a construção, ou negligência das características vitais incorporadas na fase de construção (DUARTE, 2008).

3.4.1 Tipos de rupturas

Existem diversos fatores que podem ocasionar a ruptura de uma barragem, desde a falta de manutenção, falta de fiscalização durante a construção, comportamentos da fundação devido à infiltração da água, até um abalo sísmico ou uma enchente. De acordo com Vargas (1955) existem quatro tipos de classificação de ruptura de barragens (não somente de barragem de rejeito): ruptura estrutural, hidráulica, por transbordamento e devido a acidentes de construção.

3.4.1.1 Rupturas estruturais

Podem ser dos taludes do corpo da barragem ou dos terrenos de fundação.

3.4.1.2 Rupturas hidráulicas

São aquelas causadas por excesso de forças de percolação de água, provocando condições desfavoráveis à estabilidade ou permitindo erosão intensa. Subdividida em três classes: liquefação, levitação e erosão subterrânea (*piping*).

a) Liquefação: Os rejeitos de mineração são em geral materiais granulares e/ou finos não plásticos que, quando dispostos hidraulicamente, tendem a formar camadas de material de baixa densidade, com alto grau de saturação, suscetíveis à liquefação pela aplicação de carregamentos não drenados. O fenômeno da liquefação consiste em uma massa de areia que perde sua resistência devido a pressões hidrostáticas de água intersticial. Esse sedimento sólido passa a se comportar como se fosse um líquido devido a um aumento de pressão no solo, causando deslizamentos de terra semelhantes a uma avalanche.
b) Levitação: Consiste na perda de peso de uma zona da barragem ou de sua fundação, causado por um fluxo de água ascendente.
c) Erosão subterrânea/ *piping*: Consiste em um processo de erosão regressiva começando em um ponto emergente de água a jusante e progredindo a montante formando um tubo. O *piping* nada mais é que a passagem de água com partículas por um solo com erosão subterrânea, originando assim a formação de canais dentro da massa de solo.

Em 71,1% dos casos de acidentes em barragens de rejeitos, as principais causas são a liquefação e o *piping*, causando mortes, impactos ambientais de grandes proporções e prejuízos para as mineradoras, conforme demonstrado na Figura 10 (ANDRADE, 2009).

FIGURA 10 - RUPTURA DE BARRAGEM POR *PIPPING* OU EROSÃO INTERNA

FONTE: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DA EEUFMG, 2016.

3.4.1.3 Ruptura por transbordamento/galgamento

A ruptura causada por um transbordamento de água consiste na passagem de água por cima da barragem. As barragens são calculadas considerando um histórico pluvial do local, porém chuvas inesperadas que ocorrem raramente podem causar um transbordamento. Por ser extremamente caro projetar uma barragem que suporte essas chuvas não frequentes, o mais utilizado são vertedouros e sangradouros, vide Figura 11.

FIGURA 11 - RUPTURA DA BARRAGEM DE ORÓS NO CEARÁ POR GALGAMENTO, 1960

FONTE: RIBEIRO, 2015.

3.4.1.4 Ruptura devido a acidentes de construção

Nesse caso destacam-se falhas de projeto e na construção, que futuramente vêm a ocasionar ruptura devido à defasagem durante o processo construtivo da barragem e o que o antecede, como o planejamento da mesma.

3.4.2 Rupturas de barragem de rejeitos no mundo

Rupturas de barragens de rejeito pelo mundo são muito comuns há muitos anos, gerando grandes impactos ambientais, sociais e mortalidades. No Quadro 1 são listados acidentes em que houve mortes, provocadas pela ruptura de barragens de rejeitos em diversos países.

QUADRO 1 - RUPTURAS DE BARRAGENS DE REJEITO NO MUNDO DESDE 1965

Ano	Barragem	País	Número de mortes
1965	El Cobre Dam	Chile	mais de 200
1966	Mir Mine	Bulgária	488
1966	Aberfan	UK	144
1970	Mufulira	Zâmbia	89
1972	Buffalo Creeck	USA	125

Ano	Barragem	País	Número de mortes
1974	Bafokeng	África do Sul	12
1978	Arcturus	Zimbabwe	1
1981	Ages	USA	1
1985	Stava	Itália	269
1986	Huangmeishan	China	19
1986	Fernandinho	Brasil	7
1988	Jinduicheng	China	20
1993	Marsa	Peru	6
1994	Merriespruit	África do Sul	17
1995	Placer	Filipinas	12
2000	Guangxi	China	15 mortes 100 desaparecidos
2001	Rio Verde	Brasil	5
2006	Shangluo	China	17 desaparecidos
2008	Taoshi	China	254
2010	Kolontár	Hungria	10
2014	Herculano	Brasil	3
2015	Fundão	Brasil	18 a 22

FONTE: ICOLD, 2001.

3.4.3 Rupturas de barragem de rejeitos no Brasil

Em 2015, o diretor de fiscalização do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Walter Arcoverde, afirmou que o volume de acidentes com barragens verificados no Brasil está muito acima da média mundial. Arcoverde disse também que, em todo o mundo, a média é de que ocorra apenas um acidente de barragem por ano, mas o Brasil tem se destacado na lista dos desastres. O Quadro 2 apresenta os acidentes provocados pela ruptura de barragens de rejeitos no Brasil.

QUADRO 2 – RUPTURAS DE BARRAGENS DE REJEITO NO BRASIL

Ano	Barragem	Tipo de minério	Principais danos
1986	Mina de Fernandinho (Itabirito e Rio Acima/MG)	Ferro	7 mortes
2001	Rio Verde (Macacos, distrito de Nova Lima/MG)	Ferro	5 mortes
2003	Indústria de Papel (Cataguases/MG)	Bauxita	Interrupção de fornecimento de água
2006	Mineração Rio Pomba (Miraí/MG)	Bauxita	Interrupção de fornecimento de água
2007	Mineração Rio Pomba (Muriaé e Miraí/MG)	Bauxita	Interrupção de fornecimento de água
2014	Herculano (Itabirito/MG)	Ferro	3 mortes
2015	Fundão (Mariana/MG)	Ferro	19 mortes

FONTE: ICOLD, 2001.

3.4.3.1 Mina de Fernandinho, Itabirito/MG

Datada como o acidente envolvendo barragem de rejeito mais antigo registrado, o rompimento do barramento da mina de Fernandinho aconteceu em 1986, levando a óbito sete pessoas na cidade de Itabirito, em Minas Gerais (OLIVEIRA, 2015).

Propriedade da Itamina Comércio de Minérios S/A, a ruptura se dividiu em duas etapas. No início ocorreu uma movimentação lenta perto da ombreira direita[12] para depois haver o colapso total do maciço, que deu surgimento a uma onda de lama com rapidez de destruição (PARRA; LASMAR, 1987).

Nas margens até onde a onda alcançou havia muitos sinais de desníveis; a vegetação e o solo superficiais foram arrancados pela sua intensidade, como mostra a Figura 12.

[12] Ombreira direita – Denominação usada para se referir ao lado direito extremo do terreno natural onde a barragem se encaixa.

FIGURA 12 – IMAGEM AÉREA DA ÁREA DEVASTADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FERNANDINHO

FONTE: PARRA E LASMAR, 1987.

3.4.3.2 Rio Verde, Macacos, Nova Lima/MG

Em junho de 2001, o rompimento de uma barragem de rejeitos de minério de ferro da Mineração Rio Verde matou cinco operários e devastou 79 hectares de Mata Atlântica. Cerca de 600 mil m³ de rejeitos atingiram o córrego Taquaras e 30 hectares de uma área de proteção ambiental na região. A barragem estava situada ao lado da estrada que liga a BR 040 ao bairro de São Sebastião das Águas Claras e destruiu a principal via de acesso e soterrou parte do bairro, no distrito de Macacos, em Nova Lima, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) (VIOLA, 2013; TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2008).

O ecologista Renê Vilela informou que as mineradoras Rio Verde e MBR, que atuam na região de São Sebastião, não sofrem fiscalização, o que possibilita a ocorrência de acidentes como o de Nova Lima. De acordo com Vilela, órgãos como a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e o Departamento Nacional de Produção Mineral, que deveriam realizar esse trabalho, se transformaram em "escritórios de despachos". "O governo está praticamente administrando os interesses das grandes mineradoras" (AGÊNCIA ESTADO, 2001).

3.4.3.3 Indústria de Papel, Cataguases/ MG

Uma das barragens dos reservatórios da Indústria Cataguases Ltda., localizada na cidade de Cataguases, Zona da Mata, se rompeu em março de 2003 liberando 1,4 bilhão de lixívia negra,

resultantes da produção de celulose, nos rios Cágado e Pomba (OLIVEIRA, 2015; GONÇALVES, 2006).

O acidente afetou 100 km de rios, o que resultou na falta de abastecimento público de água a 600 mil pessoas (OLIVEIRA, 2015; BRAGA, 2011). Houve também a morte de diversas espécimes vegetais e animais, além da devastação de lagos, como na Figura 13.

FIGURA 13 – DEVASTAÇÃO DE LAGOS EM CATAGUASES, FOTO TIRADA EM 2011, 8 ANOS APÓS ACIDENTE

FONTE: ALMEIDA, 2015.

3.4.3.4 Mineração Rio Pomba, Muriaé e Miraí/ MG

De propriedade da empresa Mineração Rio Pompa Cataguases Ltda., a barragem São Francisco se destinava a abrigar rejeitos provenientes do beneficiamento da bauxita.

A construção de outro sistema extravasor já havia sido realizado por causa do vazamento de uma grande quantidade de lama dada por falhas estruturais. Porém, em janeiro de 2007, houve o galgamento[13] da ombreira direta desta barragem, abrindo uma brecha no maciço por conta da erosão, como se verifica na Figura 14 (CBDB, 2012).

[13] Galgamento – Ruptura causada por um transbordamento de água.

FIGURA 14 – BRECHA NA BARRAGEM SÃO FRANCISCO

FONTE: BRASIL E ROCHA, 2012.

Em torno de 2 milhões de metros cúbicos de lama invadiram as cidades de Miraí e Muriaé e os rios Fuba e Muriaé, chegando a outras cidades. A lama tornou a captação de água impossível e causou a morte de vários espécimes de animais que habitavam os rios, além de provocar o assoreamento e as consequentes inundações destes. A devastação desabrigou mais de 6.000 moradores e destruiu ao menos 1.200 casas na Zona da Mata, estendendo-se em torno de 92 km. As cidades foram colocadas em "estado de emergência" (OLIVEIRA, 2015; CBDB, 2012; SÁ, 2007).

3.4.3.5 Herculano, Itabirito/ MG

Em setembro de 2014, um deslizamento de terra em uma das barragens de rejeito de minério de ferro da Mineração Herculano provocou a morte de três operários, que foram soterrados, no município de Itabirito, na região central de Minas Gerais.

O rompimento, acontecido na barragem B1, atingiu um riacho e deixou 300 residências sem fornecimento de água e de energia elétrica. Além disso, causou graves impactos ambientais em córregos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, que abastece a região metropolitana de Belo Horizonte (ANDRADE, 2014).

Em dezembro de 2015, os sócios e um engenheiro da Herculano Mineração foram indiciados por homicídio doloso – quando se assume o risco de matar – pelo rompimento. De acordo com as investigações, a mineradora continuava a colocar rejeitos em uma mina que já estava desativada e atingira sua lotação máxima em 2010. Em função disso, segundo as investigações,

a empresa começou a construir a barragem B4. No entanto, como a nova barragem apresentou um problema em 2014, a empresa voltou a depositar os rejeitos na primeira barragem. De acordo com o laudo técnico da perícia, elaborado pelo Instituto de Criminalística, a razão do rompimento foi a saturação de água, presente na barragem B1. Foi constatada uma deficiência na drenagem, o que causou a movimentação no nível freático em seu interior e provocou a ruptura da estrutura (VILLELA, 2015).

Na ocasião do rompimento, a empresa havia atribuído o evento ao um fenômeno geológico raro, conhecido como “inversão de relevo”, que acontece quando uma formação geológica sofre uma alteração estrutural, mudando o padrão de sentido de formação das rochas. Com essa alteração, pode ter ocorrido infiltração de água e, consequentemente, o abatimento do solo. A Figura 15 ilustra o ocorrido em Herculano (VILLELA, 2014).

FIGURA 15 - LOCAL TOMADO POR LAMA EM HERCULANO

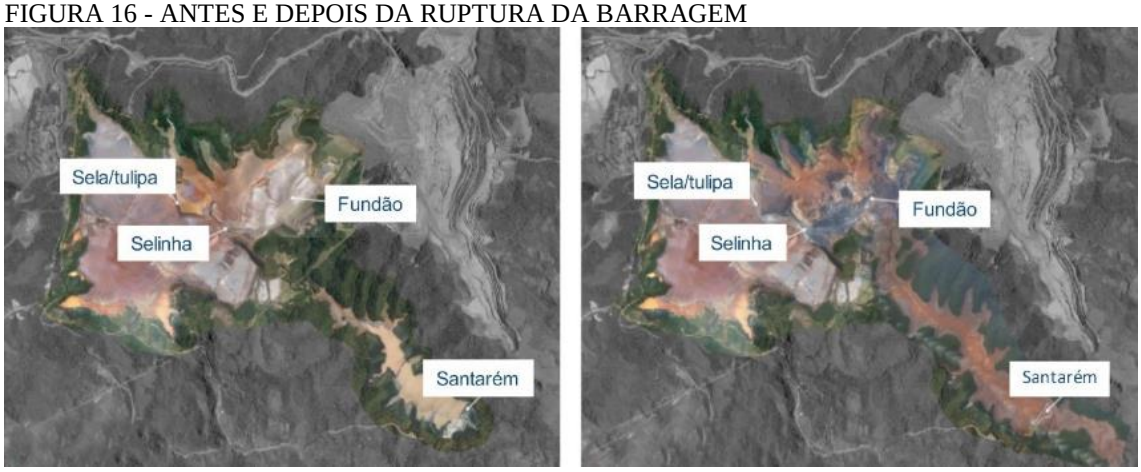
FONTE: RIBEIRO, 2015.

3.4.3.6 Barragem de Fundão, Mariana/ MG

Considerada por muitos especialistas como o maior desastre ambiental da história do Brasil, a tragédia em Mariana teve ampla cobertura jornalística, inclusive pela imprensa estrangeira. No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da barragem de Fundão (Figura 16). Parte dos rejeitos chegou à barragem de Santarém – onde estava armazenada água – provocando uma erosão parcial na parte direita de seu barramento. Um volume de 32,6 milhões de metros cúbicos de rejeitos provenientes da atividade minerária – volume parcial do total de 56 milhões de metros cúbicos que estavam armazenados – vazou para fora da área da empresa. O material atingiu um rio próximo às operações da Samarco (Rio Gualaxo do Norte), percorreu o seu leito,

desaguou no Rio Doce e chegou ao mar em 22 de novembro de 2015. O percurso da lama até chegar à foz do Rio Doce, no encontro com o Oceano Atlântico, impactou diversos municípios nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ao longo de 650 quilômetros (IBAMA, 2015).

FIGURA 16 - ANTES E DEPOIS DA RUPTURA DA BARRAGEM



FONTE: SAMARCO, 2015.

O relatório final do Ministério Público do Estado de Minas Gerais sobre o rompimento da barragem do Fundão, da mineradora Samarco, em Mariana (MG), aponta que o desastre teria sido motivado por obras na barragem. O rompimento espalhou lama e rejeitos de mineração, deixou 19 pessoas mortas, causou destruição da vegetação nativa e poluiu a bacia do Rio Doce. A Figura 17 mostra o cenário antecedente e sucessor a ruptura do bairro atingido. Até 2016 não houve pagamento de indenização aos atingidos pelo desastre, mas o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) e a Samarco estão gerindo os projetos de reparação dos danos causados pela ruptura. Essa é a aposta tanto do MPMG como da Fundação Renova, que foi criada pelos acionistas e pela mineradora Samarco para gerir os projetos de reparação dos danos causados pela tragédia. "Agora estamos caminhando para o cálculo da indenização final que irá dizer exatamente o valor das perdas, contemplando todos os direitos violados dos atingidos. Do valor calculado, serão descontadas as antecipações que já foram pagas", explica Guilherme Meneghin, promotor do MPMG. Um cadastro classificando a situação de todos impactados está sendo realizado no ano de 2017 em conjunto pelo Ministério Público de Minas Gerais, pela Samarco e pelas suas acionistas Vale e BHP Billiton. O levantamento abrangerá os milhares de atingidos em toda a área afetada, de Minas Gerais ao Espírito Santo. Constarão no cadastro informações como o perfil socioeconômico e a relação de bens perdidos. Serão considerados dados da Defesa Civil, do MPMG e também apresentados pelos próprios atingidos. As informações serão analisadas caso a caso (RODRIGUES, 2016).

FIGURA 17 - ANTES E DEPOIS DA RUPTURA MOSTRA A DESTRUIÇÃO EM BENTO RODRIGUES

FONTE: JARU ONLINE, 2017.

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DA RUPTURA DA BARRAGEM DE FUNDÃO

Barragens, como qualquer outra obra na engenharia, são susceptíveis a falhas. A probabilidade de ocorrência de rupturas é remota, porém quando ocorrem, os danos são catastróficos, principalmente quando o vale à jusante é povoado (COUTO et al., 2016).

A ruptura da barragem de Fundão em Mariana foi considerada uma das maiores catástrofes ambientais do mundo, nenhuma outra ruptura de barragem de rejeito no Brasil impactou tanto o meio ambiente como essa. Dessa forma, analisando os danos ocorridos com essa falha, pode-se, por comparação, prever o que poderá acontecer com outras barragens de rejeito de minério de ferro caso medidas preventivas não sejam adotadas.

3.5.1 Barragem de Fundão, em Mariana/ MG

Ficaram comprovados, segundo o Laudo Técnico Preliminar do IBAMA (2015), os seguintes danos causados pela ruptura:

a) Mortes de trabalhadores da empresa e moradores das comunidades afetadas;
b) Desalojamento de populações;
c) Devastação de localidades e a consequente desagregação dos vínculos sociais das comunidades;

d) Destruição de estruturas públicas e privadas (edificações, pontes, ruas etc.);
e) Destruição de áreas agrícolas e pastos, com perdas de receitas econômicas;
f) Interrupção da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas (Candonga, Aimorés e Mascarenhas);
g) Destruição de áreas de preservação permanente e de vegetação nativa de Mata Atlântica;
h) Mortandade de biodiversidade aquática e fauna terrestre;
i) Assoreamento de cursos d'água;
j) Interrupção do abastecimento de água;
k) Interrupção da pesca por tempo indeterminado;
l) Interrupção do turismo;
m) Perda e fragmentação de habitats;
n) Restrição ou enfraquecimento dos serviços ambientais dos ecossistemas;
o) Alteração dos padrões de qualidade da água doce, salobra e salgada;
p) Sensação de perigo e desamparo na população.

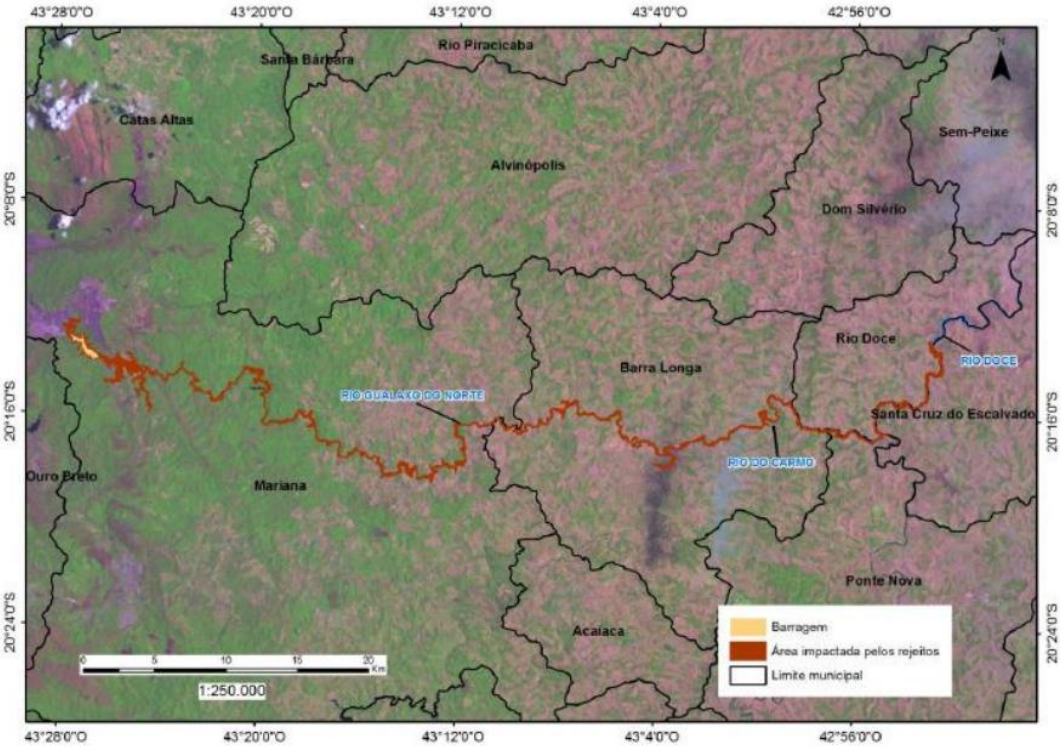
Nesse trabalho somente os impactos ambientais associados aos meios físico e biológico serão mais detalhados, uma vez que os demais não são o foco principal como danos sociais e econômicos.

3.5.1.1 Danos sobre qualidade e disponibilidade da água doce

Os impactos que ocorreram sobre as águas ocorreram ao longo do Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e o Rio Doce, como pode ser observado na Figura 18. Foram retiradas amostras ao longo do percurso e analisadas alterações de turbidez, físico-químicas e impactos nas nascentes, pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) e pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Foram constatadas turbidez, características físico-químicas destoantes da média histórica e águas fora dos padrões estipulados pelas normas para consumo, e somente mediante o tratamento a mesma se enquadraria nos parâmetros considerados seguros para consumo, vide Figura 19. Relatórios elaborados por essas mesmas instituições apontam assoreamento drástico dos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e parte do Rio Doce até a barragem de Candonga, no primeiro momento de impacto da lama; inclusive em 2015 foi constatado processo contínuo de carreamento e deposição de sedimentos nos cursos d'água pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (MINAS GERAIS, 2016)[14].

[14] OBS: Não foram analisados os danos sobre as águas do mar.

FIGURA 18 - ÁREA AFETADA PELOS REJEITOS NA DATA DE 12 DE NOVEMBRO DE 2015



FONTE: MINAS GERAIS, 2016.

FIGURA 19 - RIO DOCE NO MUNICÍPIO DE BAIXO GUANDU/ES

FONTE: IBAMA,2015

3.5.1.2 Danos na qualidade e disponibilidade de solo

A linha de percurso dos rios teve leve desvio, houve relatos de ravinamento[15], o que leva a um processo erosivo levando sedimentos para o rio, intensificando ainda mais processos de assoreamento (MINAS GERAIS, 2016).

[15] Ravinamento – Abertura de sulcos erosivos de profundidade maior que 0,5 metros.

Com relação à identificação de metais pesados, de acordo com o CONAMA em 2015 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) foram encontrados valores inferiores aos adotados como referência para avaliação da contaminação de metais no solo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária constata que os rejeitos de minério de ferro não são tóxicos, mas quando sedimentados, comprometem a infiltração de água e o nível de matéria orgânica necessária para a vida microbiana do solo, prejudicando as condições para a germinação de sementes e o desenvolvimento das plantas (MINAS GERAIS, 2016). Segundo Cleuber Maraes de Brito (*apud* BARBA, 2015), professor de Geologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e consultor na área de meio ambiente e mineração, os resíduos não apresentam riscos imediatos à saúde humana, mas os danos ambientais decorrentes da catástrofe poderão se estender por anos.

> Comparado ao mercúrio, esse rejeito não é tóxico, já que é formado basicamente por sílica. Ninguém vai desenvolver câncer, nada disso. O risco não é para o ser humano, mas para o meio ambiente. Essa lama avermelhada deve causar danos em todo o ecossistema da região, impactando por anos seus rios, fauna, solo e até os moradores, no sentido de que o trabalho deles, como a agricultura, pode se tornar impraticável (BRITO *apud* BARBA, 2015).

A quantidade de lama comprometeu o solo, degradando a sua qualidade. A área rural de Barra Longa foi a mais afetada diretamente, devido à composição da lama, a reconstituição do solo pode levar até centenas de anos, que é a escala geológica para a formação de um novo solo (MATOS et al., 2016).

Quanto ao pH do solo (pH em água e em KCl), foram encontrados valores extremamente ácidos. Medidas corretivas que insiram material orgânico no meio são fundamentais para o processo de recuperação (MINAS GERAIS, 2016).

O Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA concluiu que a tragédia foi responsável pela destruição de 1469 hectares ao longo de 77km de cursos d’água, incluindo Áreas de Preservação Permanente (IBAMA, 2015).

> O desastre em análise causou a devastação de matas ciliares remanescentes (fragmentos/mosaicos); já o aporte de sedimentos (lama de rejeito da exploração de minério de ferro) imediatamente soterrou os indivíduos de menor porte do sub-bosque e suprimiu indivíduos arbóreos. Os rejeitos de mineração de ferro também têm potencial para afetar o solo ao longo do tempo por se tratarem de material inerte sem matéria orgânica, causando desestruturação química e afetando o pH do solo. Tal alteração dificultará a recuperação e o desenvolvimento de espécies que ali viviam, podendo modificar, a médio e longo prazo, a vegetação local, com o estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais (IBAMA, 2015).

Matas de galeria, assim como as ciliares, são formas de vegetação que acompanham cursos d'água e ambientes de drenagem em geral; sua conservação é considerada essencial para a manutenção do ecossistema hídrico porque evitam, principalmente, a ocorrência de erosões fluviais. De acordo com o IBAMA (2015), as matas de galeria também sofreram fortes consequências devido à onda dos resíduos de minério de ferro. Houve a completa remoção da cobertura vegetal em boa parte das áreas degradadas, o que fez com que sua capacidade de recuperação e de sucessão fosse prejudicada. Nas Figuras 20 e 21, pode-se constatar a destruição da vegetação ciliar, áreas de preservação permanente, além do aspecto do curso d´água após o desastre.

FIGURA 20 - DESTRUIÇÃO DA VEGETAÇÃO CILIAR

FONTE: IBAMA, 2015

FIGURA 21 - A BARRAGEM ROMPIDA EM MARIANA

FONTE: COSTA, 2015.

3.5.1.3 Danos na biodiversidade

Com a alteração físico-química na água, o impacto sobre a biodiversidade aquática pode variar conforme o nível trófico e fisiologia dos organismos. Os organismos aquáticos produtores, como o fitoplâncton, têm sua fotossíntese comprometida, já que a presença de sólidos em suspensão dificulta a penetração da luz na água. Isso provoca a diminuição do oxigênio dissolvido e afeta a cadeia alimentar, sendo um risco para a vida aquática. Em relação aos organismos aquáticos consumidores, os sólidos em suspensão em grande quantidade levam à morte por asfixia (IBAMA, 2015).

A Samarco contratou a empresa Bioma para coletar as carcaças de organismos aquáticos, dentre outros objetivos. O trecho entre Baixo Guandu e Linhares, que corresponde a cerca de 150 km do trecho baixo do rio, foi vistoriado no período de 16 a 23 de novembro de 2015 por um grupo de seis pessoas entre 16 e 18/11 e por um grupo de treze pessoas entre os dias 19 e 23/11.

Conforme o relatório e atividades referentes foram contabilizados 7.410 peixes, de 21 espécies. Deve-se analisar que muitos organismos também foram simplesmente soterrados devido à descarga sólida e a densidade do rejeito. Apenas contar peixes mortos na superfície não é suficiente para estimar a mortalidade total dos organismos aquáticos ao longo trecho afetado (IBAMA, 2015).

3.6. INSTITUIÇÕES RELACIONADAS A BARRAGENS

Com o aumento da necessidade da criação de barragens, surgiu a necessidade de criação de instituições governamentais que as fiscalizassem e acompanhassem seu tempo de construção, funcionamento e desativação, impondo as leis vigentes no país. Surgiram ainda instituições sem ligação com o Estado que tinham como objetivo incentivar o desenvolvimento no planejamento, projeto, construção, operação e manutenção dessas grandes obras.

3.6.1 Instituições governamentais

a) Agência Nacional de Águas (ANA)

O projeto de criação da Agência Nacional de Águas foi transformado na Lei nº 9.984 em 17 de julho de 2000. A ANA desempenha ações de regulação dos instrumentos de gestão criados pela Política Nacional de Recursos Hídricos, apoio à gestão e planejamento dos recursos hídricos, monitoramento de rios e reservatórios, desenvolve programas e projetos e disponibiliza informações com intuito de incentivar o uso racional e a gestão sustentável dos recursos hídricos (ANA, [s.d.]).

b) Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 1997 para regular o setor elétrico brasileiro a partir da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. Suas funções são: controlar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalizar as concessões, os serviços e os empreendimentos de energia elétrica; estabelecer tarifas e executar as diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos (ANEEL, [s.d.]).

c) Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos foi instituído pela Lei nº9.433, em 1997, e contém o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que é um dos grandes

responsáveis pela implementação da gestão de recursos hídricos no País. O CNRH desenvolve atividades desde junho de 1998, como analisar propostas de alteração da legislação conveniente a recursos hídricos; estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; arbitrar conflitos sobre recursos hídricos e aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos e acompanhar sua execução (CNRH, [s.d.]).

d) Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS)

Foi o primeiro órgão a estudar a dificuldade e problemática do semiárido. Criado inicialmente com o nome de Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) recebeu em 1945 a denominação atual de Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e foi transformado em autarquia federal a partir da Lei nº4.229/1963. O DNOCS tem como objetivo exercer a política do Governo Federal em relação ao beneficiamento de áreas e obras de proteção contra as secas e inundações; à irrigação; à implantação de população em comunidades de irrigantes ou em áreas especiais abrangidas por seus projetos e às questões referentes ao saneamento básico, assistência às populações atingidas por desastres públicos e cooperação com os municípios (DNOCS, [s.d.]).

e) Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)

O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) é uma autarquia federal brasileira relacionada ao Ministério de Minas e Energia. Foi criado em 1994, pela Lei nº8.876, e tem como intuito promover o planejamento e o estímulo da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais; supervisionar as atividades de pesquisa e lavra; assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o País (DNPM, [s.d.]).

f) Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

Criado pela Lei nº7.735/1989, O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) que tem como missão proteger o meio ambiente e assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais, promovendo a qualidade ambiental de direito à vida. Respeitando as diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente estabelecida pela Lei nº 6.938 (1981), visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, propõe e edita normas e padrões de qualidade; faz avaliação de impactos ambientais; dá a concessão federal ou não do

licenciamento ambiental aos empreendimentos; faz a fiscalização, monitoramento e controle ambiental; executa programas de educação ambiental e dá apoio às emergências ambientais (IBAMA, [s.d.]).

3.6.2 Instituições não governamentais

a) Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) - International Commission on Large Dams (ICOLD)

Em 1928, fundou-se a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) que tinha como objetivo incentivar o desenvolvimento no planejamento, projeto, construção, operação e manutenção de grandes barragens e suas obras civis associadas, além de reunir e transmitir informações relevantes e estudar procedimentos relacionados (ICOLD, [s.d.]).

Atualmente, a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) (International Commission on Large Dams – ICOLD) engloba 96 países membros com entidades que visam assegurar a realização e a operação de barragens e obras associadas de forma segura, eficiente, econômica, ambientalmente sustentável e socialmente justa (ICOLD, 2016).

b) Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB)

Ao regressar do Segundo Congresso Internacional de Grandes Barragens realizado pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) em 1936, nos Estados Unidos, o engenheiro Francisco Saturnino de Brito Filho estava determinado em criar uma entidade em nosso País membro à CIGB. Na época, a CIGB possuía apenas 26 comitês nacionais e havia forte movimento de projeto e construção de barragens em todos os países evoluídos. Com altas perspectivas dos benefícios para o Brasil, junto com o engenheiro Luiz Vieira, instituíram a Comissão Brasileira de Grandes Barragens (CBDB, [s.d.]).

Com início na década de 90, o CBGB pretendendo dinamizar a sua atuação, criou núcleos regionais. Atualmente são os seguintes núcleos regionais que têm sustentado importantes atividades em suas regiões, ressaltando as palestras e simpósios:

a) Núcleo Regional – Bahia
b) Núcleo Regional – Ceará
c) Núcleo Regional – Goiás/Distrito Federal
d) Núcleo Regional – Minas Gerais

e) Núcleo Regional – Panamá
f) Núcleo Regional – Pernambuco
g) Núcleo Regional – Rio de Janeiro
h) Núcleo Regional – Rio Grande do Sul
i) Núcleo Regional – Santa Catarina
j) Núcleo Regional – São Paulo

Em 1999, o nome do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB) foi alterado para Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) incluindo também as barragens de menor porte. O CBDB é o representante legal da Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) no Brasil (CBDB, [s.d.]).

3.7 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a lei atual sobre segurança de barragens surgiu em 2010. Algumas organizações já detinham a essência do tema Segurança de barragens inseridas em seu cotidiano. As demais, que não aplicavam estes conceitos em seu cotidiano tiveram que se adequar seguindo a legislação vigente. Antes da lei, não havia a indicação direta de responsabilidades em âmbito nacional. Apenas órgãos ambientais que lidavam isoladamente quando da ocorrência de acidentes.

3.7.1 Âmbito Federal

Em 20 de setembro de 2010, o Presidente da República do Brasil sancionou a Lei nº12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Esta lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

a) Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 metros;
b) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 metros cúbicos;
c) Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
d) Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perdas de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

Segundo o Art. 4º, são fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens:

> I - A segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;
>
> (...)
>
> III - O empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la.
>
> (...)

O Art. 6º determina que os instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) são:

> I- O sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;
> II- O Plano de Segurança de Barragem;
> III- O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
> IV- O Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);
> V- O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
> VI- O Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
> VII- O relatório de Segurança de Barragens.

3.7.1.1 Classificação das barragens

Segundo o Art. 7º da Lei 12.334/2010:

> 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.

A resolução CNRH 143/2012 estabelece que as barragens são classificadas pelos órgãos fiscalizadores e em, no máximo, a cada 5 anos reavaliadas quanto:

a) À categoria de risco

São classificadas de acordo com dados da própria barragem que possam induzir a ocorrência de um acidente. Critérios gerais:

> I- Características técnicas: altura do barramento; comprimento do coroamento da barragem; tipo de barragem quanto ao material de construção; tipo de fundação da barragem; idade da barragem; tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;
> II- Estado de conservação da barragem: confiabilidade das estruturas extravasoras; confiabilidade das estruturas de captação; eclusa; percolação; deformações e recalques; deterioração dos taludes;

III- Plano de Segurança de Barragem: existência de documentação de projeto; estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento; regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; e relatórios de inspeção com análise e interpretação.

b) Ao dano potencial associado

I- Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
II- Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
III- Existência de infraestrutura ou serviços;
IV- Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
V- Existência de áreas protegidas definidas em legislação;
VI- Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e
VII- Volume.

c) Ao volume

I- Muito pequeno: reservatório com volume total inferior ou igual a 500 mil metros cúbicos
II- Pequena: reservatório com volume total superior a 500 mil metros cúbicos e inferior ou igual a 5 milhões de metros cúbicos;
III- Média: reservatório com volume total superior a 5 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 25 milhões de metros cúbicos;
IV- Grande: reservatório com volume total superior a 25 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 50 milhões de metros cúbicos; e
V- Muito grande: reservatório com volume total superior a 50 milhões de metros cúbicos.

Quadros de classificação de barragens constante no Anexo A.

A Portaria DNPM nº 416, de 03 de setembro de 2012, define que as barragens de mineração são classificadas de acordo com o dano potencial associado e com o seu risco, conforme Quadro 3, sendo classe “A” o nível de maior risco e “E” de menor risco.

QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO

	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
CATEGORIA DE RISCO	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	C	D	E

FONTE: DNPM, 2012.

A atualização da classificação será efetuada a cada cinco anos, ou em menor tempo, a critério do DNPM. As barragens são classificadas de acordo com o declarado pelo empreendedor no seu cadastro.

3.7.1.2 Cadastro das barragens de mineração

Segundo a Lei nº12.334/2010, cabe ao órgão fiscalizador implantar e manter atualizado o cadastro das barragens sob sua jurisdição ao Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) no prazo máximo de dois anos a partir da data de publicação. O SNISB integra-se de um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações de barragens em construção, em operação e desativadas.

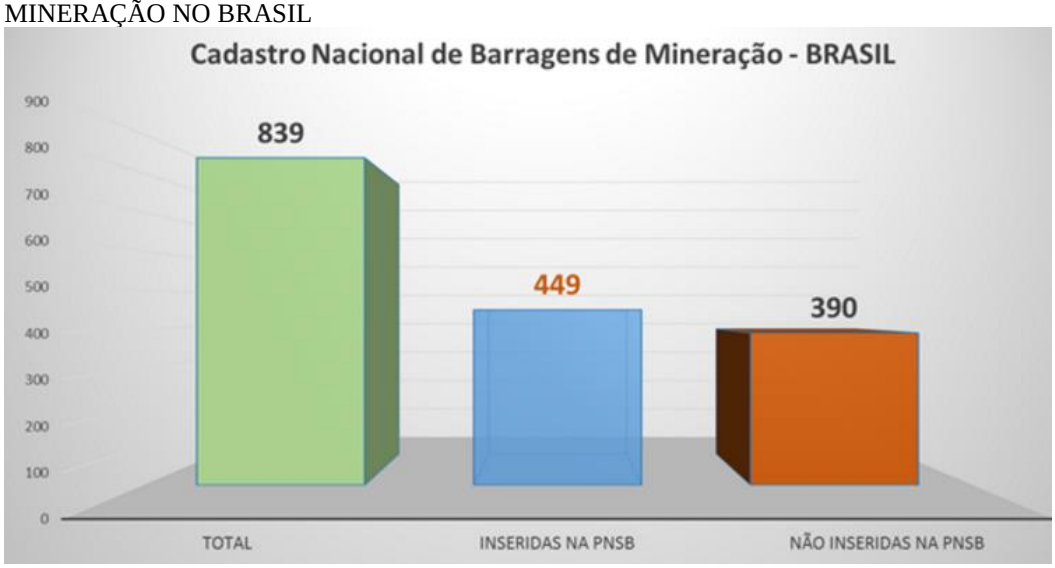
O Cadastro Nacional de Barragens de Mineração foi criado pela Portaria nº416, de 03 de setembro de 2012, que estabelece que toda e qualquer barragem de mineração deve ser cadastrada diretamente no sistema do Relatório Anual de Lavra (RAL), disponível no site do DNPM, pelo empreendedor, anualmente, com o nome do mesmo e os demais dados do empreendimento ou quando o DNPM solicitar sua retificação.

Segundo o Art. 2º, para o efeito dessa Portaria consideram-se:

> I - Barragens de Mineração: barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas.

A Figura 22 apresenta a quantidade de barragens nacionais de mineração cadastradas oficialmente em 2016 no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), além de reportar as parcelas que são inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

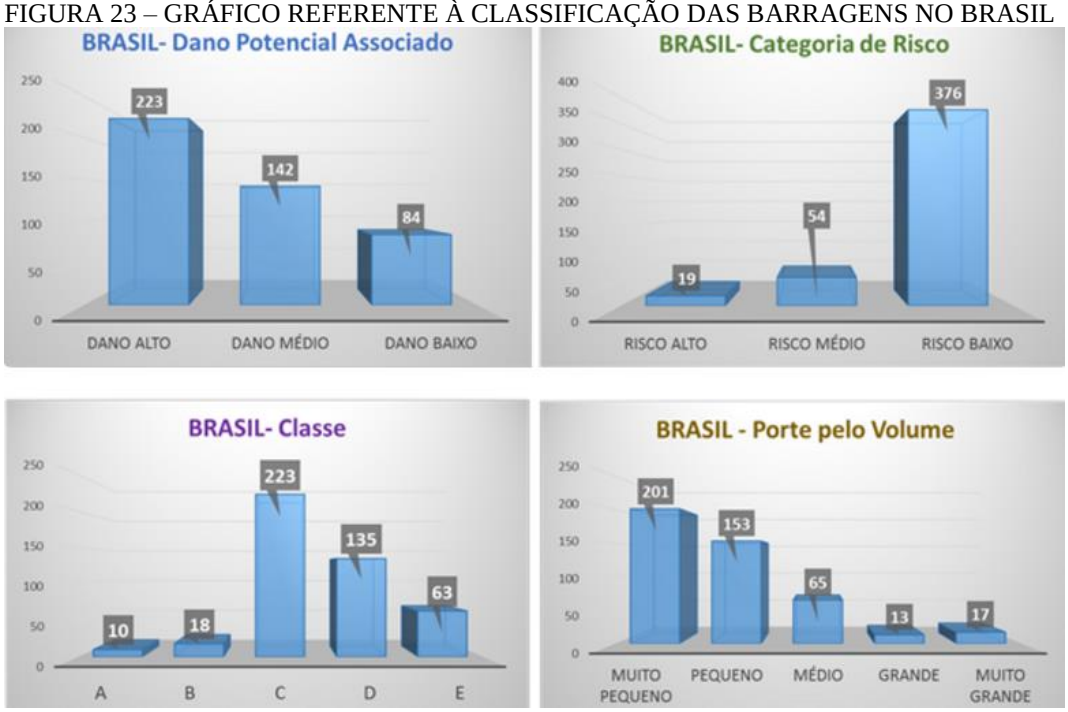
FIGURA 22 - GRÁFICO REFERENTE AO CADASTRO NACIONAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL



FONTE: DNPM, 2016.

A classificação quanto ao dano potencial associado, categoria de risco, classe e porte pelo volume das barragens de mineração no Brasil cadastradas em 2016 no DNPM apresentadas acima podem ser analisadas na Figura 23.

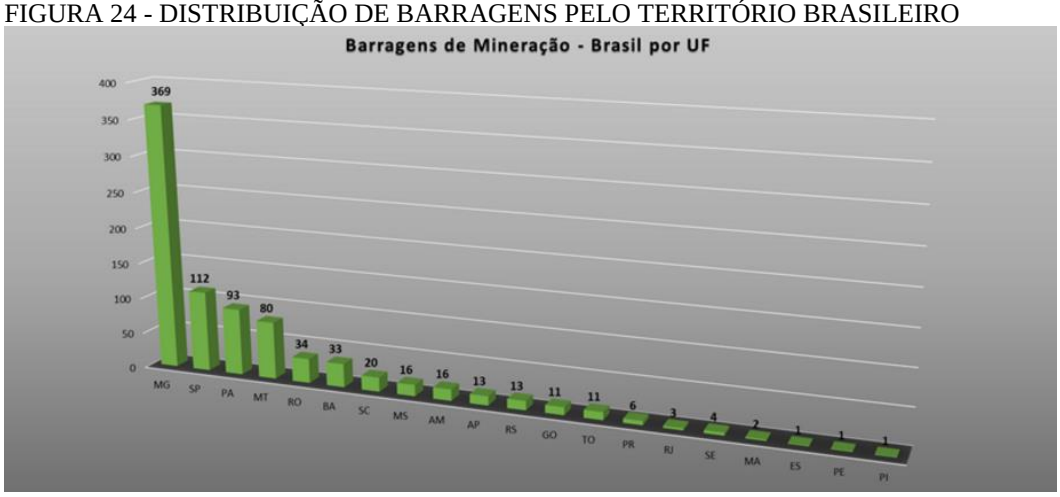
FIGURA 23 – GRÁFICO REFERENTE À CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS NO BRASIL



FONTE: DNPM, 2016.

A maior parte das barragens de mineração com alto risco e ao dano potencial é encontrada no Estado de Minas Gerais, como pode ser evidenciado na Figura 24 e no Quadro 4.

FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO DE BARRAGENS PELO TERRITÓRIO BRASILEIRO



FONTE: DNPM, 2016.

A partir da tabela completa de classificação do DNPM, consegue-se reproduzir as barragens de rejeito do Brasil com maior risco e maior dano potencial, vide Quadro 4.

QUADRO 1 - BARRAGENS DE REJEITO COM ALTO RISCO E ALTO DANO POTENCIAL NO BRASIL

Nome da barragem	**UF**	**Município**	**Porte pelo volume**	**Categoria de risco**	**Dano potencial**	**Classe**
BARRAGEM ÁGUA FRIA – REJEITO	MG	Ouro Preto	Muito pequeno	Alto	Alto	A
BARRAGEM CAPTAÇÃO 1	MG	Ouro Preto	Muito pequeno	Alto	Alto	A
BARRAGEM CAPTAÇÃO 2	MG	Ouro Preto	Muito pequeno	Alto	Alto	A
BARRAGEM GERMANO	MG	Mariana	Muito grande	Alto	Alto	A
BARRAGEM II MINA ENGENHO	MG	Rio Acima	Muito pequeno	Alto	Alto	A
BARRAGEM MINA ENGENHO	MG	Rio Acima	Pequeno porte	Alto	Alto	A
BARRAGEM SANTARÉM	MG	Mariana	Médio porte	Alto	Alto	A
DIQUE 02	MG	Belo Horizonte	Muito pequeno	Alto	Alto	A
DIQUE CONQUISTINHA	MG	Brumadinho	Muito pequeno	Alto	Alto	A
CAVA DO GARIMPO	PA	Curionópolis	Pequeno porte	Alto	Alto	A

FONTE: DNPM, 2016.

A tabela de classificação do DNPM de barragens de rejeito do Brasil com alto e médio risco e alto e médio dano potencial, no ano de 2016, é encontrada no Anexo B.

3.7.1.3 Plano de Segurança da barragem

O Plano de Segurança da Barragem é instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens, conforme instituído na Lei nº 12.334/2010, sendo sua adoção obrigatória pelo empreendedor. O plano é disposto pela Portaria DNPM nº 416/2012 e é composto por quatro volumes, respectivamente:

a) Volume I: Informações Gerais;
b) Volume II: Planos e Procedimentos;
c) Volume III: Registros e Controles;
d) Volume IV: Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Quando se trata de barragens com dano potencial associado alto, ou quando o DNPM achar necessário, o Plano de Segurança da Barragem deve conter também o Volume V, que se refere ao Plano de Ação de Emergência. O conteúdo mínimo de cada volume se encontra no Anexo C.

O Plano de Segurança da Barragem deverá ser elaborado por um profissional com registro no CREA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia) e com atribuições técnicas de projeto, construção, operação ou manutenção de barragens compatíveis com as definidas pelo CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia) e deverá ser produzido até o início da operação da barragem, quando já deve estar disponível no próprio local para utilização para a Equipe de Segurança de Barragem e para os órgãos fiscalizadores. Conforme a sucessão das inspeções e das revisões periódicas, o Plano deverá ser atualizado incorporando suas exigências e recomendações (Portaria DNPM nº416, 2012).

3.7.1.4 Revisão Periódica de Segurança de Barragem

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem é uma parte do Plano de Segurança de Barragem e tem como intuito verificar o estado geral da segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem (Portaria DNPM nº416, 2012).

Conforme o Art. 14º da Portaria DNPM nº416/2012, a Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança, estudando e compreendendo:

> I - O exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;
> II - O exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
> III - A análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

A partir do Art. 15º da Portaria DNPM nº416/2012, o produto final da Revisão Periódica de Segurança de Barragem é o Volume IV do PSB que corresponde a um relatório e deve indicar a necessidade, quando necessário de:

> I - Elaboração ou alteração dos planos de operação, manutenção, instrumentação, testes ou inspeções;
> II - Dispositivos complementares de vertimento, quando houver;
> III - Implantação, incremento ou melhoria nos dispositivos e frequências de instrumentação e monitoramento;

> IV - Obras ou reformas para garantia da estabilidade estrutural da barragem;
> V - Outros aspectos relevantes indicados pelo responsável técnico pelo documento

A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve ser elaborada por equipe multidisciplinar com competência nas diversas disciplinas que envolvam a segurança da barragem em estudo, sua periodicidade máxima é definida em função do DPA (Art. 16º da Portaria DNPM nº416/2012):

> I. DPA alto: a cada 3 (três) anos;
> II. II. DPA médio: a cada 5 (cinco) anos; e
> III. III. DPA baixo: a cada 7 (sete) anos.
>
> § 1° Sempre que ocorrerem modificações estruturais, como alteamentos ou modificações na classificação dos rejeitos depositados na barragem de mineração, o empreendedor ficará obrigado a executar e concluir nova RPSB.
>
> § 2° Para o caso de barragens de mineração alteadas continuamente, independente do DPA, a RPSB será executada a cada dois anos ou a cada 10 metros alteados, prevalecendo o que ocorrer antes, com prazo máximo de seis meses para a conclusão da citada Revisão.
>
> § 3° No caso de retomada de Barragens de Mineração por processo de reaproveitamento de rejeitos, o empreendedor deverá executar previamente a RPSB, sob pena de interdição imediata da estrutura.

3.7.1.5 Inspeções Regulares e Especiais de Barragens

A partir da Portaria DNPM nº416/2012, quinzenalmente ou se quiser, em menor período, o empreendedor deve realizar Inspeções de Segurança Regular de rotina na barragem e deve preencher a Ficha de Inspeção Regular, também sob sua responsabilidade. Anualmente, deve também realizar a Inspeção Anual de Segurança Regular e elaborar o Relatório de Inspeção Regular da Barragem, emitindo a Declaração de Condição de Estabilidade e preenchendo o Extrato da Inspeção de Segurança de Barragem. Quando durante as vistorias, for constatado pontuação superior a 10 pontos, em qualquer coluna do quadro de Estado de Conservação referente à Categoria de Risco da barragem (Anexo A.2), o empreendedor deve realizar Inspeções de Segurança Especiais. As inspeções devem ser realizadas pela Equipe de Segurança da Barragem ou por empresa externa contratada.

As Inspeções e as Fichas de Segurança Especiais devem ser realizadas semanalmente ou em tempo menos, a critério do empreendedor até que a anomalia detectada na Inspeção de Segurança Regular seja extinta ou controlada; a ficha deverá ser anexada ao Plano de Segurança de Barragem no Volume III: Registro e Controles. O Relatório de Inspeção Especial e o Extrato

da Inspeção Especial devem ser elaborados quinzenalmente. Deve ser atestado por meio de uma Inspeção Final de Segurança Especial a extinção ou o controle do problema registrado.

3.7.1.6 Plano de ação emergencial

Para mitigar os riscos de rupturas em barragens de mineração é necessária a implantação de uma fiscalização periódica rigorosa e a adoção de estudos e técnicas estruturais eficientes (ALVES, 2015). Ainda assim, rompimentos acontecem, seja por falta de fiscalização, erros no cálculo estrutural da barragem ou por fatores ambientais. Por isso, mostra-se necessária a implantação de medidas preventivas para redução de danos nessas situações, como planos de emergência e contingência.

No entanto, o Brasil tem 14.966 barragens, entre reservatórios usados para abastecimento humano, geração de energia e armazenamento de rejeitos industriais e minerais. Pela lei, pelo menos 1.129 barragens de todo o país deveriam ter um Plano de Ação de Emergência, mas somente 165 barragens (15%) apresentam esse instrumento de prevenção (ANA, 2015).

a) Definição de PAEBM

O Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM) é um documento técnico a ser elaborado pelo empreendedor que tem o objetivo de evitar perdas de vida e minimizar danos às propriedades e às comunidades a jusante no caso de um eventual rompimento da barragem, de acordo com a Portaria nº 526/2013 do DNPM.

Neste Plano, devem estar identificadas as situações de emergência que possam pôr em risco a integridade da barragem e as ações necessárias nesses casos, além de serem definidos os agentes a serem notificados de tais ocorrências. Tendo em vista que este documento é para ser usado em situações de emergência decorrentes de eventos que afetem a segurança da barragem e possam causar danos à sua integridade estrutural e operacional, à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente; este deve ter capa vermelha e linguagem de fácil entendimento, de modo a subsidiar a tomada de ação nas situações de emergência (INSTITUTO MINERE, 2016).

Por determinação da Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei 12.334/2010), barragens com alto potencial de danos ou quando solicitado formalmente pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) devem ter obrigatoriamente um Plano de Ação Emergencial (PAE) e estar em dia com as exigências contidas no documento. A legislação prevê que a cada obra de

ampliação da capacidade de uma barragem, esse plano deverá ser atualizado proporcionalmente. O documento deve ser elaborado até o início da operação da barragem e a fiscalização das medidas, bem como da sua aplicação, cabe ao e à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).

b) Conteúdo mínimo do PAEBM

A legislação que trata do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração é a Portaria DNPM nº 526/2013, e considera como conteúdo mínimo do PAEBM:

I- Informações gerais da barragem;
II- Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência;
III- Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência;
IV- Fluxograma e procedimentos de notificação com os telefones, quando for o caso, dos envolvidos associados;
V- Responsabilidades gerais no PAEBM;
VI- Análise do estudo de cenários compreendendo os possíveis impactos a jusante resultantes de uma hipotética ruptura de barragem, com seu associado mapa de cenários georreferenciado;
VII- Anexos e apêndices.

Visando atender à Lei 12.334/2010 assim como a Portaria DNPM nº 14/2016, cópias físicas do PAEBM devem ser entregues para as Prefeituras e Defesas Civis municipais e estaduais afetadas, além de cópia digital para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). O PAEBM deve estar na barragem, nas prefeituras e nas defesas civis afetadas.

Detalhamento de alguns itens do conteúdo mínimo de um PAEBM:

III: Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência

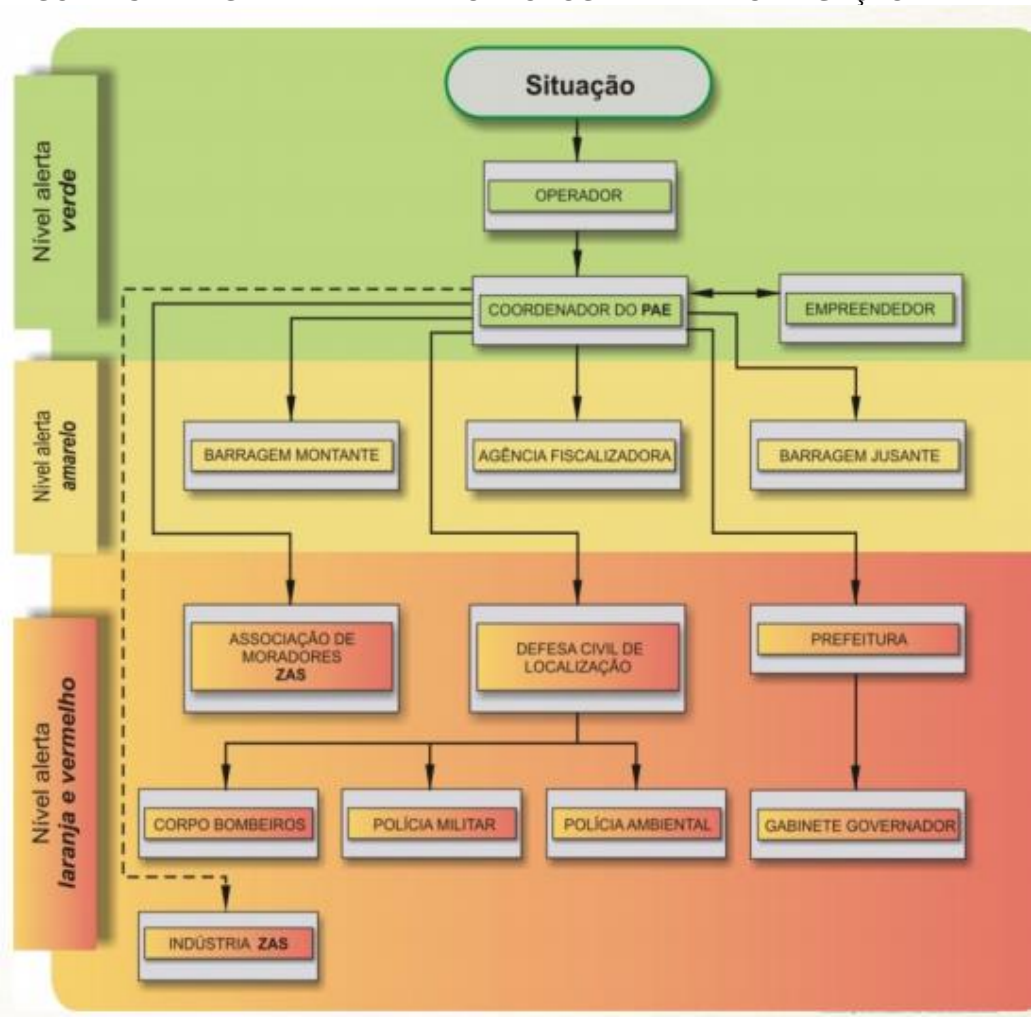
Como verificado na Figura 25, existem três níveis de notificação:

Nível 1 (verde): Foi detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos em qualquer coluna do quadro de Estado de Conservação referente à Categoria de Risco da Barragem de Mineração, de acordo com o Anexo A.2.

Nível 2 (amarelo): Quando o resultado das ações adotadas na anomalia referida no inciso I for classificado como "não extinto", de acordo com a definição do inciso X do art. 31 da Portaria DNPM nº 416, de 2012; ou

Nível 3 (laranja e vermelho): A ruptura é iminente ou está ocorrendo.

FIGURA 25 – IMAGEM REFERENTE AO FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÃO



FONTE: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013.

VI. Estudos de cenários com seus mapas

Caracterização dos possíveis cenários que ocorrerão em virtude de uma eventual ruptura da barragem e estudo destes cenários, resultando no mapa de cenários.

O mapa de cenários deve compreender dois itens essenciais para o PAEBM: a delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por uma eventual ruptura e seus possíveis cenários associados; e a determinação da Zona de Autossalvamento (ZAS), região a jusante da barragem (vide Figura 26) onde se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente, logo, o empreendedor deve se incumbir de avisar para que as mortes sejam minimizadas única e exclusivamente por sua atuação (INSTITUTO MINERE, 2016).

FIGURA 26 – ZAS, ZONA DE AUTOSSALVAMENTO

FONTE: INSTITUTO MINERE, 2016.

c) Barragens de Fundão e Santarém

Os planos de emergência das barragens de Fundão e Santarém foram apresentados oficialmente pela Samarco ao Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) alguns dias depois do rompimento e se encontravam desatualizados (KIEFER, 2015).

Abaixo, alguns erros presentes no PAE:

- Continha números antigos de telefones na lista de moradores a serem avisados em caso de acidente;

- Os povoados atingidos pela lama nunca receberam treinamento contra catástrofes, procedimento previsto pela a Lei Nacional de Segurança de Barragens, Lei 12.334/2010;

- Falta da sirene para dar o alerta;

- Não estavam previstas medidas a serem tomadas nem a lista das pessoas a serem avisadas ou o papel definido para cada uma.

Em março de 2016, a Samarco fez a primeira simulação de situação de emergência com moradores que vivem próximos da mina de minério de ferro em Mariana. Funcionários e agentes da Defesa orientaram as pessoas como agir. A Samarco planeja fazer outra simulação, mas, desta vez, os moradores agirão sozinhos. Questionado se o novo plano teria evitado tantas mortes, Roberto Carvalho, novo presidente da mineradora, que assumiu o cargo em fevereiro de 2016, afirma que “seria difícil evitar as 14 mortes de pessoas que estavam na própria barragem, mas que, sem dúvida, poderia ajudar as 5 pessoas que estavam em Bento Rodrigues” (ALMEIDA, 2015).

3.7.1.7 Nova portaria

Com a colaboração de empresas de mineração, representantes de órgãos de controle, prestadores de serviços e outros, houve debates a respeito de barragens de rejeito e as possíveis

modificações na lei para evitar acidentes que há pouco devastaram o país. Após a análise de diversos argumentos de consultas públicas que duraram 73 dias, o Grupo Técnico de Trabalho do DNPM finalizou a minuta e encaminhou ao Diretor-Geral, que assinou a nova Portaria em 17.05.2017 tendo sido publicada no dia 19.05.2017 (DNPM, 2017).

A Portaria DNPM nº 70.389/2017 altera, integra e substitui as portarias DNPM nºs 416/12 e 526/13. Essas portarias, atualmente revogadas, foram abrangidas no trabalho visto que estavam em vigor durante o seu desenvolvimento e devido ao período de adaptação após sua vigência.

> A Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio 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. 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

Para os efeitos dessa portaria, segundo o Art. 2º consideram-se:

> II - Barragens de Mineração: barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais;
> III - Barragem de mineração ativa: estrutura em operação que esteja recebendo rejeitos e/ou sedimentos oriundos de atividade de mineração;
> IV - Barragem de mineração em construção: estruturas que estejam em processo de construção de acordo com o projeto técnico;
> V - Barragem de mineração existente: estrutura cujo início do primeiro enchimento ocorrer em data anterior à do início da vigência desta Portaria;
> VI - Barragem de mineração nova: estrutura cujo início do primeiro enchimento ocorrer após a data de início da vigência desta Portaria;
> VII - Barragem de mineração em processo de fechamento: estrutura que não opera mais com a finalidade de contenção de sedimentos e/ou rejeitos mas ainda mantém características de barragem de mineração;
> VIII - Barragem de mineração descaracterizada: aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos e/ou rejeitos, não possuindo mais características de barragem de mineração sendo destinada à outra finalidade;
> IX - Barragem de mineração inativa ou desativada: estrutura que não está recebendo aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim mantendo-se com características de uma barragem de mineração;

a) Cadastro e classificação das barragens de mineração

Segundo o Art. 3º da Portaria DNPM nº 70.389/2017, as barragens de mineração devem ser cadastradas diretamente no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), integrando o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. É obrigação do empreendedor cadastrar todas as barragens de mineração em construção, em operação e desativadas sob sua responsabilidade. O cadastramento deverá ser efetuado antes do início do primeiro enchimento e as alterações dos dados podem ser feitas a qualquer tempo ou quando o DNPM solicitar.

Essa Portaria classifica as barragens de mineração de acordo com o quadro de classificação quanto à Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, nas classes A, B, C, D e E, conforme o Quadro 5. Os quadros de classificação de barragens estão presentes no Anexo D.

QUADRO 5 – CLASSIFICAÇÃOD DE CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
CATEGORIA DE RISCO	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	B	C	D
BAIXO	B	C	E

FONTE: DNPM, 2017

O Art. 6º da Portaria DNPM nº 70.389/2017 também obriga o empreendedor a elaborar o mapa de inundação de todas as suas barragens de mineração para auxílio na classificação do dano potencial associado. O mapa de inundação deve ser realizado por um profissional legalmente habilitado, com registro no CREA e ser objeto de anotação de responsabilidade técnica (ART); deve ser executado com base topográfica atualizada em escala apropriada, deve refletir o cenário atual da barragem de mineração; estar em conformidade com sua cota licenciada e deve considerar o cenário de maior dano. Se houver barragens localizadas a jusante da estrutura objeto da avaliação e que estejam dentro da área de influência da inundação, o estudo e o mapa de inundação devem considerar também uma análise conjunta das estruturas. Quando se tratar de barragens com DPA alto, DPA médio se o item existência de população a jusante ou o item impacto ambiental atingir 10 pontos (Anexo D.4) ou quando exigido pelo DNPM, o estudo deverá ser detalhado e o mapa de inundação deve exibir em gráficos e mapas georreferenciados as áreas a serem inundadas, evidenciando a ZAS e a ZSS, os tempos de viagem para os picos da frente da onda e inundações em locais críticos abrangendo os corpos hídricos e possíveis impactos ambientais.

Segundo o Art. 2º da Portaria DNPM nº 70.389/2017, define-se:

> XL - Zona de Autossalvamento - ZAS: região do vale a jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km;
> XLI - Zona de Segurança Secundária - ZSS: Região constante do Mapa de Inundação, não definida como ZAS.

b) Sistema de Monitoramento

O empreendedor é obrigado a instalar um sistema de monitoramento de barragem, em que seu nível de complexidade depende da classificação do seu DPA, conforme o Art. 7º da Portaria DNPM nº 70.389/2017. Para as barragens classificadas com DPA alto, existência de população a jusante com 10 pontos (Anexo D.4) e características técnicas com método construtivo com 10 pontos em sua classificação (Anexo D.1), o empreendedor deve manter obrigatoriamente, monitoramento com acompanhamento em tempo integral, sendo de sua responsabilidade a escolha da tecnologia, dos instrumentos e dos processos de monitoramento. As informações resultantes do monitoramento devem estar disponíveis para as Defesas Civis federais e estaduais e para o DNPM, sendo que as barragens de mineração com alto dano potencial associado devem conter vídeo-monitoramento 24 horas por dia de sua estrutura e conter armazenamento desses dados.

c) Plano de Segurança de Barragem

O Plano de Segurança de Barragem (PSB), a partir do artigo 9º da nova Portaria, deve conter quatro volumes, respectivamente:

a) Volume I: Informações Gerais;
b) Volume II: Planos e Procedimentos;
c) Volume III: Registros e Controles;
d) Volume IV: Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Quando se trata de barragens, com dano potencial associado alto e médio, se o item existência de população a jusante ou o item impacto ambiental atingir 10 pontos (Anexo D.4) ou quando exigido pelo DNPM, o Plano de Segurança da Barragem deve conter também o Volume V, que se refere ao Plano de Ação de Emergência.

O Plano de Segurança da Barragem deve ser realizado por um profissional legalmente habilitado, com registro no CREA e ser objeto de anotação de responsabilidade técnica (ART), deve ser elaborado até o início do primeiro enchimento da barragem, quando já deve estar disponível no próprio local para utilização para a Equipe de Segurança de Barragem e para serem consultados pelos órgãos fiscalizadores e da Defesa Civil. O PSB deve estar disponível em formato físico ou eletrônico, exceto o Volume V (Plano de Ação de Emergência), que deve ser obrigatoriamente físico. Em decorrência das inspeções regulares e especiais e das revisões periódicas, o Plano deverá ser atualizado incorporando suas exigências e recomendações (Seção II da Portaria DNPM 70.389/2017).

O Volume IV do Plano de Segurança da Barragem: Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB) deve indicar as ações a serem implantadas pelo empreendedor, compreendendo:

I. O exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;
II. O exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
III. A análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente;
IV. A realização de novas análises de estabilidade;
V. A análise da segurança hidráulica em função das condições atuais de enchimento do reservatório;
VI. Análise da aderência entre projeto e construção; e
VII. Revisar a documentação “as is”, a depender do caso

Após ser concluída a RPSB, deve ser emitida uma Declaração de Condição de Estabilidade que é anexada ao PSB e inserida no SIGBM. Caso as conclusões da RPSB indiquem a não estabilidade da estrutura, esse resultado deve ser divulgado ao DNPM imediatamente por meio do sistema SIGBM. A interdição da estrutura e a suspensão, pelo empreendedor, do lançamento de efluentes e/ou rejeitos no reservatório deve ocorrer de imediato (Portaria DNPM 70.389/2017).

Conforme a Portaria DNPM 70.389/2017, a periodicidade máxima da RPSB é definida em função do seu Dano Potencial Associado (DPA):

- DPA alto: a cada 3 (três) anos;
- DPA médio: a cada 5 (cinco) anos;
- DPA baixo: a cada 7 (sete) anos.

d) Inspeções de Segurança Regulares e Especiais

A Inspeção de Segurança Regular de Barragem é uma atividade sob a responsabilidade do empreendedor, que visa identificar e avaliar problemas que afetem a condição de segurança da barragem. O empreendedor deve preencher, quinzenalmente, as Fichas de Inspeção Regular e o Extrato da Inspeção de Segurança Regular da Barragem no SIGBM, por meio de equipe interna ou por meio de equipe externa contratada. O não preenchimento dos extratos durante quatro quinzenas subsequentes, provocará a interdição da barragem de mineração além das penalidades administrativas. Semestralmente, deve elaborar o Relatório de Inspeção de Segurança Regular da barragem (RISR) com a Declaração de Condição de Estabilidade, que deve ser enviada ao DNPM por meio do SIGBM, entre 1º e 31 de março e entre 1º e 30 de setembro. Em concordância com o Art. 16º da Portaria DNPM 70.389/2017:

> § 1º Os documentos com entrega prevista entre 1º e 30 de setembro de cada ano, devem ser elaborados obrigatoriamente por equipe externa contratada, e os documentos com entrega prevista entre 1º e 31 de março podem ser elaborados por equipe composta de profissionais do quadro de pessoal do empreendedor.
> § 2º O DNPM poderá exigir do empreendedor, a qualquer tempo, a realização de nova análise de estabilidade, para fins de apresentação de DCE da barragem.
> § 3º A não apresentação da DCE, ensejará a interdição imediata da barragem de mineração.
> § 4º A interdição a que se refere o §3º compreende o não lançamento de efluentes e/ou rejeitos no reservatório, devendo ser mantida a equipe de segurança de barragens com o fim de preservar a segurança da estrutura.
> § 5º As barragens de mineração sem previsão de retorno das operações e em situação de abandono, devem ser recuperadas ou desativadas pelo empreendedor, que comunicará ao órgão fiscalizador as providências adotadas nos termos do art. 18, caput e § 1.º, da Lei nº 12.334, de 2010.

Durante as vistorias de rotina, caso qualquer coluna do Quadro de Estado de Conservação da Classificação quanto à Categoria de Risco for constatado um valor de pontuação máxima de 10 pontos (Anexo D.2), o empreendedor deverá realizar Inspeção de Segurança Especial. Essas Inspeções também devem ser realizadas a qualquer tempo, se exigidas pelo DNPM ou independentemente de solicitação formal, após ocorrência de eventos excepcionais que possam significar impactos nas condições de estabilidade. As Fichas de Inspeção Especial e o Extrato da Inspeção Especial da barragem devem ser preenchidos diariamente pela equipe composta de profissionais internos ou pela equipe externa contratada para esta finalidade, até que a anomalia detectada seja classificada como extinta ou controlado. É também obrigatório ao empreendedor avaliar as condições de segurança e elaborar Relatório Conclusivo de Inspeção Especial da barragem, exclusivamente pela equipe multidisciplinar externa contratada para esta finalidade,

quando a anomalia detectada na ISR da barragem for classificada como extinta ou controlada (Portaria DNPM 70.389/2017).

e) Plano de Ação de Emergência

O Plano de Ação de Emergência deve ser realizado para as barragens com dano potencial associado alto e médio se o item existência de população a jusante ou o item impacto ambiental atingir 10 pontos (Anexo D.4) ou quando exigido pelo DNPM. Vale ressaltar da Portaria DNPM 70.389/2017:

> Art. 32. O PAEBM deve ser atualizado, sob responsabilidade do empreendedor, sempre que houver alguma mudança nos meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situação de emergência, bem como no que se refere a verificação e à atualização dos contatos e telefones constantes no fluxograma de notificações ou quando houver mudanças nos cenários de emergência.

Cabe ao empreendedor da barragem de mineração, em relação ao PAEBM, segundo o Art. 34º da Portaria DNPM 70.389/2017:

> I. Providenciar a elaboração do PAEBM, incluindo o estudo e o mapa de inundação;
> II. Disponibilizar informações, de ordem técnica, para à Defesa Civil as prefeituras e demais instituições indicadas pelo governo municipal quando solicitado formalmente;
> III. Promover treinamentos internos, no máximo a cada seis meses, e manter os respectivos registros das atividades;
> IV. Apoiar e participar de simulados de situações de emergência realizados de acordo com o art. 8.º XI, da Lei n.º 12.608, de 19 de abril de 2012, em conjunto com prefeituras, organismos de defesa civil, equipe de segurança da barragem, demais empregados do empreendimento e a população compreendida na ZAS, devendo manter registros destas atividades no Volume V do PSB;
> ...
> X. Emitir e enviar via SIGBM, a Declaração de Encerramento de Emergência de acordo com o modelo do Anexo VI, em até cinco dias após o encerramento da citada emergência;
> ...
> XII. Fornecer aos organismos de defesa civil municipais os elementos necessários para a elaboração dos Planos de Contingência em toda a extensão do mapa de inundação;
> XIII. Prestar apoio técnico aos municípios potencialmente impactados nas ações de elaboração e desenvolvimento dos Planos de Contingência Municipais, realização de simulados e audiências públicas;
> XIV. Estabelecer, em conjunto com a Defesa Civil, estratégias de alerta, comunicação e orientação à população potencialmente afetada na ZAS sobre procedimentos a serem adotados nas situações de emergência auxiliando na elaboração e implementação do plano de ações na citada Zona;

> XV. Alertar a população potencialmente afetada na ZAS, caso se declare Nível de Emergência 3, sem prejuízo das demais ações previstas no PAEBM e das ações das autoridades públicas competentes;
> ...
> XXIII. Instalar, nas comunidades inseridas na ZAS, sistema de alarme, contemplando sirenes e outros mecanismos de alerta adequados ao eficiente alerta na ZAS, tendo como base o item 5.3, do "Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens" instituído pela Portaria nº 187, de 26 de outubro de 2016 da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional ou documento legal que venha sucedê-lo.

A forma rápida e eficaz de alertar a população potencialmente afetada na ZAS, compreende, mas não se limita, à instalação de sirenes nas áreas afetadas pela inundação, devendo estar integrada à estrutura de monitoramento e alerta da barragem de mineração. Caso a Defesa Civil estadual ou federal solicite, o empreendedor deve manter sistema de alerta ou avisos à população potencialmente afetada na Zona de Segurança Secundária (Portaria DNPM 70.389/2017).

f) Penalidades

As penalidades para o não cumprimento dessas medidas é expressa pelo Art. 46º da Portaria DNPM 70.389/2017:

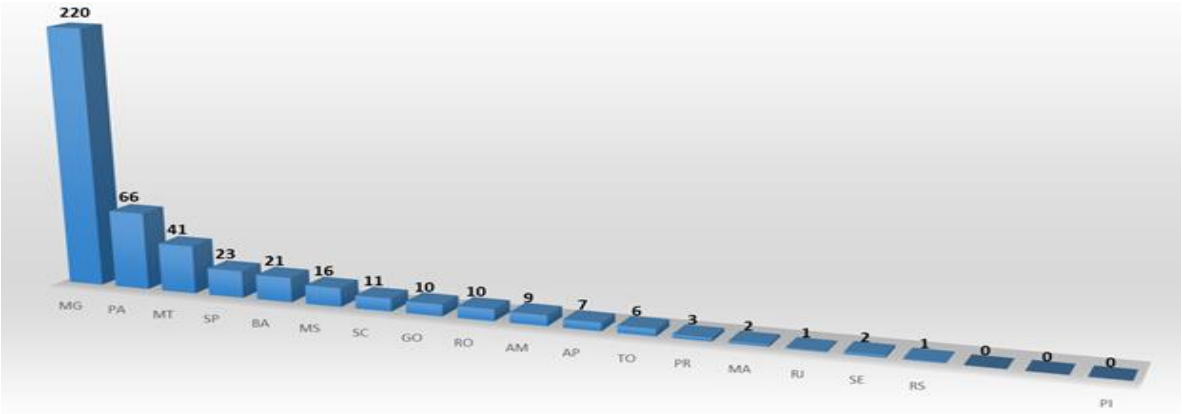
> Art. 46. O não cumprimento das obrigações previstas nesta Portaria e a apresentação de informações inverídicas ao DNPM, sem prejuízo de outras sanções legalmente previstas, conforme o caso sujeitará o infrator às penalidades estabelecidas no art. 100, II, c/c art. 54 do Decreto nº 62.934, de 02 de julho de 1968, e art.9º, caput e incisos IV, VI e VII, e §§ 1º e 2º da Lei nº 7.805/89.

3.7.2 Âmbito Estadual

Em âmbito estadual, a lei pode ser mais restritiva que a lei federal, mas nunca menos. Para cada estado, ambas devem ser atendidas.

O estado de Minas Gerais é um dos estados de maior concentração de exploração mineral no Brasil e o que tem o maior número de barragens registrados na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) como mostra a Figura 27, com um total de 220 barragens, número elevado em relação ao segundo colocado, o estado do Pará com 66 barragens.

FIGURA 27 – DISTRIBUIÇÃO DAS BARRAGENS INSERIDAS NA PNSB



FONTE: DNPM, 2016.

A grande concentração de barragens, somada ao fato de os acidentes de ruptura de barragens no Brasil terem ocorridos no Estado de Minas Gerais, deixando visível o potencial de dano ambiental e social que esses acidentes podem originar, mostraram a necessidade de uma lei estadual mais restritiva. Logo, foi criada em 2002 a Deliberação Normativa nº 62 (COPAM, 2002), aprovada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), considerando a necessidade de conhecer o acervo de barragens de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração do Estado de Minas Gerais. Essa deliberação normativa dispõe sobre requisitos mínimos para o licenciamento de novas barragens, de critérios de classificação, de mecanismos específicos para a segurança na implantação, construção, operação e fechamento/desativação de barragens por parte dos empreendedores. Ao longo dos anos, outras Deliberações normativas foram criadas pelo COPAM para complementar a lei e suprir lacunas da DN COPAM nº 62.

Uma diferença importante entre a lei estadual de Minas Gerais e a lei federal é a obrigatoriedade do Plano de ação de emergência para todas as barragens e não apenas para as que são classificadas como alto dano potencial associado.

A lei estadual de Minas Gerais tem outro critério de classificação de barragens, em classes de I a III.

Outra diferença importante é a determinação de prazos para realização de auditorias periódicas nas barragens a partir da classificação do potencial de dano ambiental, sendo o intervalo um, dois ou três anos.

A lei exige que a auditoria seja realizada por um consultor independente da empresa e os relatórios das auditorias devem apresentar as condições físicas e estruturais das barragens e afirmar a sua estabilidade, forçando o auditor a se posicionar. Caso não apresentem estabilidade, o relatório indica um plano de ações com prazo para implantação de aperfeiçoamentos, com o objetivo de corrigir as falhas e garantir a estabilidade das estruturas (FEAM, [s.d.]).

No entanto, as barragens do estado não seguem a lei estadual. Além disso, a lei se encontra desatualizada e obsoleta em relação a temas como a desativação de minas (ÁVILA; ARAGÃO; MIRANDA, 2017). Por esses motivos e devido a acidentes recentes, há uma proposta para integração das leis em âmbito estadual e federal.

4 METODOLOGIA

A Pesquisa de Referência deixa visível que empresas de mineração não lidam com o rejeito da forma como deveriam. Em barragens de água, há uma preocupação maior no modo em como essa água é represada, já que é uma matéria prima servindo para abastecimento ou produção de energia elétrica, por exemplo, e trará retorno financeiro para o empreendedor. Já no caso de barragens de rejeito, embora uma ruptura possa acarretar uma perda econômica considerável à mineradora, devido a impactos ambientais e perdas de vida, os rejeitos ainda são vistos como algo a ser descartado por não ter nenhum valor agregado. O investimento necessário para mudanças em sua disposição é alto e não traz lucro efetivo aos proprietários, uma vez que o rejeito ainda não tem aplicação rentável no mercado. O retorno desse investimento é voltado primordialmente à conservação ambiental.

Baseado em tudo que foi apresentado, a partir daqui começa o estudo de instrumentos de gestão. É importante ressaltar que a gestão de barragens de rejeito pode ser dividida na gestão feita para evitar que um acidente ocorra, a gestão preventiva, e na gestão de mitigação pós ruptura. Os instrumentos estudados estão dentro da gestão preventiva, mas foi feita uma análise sucinta da gestão pós ruptura para efeito comparativo.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram consultados materiais das principais instituições associadas a barragens de rejeito de mineração, como o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM); trabalhos de conclusão de curso e livros relacionados ao tema.

Houve também a participação das integrantes do grupo no II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de barragens de rejeitos, ocorrido em 16 e 17 de maio de 2017, em Belo Horizonte. O seminário incluiu relatos, debates e apresentação de trabalhos técnicos recentes, além do contato com pessoas do meio de barragens de rejeito e fornecedores de tecnologias.

5 DISCUSSÕES E RESULTADOS

Barragens de rejeito estão entre as maiores estruturas de risco do mundo e a tendência é piorar, caso nada seja feito para mudança no cenário atual, em que a preocupação dos proprietários de barragens é baseada no critério *"higher, bigger, faster, lower cost*" (ROBERTSON, 2017).

O problema atual no cenário de barragens de rejeito são as rupturas frequentes e os impactos causados por elas. O objetivo do trabalho, como já foi dito, é buscar evitar rupturas ou ao menos reduzir os impactos significativos caso elas ocorram. Tendo definidos o problema e o objetivo, é possível encontrar meios que estabelecem a direção a ser seguida para que esse objetivo seja alcançado, englobados pela gestão, responsável pelo monitoramento e controle visando atingir os resultados esperados.

5.1 GESTÃO PREVENTIVA

Um sistema de gestão e gerenciamento de segurança e riscos em uma barragem ou depósito de rejeitos é "o conjunto de procedimentos, ferramentas e melhores práticas que ajudam a controlar os riscos envolvendo instalações de armazenamento de rejeitos" (BITTAR, 2017).

Embora pareça óbvio que uma barragem de rejeitos deva ter uma gestão de riscos adequada, a falta de gestão é um dos fatores de peso em rupturas, com potencial de grandes consequências ambientais, econômicas e sociais. Uma gestão adequada tem grande resultado no controle dos riscos e deve se basear em uma integração entre projeto, construção e operação; monitoramento contínuo e uma estrutura organizacional que efetivamente aplique as ferramentas necessárias.

Com o estudo de impactos ambientais gerados por barragens de rejeito e uma análise de rupturas recentes, é possível definir cinco instrumentos que podem prevenir possíveis rompimentos, ou pelo menos atenuar impactos significativos, e devem preferencialmente ser aplicados em conjunto, acompanhados de uma gestão eficiente que fiscaliza o processo.

5.1.1 Legislação

A mineração é essencial para a economia brasileira, porém pode degradar o meio ambiente e não existem normas técnicas sobre as boas práticas para recuperação de áreas degradadas, a lei apenas institui em termos gerais o dever de recuperação. A Constituição Federal de 1988 trata a atividade minerária como de "ordem econômica e financeira" no art. 176, dentro do título VII. No artigo, entretanto, não há nada a respeito de condutas ou gestão da atividade minerária.

Países como Canadá, Chile, Austrália e África do Sul têm vasta experiência em mineração. As diretrizes ditadas por eles são reconhecidas como “boas práticas” no mundo. No Brasil, a lei atual sobre segurança de barragens surgiu em 2010. No entanto, a ruptura da Barragem de Fundão em 2015 obrigou o Departamento Nacional de Produção Mineral a rever e aprimorar a legislação aplicada a barragens.

Em função disso, em 17 de maio de 2017, o Departamento publicou a Portaria nº 70.389. Com essa publicação, foram revogadas a Portaria nº 416/2012 e a Portaria nº 526/2013, que retratavam o mesmo tema. Dessa forma, o Departamento concentrou todos os dispositivos legais em um só regulamento, contribuindo para o seu melhor entendimento, praticidade e aperfeiçoamento.

O Quadro 6 é um comparativo com as principais alterações produzidas por essa nova portaria.

QUADRO 6 – COMPARAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DA PORTARIA DNPM Nº 70.389/2017 E COM AS PORTARIAS DNPM Nº 416/2012 E Nº 526/2013.

<table>
<tr><th></th><th>PORTARIAS ANTIGAS
416/2012 e 526/2013</th><th>PORTARIA ATUAL
70.389/2017</th></tr>
<tr><td>Definições de Barragens</td><td>Barragem de mineração</td><td>Barragem de mineração ativa, em construção, existente, nova, em processo de fechamento, descaracterizada, inativa ou desativada</td></tr>
<tr><td>Cadastramento de Barragens</td><td>RAL (Sistema do Relatório Anual de Lavra)</td><td>SIGBM (Sistema Integrado de Gestão e Segurança de Barragens de Mineração)</td></tr>
<tr><td>Classificação das Barragens de mineração</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="3">DANO POTENCIAL ASSOCIADO</td></tr>
<tr><td>CATEGORIA DE RISCO</td><td>ALTO</td><td>MÉDIO</td><td>BAIXO</td></tr>
<tr><td>ALTO</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr>
<tr><td>MÉDIO</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td>BAIXO</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><td></td><td colspan="3">DANO POTENCIAL ASSOCIADO</td></tr>
<tr><td>CATEGORIA DE RISCO</td><td>ALTO</td><td>MÉDIO</td><td>BAIXO</td></tr>
<tr><td>ALTO</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr>
<tr><td>MÉDIO</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td>BAIXO</td><td>B</td><td>C</td><td>E</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td></td><td>PORTARIAS ANTIGAS
416/2012 e 526/2013</td><td>PORTARIA ATUAL
70.389/2017</td></tr>
</table>

Sistema de Monitoramento de Segurança de Barragem	Não havia obrigatoriedade de implementação do sistema.	Obrigação do empreendedor.
Plano de Ação de Emergência	Obrigatório para barragens com Dano Potencial Associado (DPA) alto	Obrigatório para barragens com DPA alto e médio se o item existência de população a jusante ou o item impacto ambiental atingir 10 pontos
Periodicidade Máxima da Revisão de Segurança de Barragem	Em função da classe da barragem	Em função do DPA da barragem
Inspeção de Segurança Regular da Barragem	Anual	Semestral
Inspeções Especiais de Segurança	Semanalmente	Diariamente por meio de equipe externa multidisciplinar
Mapa de Inundação	Não era obrigatório	Obrigatório
Zona de Autossalvamento	Sem limitação de sua área	Com delimitação de sua área
Treinamentos Internos	Sem delimitação de periodicidade máxima	Periodicidade máxima de seis meses
Planos de Contingência	Não era obrigatório	Obrigatório

FONTE: AUTORAS, 2017.

Breve explicação de cada item do quadro:

a) **Definição de barragens:** mudança na conceituação de barragem de mineração e incorporação de novos conceitos que ainda estavam sem definição legal (barragem de mineração ativa, em construção, existente, nova, em processo de fechamento, descaracterizada, inativa ou desativada);

b) **Cadastramento de barragens:** criação do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM que integrará o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração;

c) **Classificação de barragens de mineração:** mudança na Matriz de Classificação de Barragens de Mineração;

d) **Sistema de monitoramento de segurança de barragem:** nova obrigação do empreendedor de implementar sistema de monitoramento de segurança de barragem. O nível de complexidade do sistema depende da classificação em dano potencial associado (DPA). Para barragens de mineração classificadas com DPA alto, existência de população a jusante ou características técnicas com método construtivo com pontuação 10 pontos, segundo o Anexo D.4, o empreendedor é obrigado a manter monitoramento com acompanhamento em tempo integral;

e) **Plano de ação de emergência:** nova classificação das barragens em que é exigido o Volume V do Plano de Segurança da Barragem, obrigatório para barragens com dano potencial associado alto e médio se o item existência de população a jusante ou o item impacto ambiental atingir 10 pontos, segundo o anexo D.4, ou quando exigido pelo DNPM, abrangendo um maior número de barragens que devem conter o Plano;

f) **Periodicidade máxima da revisão de segurança de barragem:** mudança na periodicidade da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, agora feita em função do dano potencial associado;

g) **Inspeção de segurança regular da barragem:** mudança na periodicidade da elaboração do Relatório de Inspeção de Segurança Regular da Barragem, que passa a ser semestralmente ao invés de anualmente, sendo que um deles deve ser, obrigatoriamente, elaborado por uma empresa externa contratada;

h) **Inspeções de Segurança Especiais (ISE)**: mudança na periodicidade da realização das Inspeções Especiais, da elaboração das Fichas de Inspeção Especial e do Extrato de Inspeção Especial, que passam a ter sua produção diária. A Inspeção Final Especial de Segurança deve ser elaborada até que a anomalia detectada na ISE tenha sido classificada como extinta ou controlada e deve ser analisada por meio de equipe externa multidisciplinar de especialistas contratada para esta finalidade. Também deve ser elaborado um Relatório Conclusivo de Inspeção Especial de Barragem;

i) **Mapas de inundação:** Nova obrigação do empreendedor de elaborar o mapa de inundação, a região que será afetada pelo rejeito caso venha a ocorrer uma ruptura. Com

a nova portaria, os mapas são obrigatórios para todas as barragens de mineração por modelo simplificado. As barragens que necessitam de Plano de Emergência devem elaborar um mapa de inundação mais criterioso;

j) **Zona de Autossalvamento:** Nova conceituação de Zona de Autossalvamento – ZAS, com delimitação de sua área, que deve conter a maior das seguintes distâncias: distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km. Houve também a definição de Zona de Segurança Secundária;

k) **Treinamentos internos:** obrigação do empreendedor em promover treinamentos internos, no máximo a cada seis meses, e manter os respectivos registros das atividades;

l) **Plano de contingência:** É obrigação do empreendedor fornecer aos organismos de defesa civil municipais os elementos necessários para a elaboração dos Planos de Contingência em toda a extensão do mapa de inundação.

A mudança na classificação das barragens de mineração em função da categoria de risco e dano potencial associado tornou mais rígida as classes em que as barragens se inserem, dando uma importância maior a barragens com alto e médio dano potencial associado, mesmo sendo de baixo risco. Essa mudança é importante, pois a Barragem de Fundão era considerada com alto dano potencial associado e baixo risco, ou seja, classe C e foi o maior desastre ambiental do Brasil, causando inúmeros danos sociais e ambientais.

No item a respeito de revisão de Segurança da Barragem, nas portarias antigas a periodicidade era em função da classe da barragem: Classes A e B a inspeção era feita a cada 5 anos, classe C a cada 7 anos e classes D e E a cada 10 anos. Na portaria atual, essa periodicidade é feita em função do dano potencial associado da barragem, ou seja, se a barragem é classificada como alto dano potencial associado, as revisões são feitas a cada 3 anos, médio dano a cada 5 anos e baixo dano a cada 7 anos. Essa mudança reduz o intervalo de tempo entre as revisões de segurança de todas as barragens, garantindo que as averiguações das condições de estabilidade sejam mais frequentes, possibilitando identificar potenciais falhas de forma mais eficiente e facilitando a correção de anomalias.

Os treinamentos internos sempre foram de obrigação do empreendedor de acordo com a lei. No entanto, as antigas portarias não delimitavam uma periodicidade máxima para esses treinamentos, o que resultava em anos sem treinamentos dos funcionários, tornando-os desatualizados e despreparados. A nova portaria delimita um período de tempo máximo de seis meses entre os treinamentos internos, e devem-se manter os registros das atividades.

Em Minas Gerais, onde a concentração de barragens de rejeito é a maior do país, a legislação em caráter estadual é mais restrita do que a federal em pontos muito positivos como a obrigatoriedade do PAE para todas as barragens de rejeito, não só para barragens com alto dano potencial associado. O ideal seria que houvesse a integração das leis. Mesmo com esse aprimoramento da legislação, tornando-a mais rígida, a lei estadual ainda é mais restrita em pontos como planos de ação de emergência e periodicidade das inspeções de segurança.

5.1.2 Fiscalização

O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) é o órgão gestor do patrimônio mineral brasileiro e o responsável pela fiscalização da gestão da segurança de barragens de rejeito no país. Entre as ações do órgão, é possível destacar a elaboração de instrumentos de regulamentação, capacitação de servidores, ações fiscalizatórias e apresentação de seminários e palestras às empresas mineradoras e sociedade.

O DNPM também supre as lacunas da legislação minerária por meio de normas reguladoras, decretos e portarias. O instrumento da Legislação perde seu objetivo se não houver uma fiscalização eficiente que garanta que ela seja de fato aplicada. Por isso, fica o questionamento de quais ações fiscalizatórias estão de fato sendo realizadas e qual sua real eficiência no sentido de proteger a sociedade e o meio ambiente.

Até 2015, não havia histórico de fiscalização nas barragens de mineração, além da falta de pessoal e verba por parte do DNPM, o que dificultava a realização das vistorias. A partir da catástrofe ocorrida na barragem do Fundão em novembro de 2015, ocorreram demandas específicas do governo federal para o DNPM no sentido de intensificar suas ações. Para isso, houve a contratação provisória de mão de obra qualificada para apoio nos diagnósticos da situação das estruturas existentes em Minas Gerais.

Esse tipo de intervenção e investimento do governo federal poderia ser feita visando prevenir rompimentos ao invés de remediar desastres já ocorridos.

Atualmente, a fiscalização é feita da seguinte forma: a mineradora realiza o monitoramento periódico da barragem e envia as informações para o DNPM. O órgão realiza a fiscalização à distância a fim de conferir se os dados se encontram dentro das condições de segurança e inspeções surpresas são realizadas periodicamente in loco.

Esse modelo tem se mostrado eficiente no exterior, pois o empreendedor se obriga a fornecer informações periodicamente. No entanto, no Brasil é questionável a real eficácia do modelo, uma vez que o desastre em Mariana em 2015 foi a mais recente prova de falha no processo. Segundo depoimento do grupo externo Independent Tailing Review Board (ITRB) que avaliava as condições de Fundão e da Consultoria Pimenta de Ávila, a mineradora Samarco omitiu informações a respeito da Barragem de Fundão. Em processo jurídico, a consultoria se isentou de penalidades decorridas do rompimento e a mineradora foi responsabilizada de acordo com a legislação pelo ocorrido (MARQUES, 2016).

Esse é o modelo moderno de fiscalização aplicado em diversos setores. É interessante do ponto de vista do monitoramento, pois obriga as mineradoras a realizarem uma autoinspeção, atribuindo ao empreendedor um senso de responsabilidade. No entanto, a situação de omissão de dados citada mostra uma necessidade de modificar o método em alguns pontos.

Uma opção seria a contratação de mais funcionários para diminuir a periodicidade dessas inspeções surpresas. Isso garantiria a averiguação mais frequente das informações passadas pelas mineradoras, tornando possível um acompanhamento mais próximo para facilitar a identificação de fraudes e as revisões dos projetos, permitindo que o DNPM tenha ciência do estado atual real das barragens e possa tomar as devidas medidas, sejam elas em auditorias específicas ou apenas em um novo controle de conferência para as modificações realizadas na barragem.

Essa contratação deve ser acompanhada da capacitação dos profissionais do setor de mineração. De acordo com Paulo Camillo Vargas Penna, presidente do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), acidentes nessas estruturas decorrem da deficiência de conhecimento técnico pelos operadores e da não aplicação da tecnologia disponível. A tecnologia deve auxiliar os profissionais e ser ferramenta para que os mesmos possam administrar e monitorar o funcionamento das barragens com maior resiliência (PENNA, 2017).

Contudo, a contratação e capacitação de pessoal não são suficientes se os funcionários ficarem alocados na sede do órgão. As barragens estão espalhadas pelo Brasil e, mesmo dentro do estado de Minas Gerais, estão distribuídas ao longo do território, sendo necessário também descentralizar o departamento, criando escritórios regionais mais próximos dos locais onde serão feitas as inspeções.

O principal argumento para o número insuficiente de funcionários do DNPM é a limitação orçamentária vinda do governo. Uma solução para esse problema seria a cobrança na fiscalização, assim como é feito no caso de licenciamentos. Uma taxa seria aplicada pelo serviço e pelas horas gastas durante o trabalho do funcionário, o que pode vir a tornar a fiscalização mais efetiva, já que dessa forma a taxa teria retorno direto ao departamento e a alegação de falta de verba vinda do governo não seria mais um problema.

5.1.3 Auditorias

Auditoria é a coleta e avaliação da documentação existente e inspeção detalhada de campo com objetivo de verificar a implementação dos Planos de Segurança de cada barragem e a condição real in loco de segurança da estrutura. É uma atividade complexa, que exige uma equipe multidisciplinar e é de extrema importância para identificar não conformidades em estágios iniciais evitando agravamento e acidentes, e checar a condição de segurança, o atendimento aos requisitos legais e garantir a eficiência do sistema de gestão, fornecendo bases para a gestão de segurança e dos riscos.

A auditoria deve ser realizada em diferentes estágios da vida da barragem e pode ser solicitada pelos órgãos reguladores e fiscalizadores ou pela própria empresa para avaliação do desempenho e resulta em um relatório que indica as conformidades ou não conformidades e quais são as medidas corretivas. O relatório deve também identificar fragilidades como construção ou materiais em discordância com o projeto, deterioração da estrutura ou riscos geológicos e, ao final, avaliar o Plano de ação de emergência e garantir que ele está em um nível apropriado para atuação no caso de emergência.

No caso de auditorias solicitadas pela própria empresa, o objetivo é verificar se a barragem está operando de forma eficaz e segura. Não é um instrumento obrigatório e sim voluntário, ou seja, a sua não realização não gera uma punição direta. No entanto, é um relatório que informa diretores, responsáveis e até eventuais investidores, além de poder evitar acidentes ou problemas com os órgãos ambientais, prejudicando seus lucros. Neste caso, a auditoria pode ser considerada um instrumento voluntário de caráter econômico.

Já no caso de auditorias solicitadas por órgãos fiscalizadores, o objetivo é de certificar que a barragem foi projetada, construída e está sendo operada de maneira adequada, visando à proteção da sociedade e do meio ambiente e ao atendimento aos requisitos legais. Nesse caso, a auditoria é um instrumento legal e pode gerar penalidades se não realizada.

Atualmente, a maior fragilidade na gestão de Segurança de barragens é a auditoria não independente (ÁVILA; ARAGÃO; MIRANDA, 2017). Auditoria independente ou externa é aquela realizada por profissionais externos ao quadro de funcionários do empreendedor e proporciona a empresa uma visão externa, evitando a aceitação de uma irregularidade devido ao convívio contínuo. O Estado de Minas Gerais possui deliberações normativas que tratam da obrigatoriedade de auditoria independente. Porém, essa obrigatoriedade não é sempre seguida (ÁVILA; ARAGÃO; MIRANDA, 2017).

Além disso, não há nenhuma indicação de procedimentos a serem adotados, não havendo protocolos, regulamentos ou termos de referência. O conteúdo da auditoria fica a critério dos auditores. Países como Canadá e Austrália possuem guias e manuais com as diretrizes a serem seguidas nos trabalhos de auditoria.

Outro fato que demonstra fragilidade na forma como auditorias são realizadas atualmente é o fato de que barragens como Fundão, Herculano e Rio Pomba possuíam laudos de segurança atestando sua estabilidade e mesmo assim romperam. Há, portanto, uma ineficiência do processo de certificação de estabilidade.

Houve o estudo destes laudos por Joaquim Pimenta de Ávila, Giani Aragão e Marta Sawaya Miranda (2017) e as principais características negativas notadas por eles foram estrutura de laudo heterogênea de cada auditor e o conteúdo tem mais extensão em características conhecidas e menos relevantes do que em aspectos de estabilidade. Os autores Ávila, Aragão e Miranda (2017) propuseram uma padronização de protocolo para a realização de auditorias independentes, já que a falta de protocolo dificulta a análise para certificação de que o trabalho foi realizado adequadamente.

Pontos mais importantes a serem mudados e discutidos (ÁVILA; ARAGÃO; MIRANDA, 2017):

a) Auditoria externa ou independente

Importante para uma visão imparcial da situação para um julgamento independente (“Fresheyes”). Auditorias são essenciais para que a eficácia da gestão seja avaliada corretamente. Porém, deve-se garantir que o auditor seja alguém desvinculado dos projetos, operações e processos de gestão. Se o auditor for alguém do meio, seu bom senso pode estar comprometido, por isso ele deve ser alienado ao cenário e apresentar de forma imparcial os

resultados para que estes tenham caráter mais verídico. Com o aprimoramento da legislação, a nova portaria já exige que a segunda auditoria semestral do ano seja feita por uma equipe externa, mas o ideal é que todas sejam feitas dessa forma. E no caso de Minas Gerais, que já possui essa obrigatoriedade na lei, deve haver a fiscalização para garantir sua aplicação.

b) Frequência das auditorias

Mesmo com o aumento da frequência das auditorias pela atualização da norma, a frequência não deveria ser feita apenas em termos de cronologia. Deveria considerar também variação das condições de segurança, como velocidade de subida do reservatório, quantidade de rejeitos depositados, etc. Ou seja, a frequência teria dois critérios: tempo ou por mudança das condições da barragem, e a auditoria seria realizado no menor intervalo entre os dois.

c) Metodologia das auditorias

Para evitar laudos heterogêneos como os analisados de barragens rompidas, deve haver um protocolo obrigatório de atendimento com uma lista de verificação a ser respondida, seu diagnóstico e declaração da condição de estabilidade, como no Quadro 7. Assim, o resultado tem utilidade na gestão da segurança, indicando ações corretivas. Abaixo o modelo de protocolo proposto.

QUADRO 7: CONDICIONANTES DE SEGURANÇA A SEREM AVALIADAS DURANTE PROCESSO DE AUDITORIA

Itens Avaliados	**Conformidade**		**Ponto de preocupação relevante?**		**Mitigação/ Comentários**
	Sim	**Não**	**Sim**	**Não**	
Base cartográfica					
Informações hidrometeorológicas					
Dados geológicos e geotécnicos					
Estudo geotécnicos					
Itens Avaliados	**Conformidade**		**Ponto de preocupação relevante?**		**Mitigação/ Comentários**

	Sim	Não	Sim	Não	
Planejamento de longo prazo para enchimento do reservatório					
Dimensionamentos das estruturas de extravasão e drenagem superficial					
Dimensionamento dos taludes da barragem					
Sistema de drenagem interna					
Método de Disposição/Lançamento					
Manual de Operação					
Projeto Instrumentação					

FONTE: ÁVILA, ARAGÃO e MIRANDA, 2017.

5.1.4 Tecnologias sem vasta aplicação

Acidentes e rupturas em barragens de rejeito motivaram uma procura por tecnologias que não são inovações, pois já têm anos de aplicação pelo mundo, no entanto têm pouca ou nenhuma aplicação no Brasil. Podem ser consideradas tecnologias de menor risco.

Envolvem grandes dificuldades, principalmente em relação à custos, mas sua implantação tem resultados significativos na redução dos riscos à longo prazo, pois diminui simultaneamente as probabilidades de ruptura e os potenciais danos.

A estabilidade estrutural depende fundamentalmente do controle da água, que maximiza o potencial de dano associado à barragem de rejeito quando se trata de ruptura. Com base nesses conceitos, surge a tendência de que o futuro é a mineração a seco, pois se a água é o principal agente instabilizador das barragens de rejeito, retirá-la do processo (ou reduzi-la) diminuiria significativamente os índices de riscos.

É importante mencionar que quando se fala em barragens de rejeito, os riscos nunca podem ser considerados nulos. Porém, a contenção dos efeitos de uma ruptura proveniente de um empilhamento de rejeitos secos pode ser mais controlada do que de uma ruptura de uma barragem de rejeito convencional.

As tecnologias buscam o desaguamento dos rejeitos de modo a transformá-los em materiais de baixo grau de saturação e recuperar a água para os processos, introduzindo um benefício adicional de reaproveitar água.

A drenagem dessa água depende da granulometria do rejeito para que seja definida a melhor tecnologia a ser aplicada. Rejeitos finos têm menor permeabilidade e por isso exigem processos mais complexos como filtros prensa que serão explicados com mais detalhes posteriormente. Já rejeitos granulares, que são permeáveis e podem realizar a drenagem por gravidade, as soluções são mais simples como a utilização de filtros comuns ou drenos.

As tecnologias que serão detalhadas ao longo do desenvolvimento do trabalho incluem polímeros que aumentam a densidade do rejeito permitindo a liberação da água e filtros para retirada de água em rejeitos finos. Ao fim, caso é apresentado uma alternativa para o rejeito seco, a reciclagem.

5.1.4.1 Rheomax ® ETD

De acordo com o representante da BASF, Jorge Luiz Berto Davo, no II Seminário Gestão de Riscos e Segurança de barragens de rejeito em maio de 2017, a patente do produto pertence à BASF, empresa química global de origem alemã, e é válida até 2024. O Rheomax® Etd é um polímero projetado para facilitar a disposição do rejeito, aumentando sua densidade e permitindo a liberação da água limpa por meio do controle da reologia do rejeito.

A dosagem normalmente está na faixa de 50 a 300g por tonelada de substrato seco tratado. A aplicação do polímero ao rejeito promove uma redistribuição das partículas, resultando na captura de finos e rearranjo das fracções grossas. O Rheomax® Etd muda apenas a reologia do rejeito, ou seja, não há uma reação química entre os agentes que libera um terceiro composto com propriedades diferentes, ele apenas muda as características físicas, logo, não é necessário um reprocessamento do material após utilização do polímero para retirar contaminantes e passivos ambientais.

A utilização do polímero permite que as mineradoras recuperem com rapidez a área que está sendo ocupada pela barragem, ajuda a reduzir a turbidez[16], tende a manter ou aumentar o ângulo

[16] Turbidez: Propriedade física dos fluidos que se traduz na redução da sua transparência devido à presença de materiais em suspensão que interferem com a passagem da luz através do fluido.

de praia[17], melhora a distribuição granulométrica ao longo do trajeto aumentando a permeabilidade. A água recuperada pode ser reciclada, retornando ao processo, enquanto os sólidos são deixados para secar, compactar e permitir o crescimento de vegetação em semanas. Assim, as barragens de rejeitos podem ser drenadas e o resíduo recuperado de modo a retornar rapidamente ao estado natural, processo que antes levaria décadas, e pode ser feito em questão de semanas ou meses.

Os benefícios acarretados pela utilização dessa tecnologia podem ser divididos em operacionais, econômicos e ambientais, sendo alguns deles:

a) Benefícios operacionais: maximizar a vida da área de disposição existente, redução de espaço para novas áreas de disposição, melhor recuperação e qualidade da água, melhor disposição de rejeitos grossos e finos, fazendo com que os rejeitos readquiram um valor comercial como antes da disposição dos rejeitos;
b) Benefícios econômicos: compromisso de capital reduzido, custo reduzido de gerenciamento da área de disposição, redução do consumo de energia, redução de perdas de água / reagente, redução do fechamento de minas. O custo do produto permanece em sigilo de acordo com a BASF.

c) Benefícios ambientais: reaproveitamento de água, menos terras necessárias para novas áreas de disposição, reabilitação rápida do terreno, menor consumo de energia.

No Brasil existe somente uma única aplicação em escala industrial em rejeito de fosfato no Nordeste e funciona apenas sazonalmente de acordo com o regime de chuvas para aumentar a quantidade de água na irrigação. No entanto, no exterior sua aplicação é em grande escala e funciona em tempo integral. O polímero pode ser utilizado em relvados de carvão, lama vermelha advinda do beneficiamento de alumina, processamento de areias de alcatrão, rejeitos de fosfato, resíduos de areias minerais e metais-base e rejeitos de metais preciosos (DAVO, 2017).

Um estudo de caso em uma barragem de rejeito de minério de ferro foi apresentado por Jorge Luiz Berto Davo, no II Seminário Gestão de Riscos e Segurança de barragens de rejeito. O nome e localização da barragem não foram informados e permanecem em sigilo, mas as imagens a seguir foram disponibilizadas para melhor entendimento da aplicação do polímero.

[17] Ângulo de praia: Ângulo formado com o eixo das tensões normais pela tangente à circunferência de Mohr, representativa das resistências ao cisalhamento da rocha, sob diferentes tensões normais.

Na Figura 28, o Rheomax® Etd é aplicado na tubulação que está despejando o rejeito fluido na barragem. A dosagem utilizada foi de 90 gramas do produto por tonelada de rejeito.

FIGURA 28 – ESTUDO DE CASO EM BARRAEM DE MINERIO DE FERRO, APLICAÇÃO RHEOMAX

FONTE: DAVO, 2017.

Na Figura 29 pode-se notar o resultado do produto após 12 horas da aplicação. O rejeito se apresenta mais coeso e é estimado que, em até 72 horas, a água seja completamente expulsa do substrato.

FIGURA 29 – ANTES E DEPOIS DE 12 HORAS COM A APLICAÇÃO DO POLIMERO RHEOMAX ® ETD

FONTE: DAVO, 2017.

As opções para disposição do rejeito seco são muitas. O rejeito pode ser retirado do tanque onde foi aplicado (Figura 30) com o auxílio de uma escavadeira e redirecionado a um local mais adequado para descarte. Outra opção seria escavar previamente grandes espaços, onde o rejeito ficaria disposto com o produto e após a secagem completa pode ser feita a compactação do solo,

assimilando a um aterro, podendo haver o reflorestamento do local. No caso da aplicação direta em uma barragem de rejeito, o produto pode ser aplicado na própria barragem e rejeito seco retirado com uma máquina com destino a reciclagem, tópico que será aprofundado mais à frente no trabalho.

FIGURA 30 – REMOÇÃO DO REJEITO MAIS COESO POR MEIO DE ESCAVADEIRA

FONTE: DAVO, 2017.

A Figura 31 retrata um *slump test* feito nos laboratórios da BASF. A primeira imagem corresponde a uma amostra de 24 ml de rejeito retirado de uma barragem de rejeito de minério de ferro (nome sigiloso). Pode-se observar que o substrato é completamente líquido sem coesão. Nas duas outras imagens, o polímero Rheomax® Etd foi aplicado em concentrações diferentes e nota-se que na última imagem, que tem concentração maior, a amostra está praticamente seca.

FIGURA 31 – SLUMP TEST COM ADIÇÃO DO POLÍMERO RHEOMAX ® ETD

FONTE: DAVO, 2017.

5.1.4.2 Filtro prensa

A filtragem é o processo de desaguamento da operação de separação líquidos/sólidos e se baseia na passagem da mistura numa membrana permeável na qual as partículas sólidas com uma mínima quantidade de água ficam retidas enquanto a água atravessa livremente.

Esse é um processo aplicado na maioria das operações que apresentam valor comercial. Ele resulta em dois subprodutos, a torta e a água. É possível recuperar a água utilizada no processo de extração do minério em até 92,9 %. Já a torta é depositada na barragem de rejeito, podendo apresentar a consistência de um tijolo cru, geralmente transportada por caminhões ou transportadores de correia e espalhada por tratores (EXCELTECH ENGENHARIA LTDA, 2016).

O filtro prensa é um equipamento destinado a este processo de filtragem, que se resume na aplicação de uma pressão positiva sobre a polpa que passa por elementos permeáveis. Ele é formado por muitas placas, que formam uma câmara filtrante em conjunto com a placa vizinha.

O rejeito é encaminhado por tubulações para o equipamento, onde se inicia o processo de prensa, que espreme o rejeito para extrair a água. As placas dotadas de membranas permeáveis se movem em conjunto para fazer esta operação, ao mesmo tempo outra tubulação capta a água que é expulsa e a transporta para o fim que será destinada.

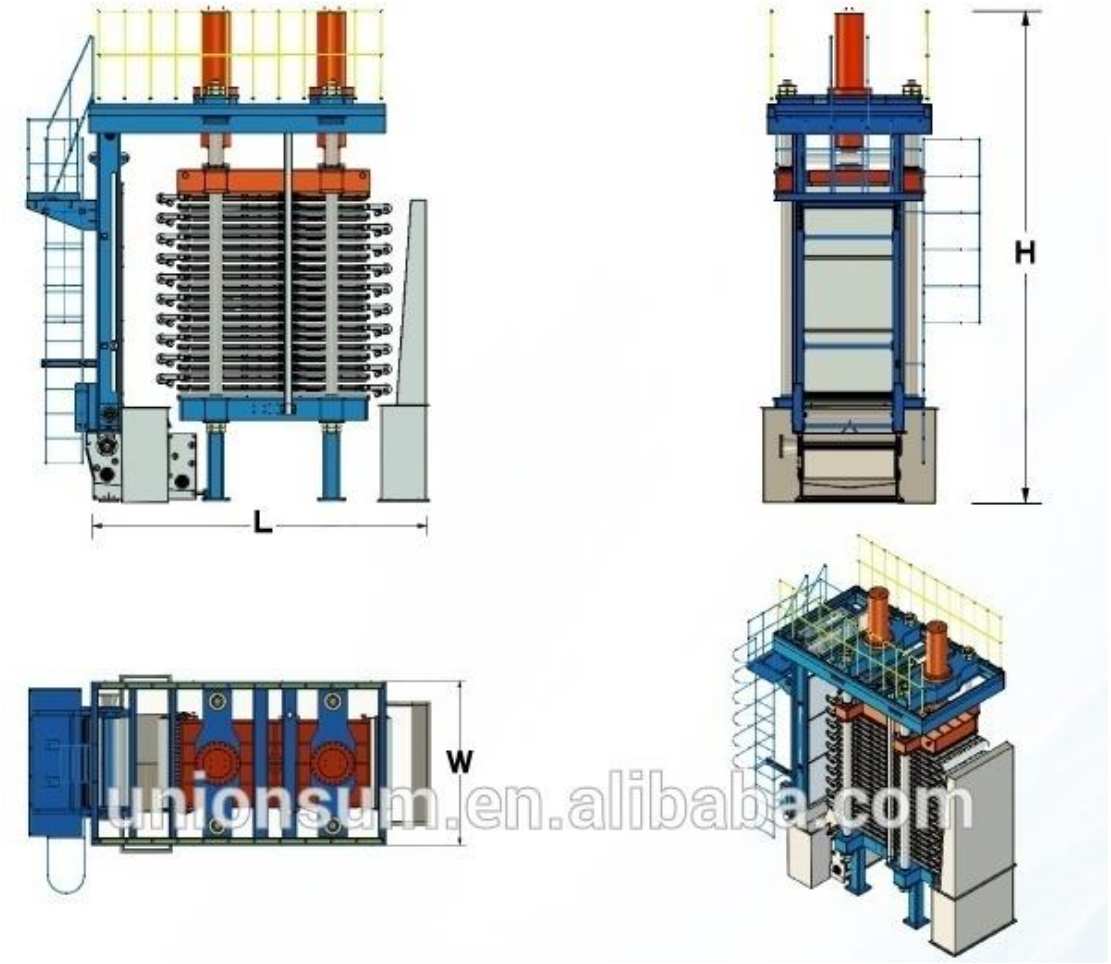
Quando o processo acaba, é necessário retirar as placas do equipamento e limpá-las, ou seja, extrair a torta e transportá-la para a barragem de rejeitos. A retirada pode ser feita tanto manualmente, quanto com sistema mecânico, porém este segundo tem um custo maior. Podem existir mais duas etapas: a secagem e lavagem do rejeito, porém essas últimas não são muito usuais, sendo mais comum o rejeito ser lançado na barragem logo após a prensa.

Os principais fornecedores de filtro prensa são Andritz, FLSmidth (Pneumapress) e Larox, que oferecem os filtros prensa tanto verticais quanto horizontais, ilustrados nas Figuras 32 e 33. O filtro prensa vertical da Pneumapress apresenta um processo diferenciado no qual, ao mesmo tempo em que ocorre a filtragem, é aplicado sobre a polpa ar quente que promove sua secagem. Já o filtro prensa horizontal conta com mínima intervenção de operadores e seu processo se divide em três etapas: enchimento, filtragem sob pressão máxima e descarga da torta (GUIMARÃES, 2011).

É comum classificar os filtros à vácuo de acordo com a posição relativa da polpa alimentada. Em filtros horizontais de correia, a alimentação é feita por cima e em filtros de disco convencional, a alimentação é realizada por baixo. A alimentação por baixo é limitada a rejeitos que possam ser mantidos em suspensão mediante agitação moderada (GUIMARÃES, 2011).

A vantagem dos filtros de discos em relação aos concorrentes é a sua enorme área de filtragem quando comparada com a área ocupada pelo próprio equipamento. Porém, esse tipo de filtro não permite a lavagem da torta.

FIGURA 32 – FILTRO PRENSA FUNCIONAMENTO VERTICAL



FONTE: GUIMARÃES, 2011.

FIGURA 33 – FILTRO PRENSA FUNCIONAMENTO VERTICAL

FONTE: GUIMARÃES, 2011.

De acordo com o fornecedor FLSmidth, o filtro prensa tem baixo custo de manutenção, não consome muita energia, reaproveita água, descarta a torta por um valor baixo e reduz os impactos no meio ambiente. O filtro prensa vertical, tem placas horizontais que fazem com que a área de piso seja economizada, reduz a umidade e tem menor custo de operação, porém apresenta maior custo de investimento.

Além do investimento inicial, é preciso planejar o local para alocar o filtro prensa, pois apesar do tipo vertical existir, o aparelho ainda tem grande porte e necessita de infraestrutura para ser implantado, por isso é mais adequado que essa tecnologia seja prevista na fase de projeto da barragem, sendo difícil de ser implantada em barragens pré-existentes.

A filtragem de rejeitos é uma prática usual nas minerações do deserto de Atacama, na região norte do Chile, nas minas de Mantos Blancos e La Coipa que realizam o procedimento a fim de reduzir as perdas de água, devido à escassez da região (GUIMARÃES, 2011).

5.1.5 Reciclagem

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a disposição final de resíduos no meio ambiente deve ser empregada somente como última alternativa, logo, as barragens de rejeito deveriam ser vistas como alternativas provisórias, o que não é o cenário atual brasileiro no quesito descarte de resíduos sólidos oriundos da mineração.

A utilização de tecnologias que modificam a disposição do rejeito da forma como é conhecido atualmente abre uma nova gama de possibilidades de destino final do rejeito atendendo à PNRS. Drenando a água do substrato, o rejeito seco pode ser redirecionado a aterros, onde, dependendo do minério do qual o rejeito foi proveniente, pode ser feito o reflorestamento do local.

Outra possibilidade seria a reciclagem. Pesquisas realizadas na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pelo grupo de pesquisa de resíduos sólidos “RECICLOS” e coordenadas pelo Engenheiro Civil Ricardo Fiorotti, professor e pesquisador do departamento de Engenharia Civil da Escola, conseguiram separar o minério de ferro, areia e argila dos rejeitos das mineradoras (SOARES, 2015).

> “O minério de ferro retorna para a atividade mineradora, garantindo sustentabilidade ao processo de segregação. Já a areia pode ser utilizada em matrizes de Cimento Portland, como argamassas e concretos, enquanto a argila tem condições de ser destinada integralmente para a indústria cerâmica”, afirma Ricardo Fiorotti.

O rejeito passa por um processo de separação das partículas com diferentes densidades em um fluido aquecido, utilizado o ar. Devido à diferença de pressão e temperatura, os materiais leves deslocam-se para a camada superior e os pesados precipitam-se no fundo. Esses compostos relativamente mais pesados são os que podem ser reutilizados pela mineração como matéria prima pelo alto teor de óxido de ferro. Já os mais leves, como a areia e argila, podem ser reaproveitados na construção civil. O material de cada camada é ensacado separadamente e pode ser distinguido visualmente conforme Figura 34.

FIGURA 34 - SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS DOS REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO

FONTE: CAMPEZ, 2016.

O grupo “RECICLOS” produziu concreto, argamassa, tijolos e blocos de pavimentação (Figura 35) e relatam que a única diferença do material convencional utilizado hoje na construção civil com o reciclado seria a cor avermelhada, mantendo a mesma resistência, textura, características químicas e físicas.

FIGURA 35 – BLOCOS DE CONCRETO FEITOS A PARTIR DA RECICLAGEM DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO (A ESQUERDA) AO LADO DE UM BLOCO CONVENCIONAL (A DIREITA)

FONTE: CAMPEZ, 2016.

Em 2016, foi construída uma casa piloto (Figura36) na UFOP com elementos de concreto pré-fabricado e moldados in loco, a partir de agregados retirados dos rejeitos de barragens. Testes realizados mostraram que as peças podem exercer função estrutural igualmente a de agregados naturais das matrizes de Cimento Portland, e o a agregado reciclado pode ser utilizado em até 80% na composição do concreto sem que isso cause prejuízos ao desempenho das estruturas construídas com a utilização do material alternativo.

FIGURA 36 - CASA-PROTÓTIPO CONSTRUÍDA NA UFOP: USO DE AGREGADOS RETIRADOS DOS REJEITOS DE SIDERURGIA

FONTE: SANTOS, 2016.

Quanto ao quesito ambiental, amostras foram analisas pelo grupo RECICLOS e testadas em maio de 2013, em Fortaleza. Para lixiviação e solubilização, em concordância com os parâmetros de avaliação contidos na NBR 10004/04, as amostras do rejeito de minério de ferro foram classificadas como resíduo classe 1 A - não perigoso e não inerte. A adição do resíduo classe 1 A ao rejeito de minério de ferro, a outros materiais como cal, areia e cimento não modificou em nada a classificação ambiental da argamassa produzida com o mesmo.

Dessa forma, testada sua falta de periculosidade ao meio ambiente, é possível falar de reciclagem de rejeito de uma forma segura e promissora. A mudança do cenário da mineração como vem sendo feito a centenas de anos pode ser feita e de forma lucrativa para as mineradoras, uma vez que o descarte do processo de mineração tenderia a diminuir, pois o rejeito não seria mais visto como lixo e sim como matéria prima da construção civil. Segundo Fiorotti, se as mineradoras praticassem a reciclagem de rejeitos, os volumes das barragens estariam em níveis aceitáveis (SANTOS, 2016).

O sucesso técnico e ambiental desse projeto também valida o investimento em tecnologias que retiram a água da torta de rejeito de mineração. O alto capital necessário para implantação de tecnologias por conta das mineradoras poderia retornar à elas como receita, comercializando o rejeito e tornando o investimento mais interessante do ponto de vista econômico.

Uma opção interessante seria a utilização desse material reciclado em obras do governo voltadas para baixa renda, como a reconstrução de milhares de casas que foram devastadas com o desastre da ruptura da barragem de Fundão em Minas Gerais. Dessa forma as mineradoras estariam fazendo sua parte social de forma mais econômica e ainda contribuiriam de forma positiva ao meio ambiente, reduzindo as alturas exorbitantes das barragens de mineração que crescem exponencialmente ao longo dos anos.

5.2 GESTÃO PÓS RUPTURA

Com a ruptura da Barragem de Fundão, o governo federal, os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, a Samarco e onze entidades assinaram, em março de 2016, o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), que estabelece as práticas que devem ser tomadas para reparar os danos causados. No mesmo ano, em junho, foi criada pela Samarco, Vale e BHP Billiton a Fundação Renova, que coordena e executa os programas sociais, os pagamentos de indenizações e as atividades de recuperação ambiental definidas pelo TTAC. Após dois anos, os processos ainda estão em andamento. A mineradora Samarco defende que as medidas reparatórias que a empresa realizou após o acidente justificam a sua absolvição por parte dos crimes ambientais e afirma que o processo deve ser anulado e que não houve dolo. A Vale declara que a operação da barragem era exclusiva da Samarco (LINHARES; MARQUES; PRADO, 2017).

Os órgãos públicos por sua vez, apesar de responsabilizarem várias empresas e pessoas jurídicas, não conseguem cobrar os responsáveis pelos danos, pois os lentos processos atrelados à falta de prazos específicos e de multas mais severas se não houver o cumprimento destes prazos, resulta um descaso por parte da Samarco e os demais responsabilizados pela polícia. A criação da Fundação Renova hoje é vista por grande parte da população local, como uma forma da Samarco retardar o processo obrigatório de melhorias ou até retirar o nome da empresa das mídias de uma forma que não seja atrelada com o acidente de Mariana (VIEIRA, 2017).

As medidas reparatórias realizadas pela Samarco ainda são mínimas se comparadas com a extensão dos estragos ambientais sofridos pelos rios e terras adjacentes à barragem. É preciso que haja um responsável pelos crimes ambientais. Ainda que a mineradora repare todos os danos causados, deveria haver uma consequência judicial para os responsáveis. A falta de uma condenação penal demonstra impunidade para as demais empresas, servindo como mau exemplo frente a futuros desastres em potencial. Mesmo a mineradora alegando que não houve dolo, a negligência na gestão da barragem deve ser penalizada (VIEIRA, 2017).

A Secretaria de Meio Ambiente de Minas Gerais aplicou trinta e seis multas à Samarco, sendo que apenas uma começou a ser paga até o presente momento. O Ibama também aplicou multas que somam mais de R$ 340 milhões, entretanto, a empresa recorreu e nenhum centavo foi pago até hoje (REDE GLOBO, 2017). Isso mostra que os órgãos conseguem aplicar as multas, mas não conseguem cobrá-las adequadamente. Apesar de uma parcela já ter sido paga, ela ainda não foi revertida para nenhum fim. A inexistência de um plano para a aplicação das multas é uma dificuldade tida para conversão desse dinheiro em ações práticas.

Atualmente, a cidade de Bento Rodrigues, a mais atingida pela tragédia, ainda se encontra destruída. A inauguração da nova Bento Rodrigues, a cerca de dez quilômetros da antiga, é aguardada para março de 2019, porém o terreno nem ao menos foi regularizado e o projeto foi feito em uma área com alta declividade e em local de preservação ambiental, impossibilitando a construção, o que mostra uma falta de comprometimento por parte da Renova (REDE GLOBO, 2017).

Grande parte dos moradores atingidos vivem em imóveis alugados pela Samarco em Mariana e recebem ajuda financeira mensal de um salário mínimo, acrescentado de vinte por cento por dependente e o valor de uma cesta básica. A Mineradora Samarco demitiu quase metade de seus funcionários, desativando cerca 1200 empregos. A taxa de desemprego em Mariana é de 25%. Ainda existem muitos moradores que brigam para receber indenização emergencial da mineradora (REDE GLOBO, 2017).

Desde a tragédia, a qualidade da água dos rios atingidos é analisada pela SOS Mata Atlântica. Em 72% das análises, a qualidade da água examinada é ruim e em 16%, péssimo. Isso torna o rio impróprio e seu uso inadequado até para a irrigação. A Fundação Renova afirma que as intervenções para solucionar o problema dos rejeitos de minérios ainda espalhados pelo Rio Doce devem levar cerca de mais dois a três anos (JUNGER; BONELLA, 2017).

A situação atual das regiões e moradores afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão demonstra que a capacidade de resposta dos órgãos ambientais, empresas e ministérios públicos é muito lenta. Mesmo com a criação de comitês e termos de conduta, a gestão desse processo pós ruptura é muito complexa. As ações reparatórias não se mostram eficientes, devido à demora de implementação e custo das medidas. A gestão preventiva é mais barata e mais eficaz do que uma gestão de mitigação ou compensação.

6 CONCLUSÕES

Pesquisas apontam que é esperada a ruptura de pelo menos uma barragem de rejeito de mineração por ano no mundo e, nos últimos 17 anos, 6 barragens romperam somente no estado de Minas Gerais. Analisando os pontos abordados na pesquisa de referência, opiniões de especialistas, casos ocorridos recentemente e pontos de gestão desenvolvidos, é possível afirmar que o cenário atual da indústria mineradora quanto ao local e a forma como são armazenados os rejeitos não é adequado.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a disposição final de resíduos no meio ambiente deve ser empregada somente como última alternativa; logo, as barragens de rejeito deveriam ser vistas como alternativas provisórias o que não é o cenário atual brasileiro no quesito descarte de resíduos sólidos oriundos da mineração. Desta forma, instrumentos de gestão, que podem melhorar o cenário atual e inclusive mudar o futuro das barragens de rejeito da forma como são conhecidas atualmente, deveriam estar mais em pauta do que estão.

A gestão eficiente é primordial no acompanhamento de um processo de forma segura e a aplicação sistemática de quaisquer dos instrumentos sugeridos: legislação, fiscalização, auditorias, tecnologias e reciclagem; já acarretaria um grande progresso; contudo, devem ser preferencialmente executados em conjunto.

Durante o estudo da Lei 12.334/2010, uma nova portaria do DNPM foi publicada em maio/2017 e preencheu lacunas da legislação, algumas delas identificadas como falhas no caso da ruptura de Fundão. Sua implantação e real eficácia demandam tempo de adaptação por parte das mineradoras; porém, com auxílio direto de ações do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), como treinamentos e fiscalizações, esse tempo pode ser encurtado. Mesmo após essa alteração positiva, a legislação ainda é o tópico mais polêmico entre os profissionais relacionados a barragens de rejeito: enquanto alguns defendem que a norma deveria ser mais incisiva, restrita e estabelecer parâmetros mínimos, outros são contra esse pensamento, alegando que deve ser mais flexível.

O instrumento da Legislação perde seu objetivo se não houver uma fiscalização eficiente que garanta que ela seja de fato aplicada, executada pelo DNPM. A partir da catástrofe ocorrida na Barragem de Fundão em novembro de 2015, ocorreram demandas específicas do governo federal para o DNPM no sentido de intensificar suas ações. O modelo moderno de fiscalização aplicado em diversos setores é interessante do ponto de vista do monitoramento, pois obriga as

mineradoras a realizarem uma autoinspeção. No entanto, casos recentes de omissão nos dados fornecidos pela mineradora ao DNPM demonstram uma fragilidade desse modelo.

A partir do estudo de laudos de barragens rompidas recentemente, foram identificadas brechas no processo de auditoria atual. Auditorias estão diretamente relacionadas com a fiscalização, pois quando solicitadas pelo órgão fiscalizador, é um instrumento legal e pode gerar penalidades caso as condições da estrutura se encontrarem em desacordo com a lei.

A utilização de tecnologias que modificam a disposição do rejeito da forma como é conhecido atualmente, tais como o filtro prensa e o Rheomax® Etd, abre uma nova gama de possibilidades de destino final do rejeito atendendo à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O filtro prensa, utilizado no deserto do Chile, é um equipamento de grandes dimensões onde a lama que é despejada nas barragens passa por uma sequência de chapas filtrantes, resultando em dois subprodutos: torta e água. Por ser uma região árida, a recuperação de até 92,9% da água utilizada no processo e a possibilidade de reaproveito da mesma torna a tecnologia muito atrativa.

O polímero patenteado pela BASF, Rheomax® Etd, é projetado para facilitar a gestão do rejeito aumentando sua densidade e permitindo a liberação da água limpa por meio do controle de sua reologia, sem alterar suas propriedades químicas. Utilizado há vários anos na Austrália, o produto permite que as mineradoras recuperem com rapidez a área que está sendo ocupada pela barragem e a água que pode retornar ao processo, enquanto os sólidos são deixados para secar, compactar e permitir o crescimento de vegetação em semanas.

O uso dessas tecnologias que buscam o desaguamento do rejeito seria o instrumento mais incisivo na redução de impactos ambientais, já que a mineração a seco é uma tendência no setor. Sua aplicação remete à redução dos riscos em longo prazo, pois reduz as probabilidades de ruptura e o potencial dos danos. Visando atingir um cenário em curto prazo, o ideal seria focar nos instrumentos de fiscalização e auditorias, pois além de necessitar de baixo investimento de capital, sua execução de forma correta apresenta resultados de forma rápida e visível, o que não descarta a necessidade do uso dos demais instrumentos. No caso do Brasil, onde a verba acaba sendo mais restrita, as melhores opções são aquelas que as próprias empresas e governo podem efetuar sem um alto investimento.

Outro instrumento ainda não utilizado no Brasil seria a reciclagem, que demanda investimento, porém seu produto pode ser comercializado, justificando assim sua aplicação. No caso do rejeito de minério de ferro seco, os compostos mais pesados podem ser reutilizados pela mineração como matéria prima e os mais leves, tais como a areia e argila, podem ser reaproveitados na construção civil. A produção de concreto, argamassa, tijolos, blocos de pavimentação, uma casa piloto e testes realizados nos quesitos ambientais e de esforços relatam que a única diferença do material convencional utilizado hoje para com o reciclado seria a cor avermelhada, mantendo a mesma resistência, textura, características químicas e físicas.

A situação atual das regiões e moradores afetados pela ruptura da Barragem de Fundão reflete a demorada capacidade de resposta do órgão regulador, pois a gestão de mitigação e compensação é muito complexa e as ações reparatórias são pouco eficazes, por serem caras e demoradas. A gestão preventiva depende somente das próprias empresas proprietárias das barragens e deveria ser de grande interesse efetuá-las corretamente, não somente pela preocupação ambiental, mas também para evitar futuras multas relacionadas ao rompimento. Essa prevenção pode ser feita de maneira simples e com baixo custo, pela administração coerente, com cautela, monitorando e detalhando qualquer anomalia operacional que testes e estudos venham a apontar.

7 SUGESTÕES

Ao longo do trabalho formam sugeridas melhorias no processo atual em que os instrumentos estudados de gestão preventiva estão inseridos.

Na Legislação, como já houve o aprimoramento da lei suprindo as lacunas das portarias anteriores, agora é o período de adaptação dos empreendedores. O próximo passo seria não procurar mais brechas na lei a fim de aprimorá-la novamente, mas sim focar na fiscalização no sentido de verificar a sua real aplicação eficácia.

Na Fiscalização, sugestões para melhorar o modelo atual de fiscalização e evitar recorrência de casos de omissão de dados seriam: aumento da frequência das inspeções de segurança com a contratação de mais funcionários; capacitação dos funcionários do setor; descentralização do departamento, de modo a ter escritórios regionais mais próximos das barragens; e por fim, a cobrança na fiscalização, eliminando o problema de falta de verba vinda do governo.

Nas Auditorias, foram observados, a partir do estudo de laudos de auditorias de barragens que romperam, pontos a serem mudados: auditoria feita por auditor independente ao quadro de funcionários da empresa; levar em consideração a cronologia e as mudanças das condições da barragem para definir a periodicidade das auditorias; e a padronização dos laudos seguindo um protocolo obrigatório.

Nas Tecnologias, sua aplicação além de reaproveitar a água utilizada no processo, abre uma gama de possibilidades para o rejeito seco que não seja a barragem, sendo elas: direcionamento para aterros; compactação do rejeito e reflorestamento do local; e reciclagem do rejeito seco para utilização como matéria prima na construção civil.

Na Reciclagem, esse instrumento valida o investimento em tecnologias, pois o rejeito seco possui uma aplicação rentável no mercado.

8 RECOMENDAÇÕES

Grupos de TCC de Engenharia Civil, Arquitetura ou relacionados podem aprofundar a questão da reciclagem do rejeito sólido e sua utilização na construção civil.

Grupos de TCC de Química, Engenharia Química ou relacionados podem estudar mais detalhadamente o polímero Rheomax® ETD, suas propriedades, efeitos, comprovação da sua toxidade e aplicação em outros usos além de rejeitos de mineração.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADO. **Rompimento de barragem deixa cinco desaparecidos**. 2001. Disponível em: http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,rompimento-de-barragem-deixa-5desaparecidos,20010623p19508. Acesso em: 15 maio 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **CNHR vai criar grupo para acompanhar desastre de Mariana.** 2015. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12895>. Acesso em 20 abr. 2017.

_____. **Institucional.** [s.d.]. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/Default.aspx>. Acesso em: 19 abr. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Institucional.** [s.d.]. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: 19 abr. 2017.

ALMEIDA, B. **Em Cataguases: barragem rompida foi desativada após acidente em 2003**. 2015. Disponível em: < http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/em-cataguases-barragem-rompida-foi-desativada-apos-acidente-em-2003.html>. Acesso em: 20 maio 2017.

ALVES, S. **Empresa fala sobre a segurança da maior barragem de rejeito de minério de bauxita desta região.** 2015. Disponível em: <http://silvanalves.com.br/site/11/2015/barragem-de-rejeito-de-minerio-nesta-regiao/>. Acesso em: 22 abr. 2017.

ANDRADE, L.C.R. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil.** Tese (doutorado) Engenharia Civil. Universidade de Viçosa, MG, 2014, 96f. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6664/texto%20completo.pd f?sequence=1. Acesso em: 07 maio 2017.

ANDRADE, P.R. **Simulador ajuda na prevenção de acidentes em barragens de rejeitos.** 2009. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=6081>. Acesso em: 05 maio 2017.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

ARCOVERDE, W. **Acidentes com barragens estão acima da média, diz DNPM.** 2015. Disponível em <http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,acidentes-com-barragens-no-pais-estao-acima-da-media-mundial--admite-dnpm,10000001848>. Acesso em: 05 maio 2017.

ASSIS, A.; ESPÓSITO, T. **Construção de barragens de rejeito sob uma visão geotécnica.** In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS – REGEO, 3., 1995. Anais... Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, 1995, p. 259-273.

ÁVILA, J.P.; ARAGÃO, G.A.S.; MIRANDA, M.A.S. **Aspectos atuais de fragilidade na gestão de segurança de barragens de rejeitos: auditoria de segurança.** In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2, 2017, Belo Horizonte. Trabalho Técnico. Belo Horizonte: CBDB, 2017. P. 1 – 13.

ÁVILA, J.P. **Inovações tecnológicas em métodos de disposição de rejeitos**. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. **Relato.** Belo Horizonte: CBDB, 2017. p. 1 – 13.

BARBA, M.D. **Mesmo sem ser tóxica, lama de barragem em Mariana deve prejudicar ecossistema por anos.** 2015. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151107_barragem_mariana_mdb_fdAcesso em: 24 maio 2017.

BITTAR, R.J. **Acidentes e incidentes em barragens de rejeito: Como previnir ou atenuá-los?**. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. **Relato.** Belo Horizonte: CBDB, 2017. p. 1 - 15.

BORIM, J.C. **Modelagem e controle de um processo de endurecimento de pelotas de minério de ferro.** 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2000.

BRAGA, E. **Maior acidente ambiental de Minas Gerais ainda está impune.** O Estado de Minas, Belo Horizonte, 30 mar. 2011. Disponível em: http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/03/30/interna_gerais,218533/mai or-acidente-ambiental-de-minas-gerais-ainda-esta-impune.shtml. Acesso em: 7 jun. 2017.

BRANCO, R. **O que é cominuição**. 2012. Disponível em: < http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/6997-o-que-e-cominuicao/>. Acesso em: 29 maio 2017.

BRANDÃO, M. **Brasil – recursos minerais**. 2012. Disponível em: < http://marcosbau.com.br/geobrasil-2/brasil-recursos-minerais-metalicos/>. Acesso em: 19 maio 2017.

BRASIL, C. Câmara dos Deputados. **Os desafios da mineração brasileira**. 2011. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/comunicacao/camara-noticias/camara-destaca/mineracao/os-desafios-da-mineracao-brasileira>. Acesso em 20 maio 2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em 20 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 01 maio 2017.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº9.984, de 17 de julho de 2000.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 15 mar. 2017.

BRASIL, L. S. S.; ROCHA, F. F. **Elaboração de Plano de Ações Emergenciais (PAE).** In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS, 01, 2012. Anais... Belo Horizonte: CBDB, 2012.

CAMPEZ, D. **Pesquisa propõe aproveitamento da lama de rejeitos da mineração.** 2016. Disponível em: <http://www.contextolivre.com.br/2015/11/pesquisa-propoe-aproveitamento-da-lama.html>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CHEFS. **Pedra**. 2013. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Pedra.aspx>. Acesso em: 20 abr. 201

CIMINELLI, V. S. T.; GOMES, A. D. **Extração de ouro: princípios, tecnologias e meio ambiente.** 2002. 312 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas e Metalurgia, Universidade Federal de Minas Gerais, Rio de Janeiro, 2002.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB (Rio de Janeiro) (Ed.). **A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX e XXI:** Cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. 2011. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos/A_Historia_das_Barragens_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

_____. **Institucional - Histórico.** [s.d.]. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/1-29/Hist%C3%B3rico>. Acesso em: 19 abr. 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa nº 62, de 17 de dezembro de 2002. **Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/barragem/Normativa-COPAM-MG-62-2002.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

CONSELHO NACIONAL DE RESCURSOS HÍDRICOS – CNRH. **O Conselho**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1>. Acesso em: 19 abr. 2017.

COSTA, R. **Rompimentos de barragens de mineradoras têm se tornado mais graves nas últimas décadas, dizem especialistas**. 2015. Disponível em: <http://operamundi.uol.com.br/conteudo/reportagens/42318/rompimentos+de+barragens+de+mineradoras+tem+se+tornado+mais+graves+nas+ultimas+decadas+dizem+especialistas.shtml>. Acesso em: 08 abr. 2017.

COUTO, N. et al. **Estudo de caso da ruptura da barragem do Fundão – Modelagem Hidráulica.** In: Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos, 2, 2017, Belo Horizonte.

DAVO, J.L.B. **RHEOMAX ETD – Aplicação de Polímero Modificador de Reologia para Auxiliar na Disposição de Rejeitos em Barragens**. In: SEMINÁRIO GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. Palestra. Belo Horizonte: Cbdb, 2017. p. 1 - 9.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DA EEUFMG

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **História**. [s.d.]. Disponível em: < http://www2.dnocs.gov.br/historia>. Acesso em: 19 abr. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Classificação das Barragens de Mineração inseridas na PNSB - database 12/2016.** 2016. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2017.

_____. **Cadastro Nacional de Barragens de Mineração.** 2016. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao>. Acesso em: 16 mar. 2017.

_____. **Institucional.** [s.d.]. Disponível em: < http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 19 abr. 2017.

_____. Portaria nº 14, de 15 de janeiro de 2016. **Estabelece Prazo Para Apresentação de Comprovante de Entrega das Cópias Físicas do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (paebm) Para As Prefeituras e Defesas Civis Municipais e Estaduais, Conforme Exigido Pelo Art. 7º da Portaria Nº 526, de 2013, e Dá Outras Providências.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-14-2016-barragens-de-mineracao>. Acesso em: 15 mar. 2017.

_____. Portaria nº 416, de 03 de setembro de 2012. **Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-416-em-03-09-2012-do-diretor-geral-do-dnpm>. Acesso em: 15 mar. 2017.

_____. Portaria nº 70.389, de 17 de maio 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. 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-70-389-de-2017/view >. Acesso em: 06 ago. 2017.

_____. **Sumário Mineral**. 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>. Acesso em: 19 maio 2017.

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**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, MG.

EXCELTECH ENGENHARIA LTDA. **Desaguamento de rejeitos para mineração a seco: Manuseio e Disposição de rejeitos pelo processo de dry stacking - uma alternativa ambientalmente mais atrativa.** In: RZ SERVIÇOS E CONSULTORIA LTDA, 1., 2016, São Paulo. São Paulo: Rz Serviços e Consultoria Ltda, 2016. p. 1 – 21.

ESPÓSITO, T.J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico.** 2000. 363 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

FOTOS DE SATÉLITE MOSTRAM COMO ERA E COMO FICOU A REGIÃO ATINGIDA PELAS BARRAGENS EM MARIANA (MG). Jaru Online, 12 nov. 2015. Disponível em: <http://jaruonline.com.br/fotos-de-satelite-mostram-como-era-e-como-ficou-a-regiao-atingida-pelas-barragens-em-mariana-mg/>. Acesso em: 24 abr. 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Institucional.** [s.d.]. Disponível em: < http://www.feam.br/instituicao>. Acesso em: 25 maio 2017.

GOMES, R. C. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. 220 p.

GONÇALVES, V.K. **Desastre de Cataguases: uma caricatura do risco**. 2006. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_2892.html>. Acesso em: 29 maio 2017.

GUIMARÃES, N.C.. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando sua disposição em pilhas.** 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

HECK, N.C. **Lixiviação**. 2009. Disponível em: <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06631/Lixiviacao.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Gestão e manejo de rejeitos da mineração**. 2016. Disponível em: < http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acesso em: 05 maio 2017.

_____. sobre a economia mineral brasileira. 2015. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>. Acesso em 19 maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Institucional – Identidade Organizacional.** [s.d.]. Disponível em: < http://www.ibama.gov.br/institucional/sobre-o-ibama/sobre-o-ibama-identidade-organizacional>. Acesso em: 19 abr 2017.

_____. Laudo Técnico Preliminar dos Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Minas Gerais, 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_Ibama.pdf>. Acesso em: 01 maio 2017.

INSTITUTO MINERE - IM. **O que é um Plano de Ação de Emergência para Barragens – PAEBM?.** 2016. Disponível em: < http://www.institutominere.com.br/blog/o-que-e-um-plano-de-acao-de-emergencia-para-barragens>. Acesso em: 19 maio 2017.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. **History.** [s.d.]. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1636>. Acesso em: 19 abr. 2017.

INTERNATIONAL COMMISION OF LARGE DAMS – ICOLD. **Tailings dams: risk of dangerous occurrecences – Lessons learnt from practical experiences.** Paris: UNEP/ICOLD, 2001. (Bulletin 121).

JACOBI, P.O. **Qual o melhor método de lixiviação: tiossulfato ou cianetação**. 2015. Disponível em: <http://www.geologo.com.br/MAINLINK.ASP?VAIPARA=tiosulfato%20ou%20cianeta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 20 maio 2017.

JUNGER, L.; BONELLA, M. Lama afeta Rio Doce e os moradores dois anos após tragédia em Mariana. **Jornal Hoje - Rede Globo**. Nov. 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2017/11/lama-afeta-rio-doce-e-os-moradores-dois-anos-apos-tragedia-em-mariana.html>. Acesso em: 09 nov. 2017.

KIEFER, S. **Plano de emergência das barragens de Fundão e Santarém têm falhas.** 2015. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/11/15/interna_gerais,708111/plano-de-emergencia-das-barragens-de-fundao-e-santarem-tem-falhas.shtml>. Acesso em: 24 abr. 2017.

KLOHN, E. J. **The development of current tailing dam design and construction methods**. In: WILSON, D. (Ed.) Design and construction of tailing dams. Golden: Colorado School of Mines, 1981.

LEITE, W.P. **Recuperação e recirculação de água no processamento mineral.** 2011. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia e Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LINHARES, C.; MARQUES, J.; PRADO, A. Medo e depressão marcam atingidos dois anos após tragédia em Mariana. **Folha de S.Paulo**. Out. 2017. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2017/10/1929165-medo-e-depressao-marcam-a-rotina-em-vilas-afetadas-por-tragedia-em-mariana.shtml>. Acesso em: 09 nov. 2017.

LOPES, M. **O minério de ferro no Brasil: história, maiores empresas e mercado!** 2016. Disponível em: <http://tecnicoemineracao.com.br/minerio-de-ferro-no-brasil/>. Acesso em: 26 abr. 2017.

LOPES, M. **Mineração no Brasil atual e sua influência na economia nacional.** 2014. Disponível em: < http://tecnicoemineracao.com.br/mineracao-brasil-atual-e-sua-influencia-na-economia-nacional/>. Acesso em: 05 maio 2017.

LOPES, M. **Técnicas de disposição de rejeitos na mineração.** 2017. Disponível em: < https://tecnicoemineracao.com.br/tecnicas-de-disposicao-de-rejeitos/>. Acesso em: 05 maio 2017.

LOZANO, F.A.E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica.** 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKE

wiguqzWmr_XAhVLH5AKHf9JCe8QFggqMAA&url=http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-14122006-123702/publico/Selecaolocaisbarragensrejeitos.pdf&usg=AOvVaw2SkBuodMCxeFLzP1YSs5EJ>. Acesso em: 01 maio 2017.

MARQUES, J. Samarco omitiu informação de riscos na barragem até de engenheiros. **Folha de São Paulo**. Set. 2016. Disponível em: < http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/09/1815675-samarco-omitiu-informacao-de-riscos-na-barragem-ate-de-seu-engenheiro.shtml>. Acesso em: 26 set. 2017.

MATOS, R. et al. **A Tragédia Do Rio Doce: A Lama, O Povo e a Água. Relatório de Campo e Interpretações Preliminares Sobre as Consequências do Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.** Belo Horizonte, 2016. Disponível em: < http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/view/737/558>. Acesso em: 25 maio 2017.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. **Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/770/relatorio_final_ft_03_02_2016_15h5min.pdf>. Acesso em: 24 maio 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Beneficiamento de minérios**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.redeaplmineral.org.br/pormin/noticias/legislacao/beneficiamento_de_minerio.pdf>. Acesso em: 01 maio 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Portaria nº 526, de 09 de dezembro de 2013. **Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM), conforme art. 8°, 11 e 12 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e art. 8º da Portaria nº 416, de 3 de setembro de 2012.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-526-em-09-12-2013-do-diretor-geral-do-dnpm>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012. **Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7° da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1635>. Acesso em: 15 mar. 2017.

_____. Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012. **Estabelece Diretrizes Para Implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, Aplicação de Seus Instrumentos e Atuação do Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens, em Atendimento Ao Art. 20 da Lei N° 12.334, de 20 de Setembro de 2010, Que Alterou O Art. 35 da Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1636>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MIRANDA, M.S. **Legislação e fiscalização da implantação ao fechamento**. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. **Relato.** Belo Horizonte: CBDB, 2017. p. 1 - 16.

OLIVEIRA, N. **Minas já sofreu com outros rompimentos de barragens**. 2015. Disponível em: < http://www.otempo.com.br/cidades/minas-j%C3%A1-sofreu-com-outros-rompimentos-de-barragens-1.1159501>. Acesso em: 29 maio 2017.

PARRA, P.C. & LASMAR, N.T. **Ruptura da barragem de rejeitos da mina de Fernandinho.** 1987**.** Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração. REGEO'87, ABMS/ ABGE/ CBGB, Rio de Janeiro, RJ, pp. 445-462.

PENNA, D.C.R. et al. **Carta de risco como ferramenta na gestão de segurança de barragens**. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. **Trabalho técnico.** Belo Horizonte: CBDB, 2017. p. 1 - 14.

PEREIRA, F.M.S. **Gestão de riscos e plano de ações emergenciais aplicado à barragem de contenção de rejeitos Casa de Pedra/CSN.** 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

REDE GLOBO. Vítimas de tragédia em Mariana ainda vivem incertezas após dois anos. **Jornal Nacional – Rede Globo**. Nov. 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/11/vitimas-de-tragedia-em-mariana-ainda-vivem-incertezas-apos-dois-anos.html>. Acesso em: 09 nov. 2017.

RIBEIRO, L. **Barra pesada: os desafios para enfrentar rupturas de barragens.** 2015. Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/barra-pesada-os-desafios-para-enfrentar-rupturas-de-barragens/>. Acesso em: 18 abr. 2017.

ROBERTSON, A. **Risco e resiliência de barragens de rejeitos - controle por projeto e gestão.** In: SEMINÁRIO GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITO, 2., 2017, Belo Horizonte. Palestra. Belo Horizonte: CBDB, 2017. p. 1 - 17.

RODRIGUES, L. Atingidos por tragédia em Mariana podem receber indenização final em 2017. **Agência Brasil.** Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-12/atingidos-por-tragedia-em-mariana-podem-receber-indenizacao-final-em-2017>. Acesso em: 08 abr. 2017.

SÁ, P.B. **Percepção da população acerca dos impactos socioambientais do acidente da mineração Pomba-Cataguases no município de Laje do Muriaé.** 2007. 82f. Monografia (Curso Ciências Sociais), Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ, 2007. Disponível em: http://www.institutomilenioestuarios.com.br/pdfs/Monografias/11.pdf. Acesso em: 02 jun. 2017.

SANTOS, A. **Pesquisa testa rejeitos da mineração na construção civil.** 2016**.** Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/rejeitos-da-mineracao-na-construcao/>. Acesso em: 01 nov 2017.

SABER ATUAL. **Exploração mineral e seus recursos**. 2010 . Disponível em: <http://saberatual.net/?post=579>. Acesso em: 30 abr. 2017.

SANTOS; OLIVEIRA, R.M.; OLIVEIRA, I.L. **Aumento da produtividade em lavra de sienito com base na P+L**. XXX Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2010. Disponível em: <http://pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2010/CONGRESSOS/ENEGEP/18.pdf>. Acesso em: 29 maio 2017.

SOARES, V. **Alternativa às barragens de minério.** 2015. Disponível em: <http://minasfazciencia.com.br/2015/11/23/reutilizacao-de-rejeitos-como-alternativa-as-barragens-de-minerio/>. Acesso em: 31 out. 2017.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Apelação Criminal Nº 1.0188.01.002864-8/001**. 2008. Disponível em: http://tjmg.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/5970101/101880100286480011-mg1018801002864-8-001-1/inteiro-teor-12106389. Acesso em: 22 abr. 2017.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL. **Exploração mineral no Amazonas: entenda as dificuldades e potencialidades**. 2015. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/noticia/exploracao-mineral-no-amazonas-entenda-as-dificuldades-e-potencialidades>. Acesso em: 20 maio 2017.

VARGAS, M. et al. **A ruptura da barragem de Pampulha.** São Paulo: Gráfica Canton Ltda, 1955. 109 p.

VICK, S.G. **Planning, design, and analysis of tailing dams.** Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1983.

VIEIRA, R. Em compasso de desespero. **Exame,** Belo Horizonte, v. 1144, n. 9, p.89-95, 30 ago. 2017. Semanal.

VILLELA, M. **Mineradora culpa fenômeno geológico raro por rompimento de barragem em Itabirito**. EM.com. In: Mining.com, 29 set. 2014. Disponível em: http://noticiasmineracao.mining.com/2014/09/29/mineradora-culpa-fenomenogeologico-raro-por-rompimento-de-barragem-em-itabirito/. Acesso em: 14 abr. 2017.

VILLELA, M. **Sócios da Herculano Mineração são indiciados por homicídio doloso por tragédia em Itabirito.** EM.com. In: Mining.com, 17 dez. 2015. Disponível em: http://noticiasmineracao.mining.com/2015/12/17/sociosda-herculano-mineracao-sao-indiciados-por-homicidio-doloso-por-tragedia-emitabirito/. Acesso em: 14 abr. 2016.

VIOLA, Z.G.G. **Condução dos Trabalhos, Lançamento do Mapa de Acidentes Ambientais 2012 e Balanço dos 10 anos do NEA.** Disponível em: http://slideplayer.com.br/slide/375888/. Acesso em: 17 maio 2017.

ANEXOS

ANEXO A - QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS E REJEITOS DA RESOLUÇÃO CNRH 143/2012

NOME DA BARRAGEM			
NOME DO EMPREENDEDOR			
DATA			
I.1	**CATEGORIA DE RISCO:**		**Pontos**
1	Características Técnicas (CT)		
2	Estado de Conservação (EC)		
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)		
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS			**0**
	Faixas de Classificação	**CATEGORIA DE RISCO**	**CRI**
		ALTO	> = 60 ou EC*=10 (*)
		MÉDIO	35 a 60
		BAIXO	< = 35
(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.			
I.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO:			**Pontos**
		DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	
	Faixas de Classificação	**DANO POTENCIAL ASSOCIADO**	**DPA**
		ALTO	> = 13
		MÉDIO	7 < DPA < 13
		BAIXO	< = 7
RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:			
		CATEGORIA DE RISCO	Alto / Médio / Baixo
		DANO POTENCIAL ASSOCIADO	Alto / Médio / Baixo

ANEXO A.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS) DA RESOLUÇÃO CNRH 143/2012

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT		
Altura (a)	**Comprimento (b)**	**Vazão de Projeto (c)**
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desco- nhecida/ Estudo não confiável (10)
CT = ∑ (a até **c)**		

ANEXO A.2 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ESTADO DE CONSERVAÇÃO) DA RESOLUÇÃO CNRH 143/2012

2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC			
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, parâmentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medi- das corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medi- das 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, escorrega- mentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometi- mento da segurança da estrutura. (10)
EC = ∑ (d até **g)**			

ANEXO A.3 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM) DA RESOLUÇÃO CNRH 143/2012

3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS				
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, monitora- mento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regular- mente 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 ad- ministrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regular- mente 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 moni- toramento e inspe- ções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscaliza- dor) (8)	Emite regular- mente apenas relatórios de ins- peção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)				Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento de Análise de Segurança (8)
PS = ∑(h até l)				

ANEXO B - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DO DNPM DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO DO BRASIL COM ALTO E MÉDIO RISCO E DANO POTENCIAL EM 2016

NOME DA BARRAGEM	ALTURA ATUAL (m)	UF	MINÉRIO	CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL	CLASSE
B2	33	AP		MÉDIO	ALTO	B
Mario Cruz	28	AP	Itabirito	MÉDIO	ALTO	B
Barragem Santa Helena	14	BA	Bentonita	MÉDIO	MÉDIO	C
B5	26,13	MG	Areia e Cascalho	MÉDIO	ALTO	B
Bacia Lavador de Rodas	3	MG	Argila	MÉDIO	MÉDIO	C
Baia da UTM I	17	MG	Minério de Ferro	MÉDIO	ALTO	B
Barragem Água fria - rejeito		MG		ALTO	ALTO	A
Barragem B1	61,5	MG	Minério de Ferro	ALTO	MÉDIO	B
Barragem B-2	13	MG	Xisto	MÉDIO	ALTO	B
Barragem Captação 1		MG		ALTO	ALTO	A
Barragem Captação 2		MG		ALTO	ALTO	A
Barragem Germano	165	MG	Itabirito	ALTO	ALTO	A
Barragem II Mina Engenho	40	MG	Minério de Ouro Primário	ALTO	ALTO	A
Barragem Mina Engenho	32	MG	Minério de Ouro Primário	ALTO	ALTO	A
Barragem Mina Oeste (Somisa)	80	MG	Minério de Ferro	MÉDIO	ALTO	B
Barragem Santarém	33	MG	Itabirito	ALTO	ALTO	A
Dique 01	8	MG	Minério de Ferro	MÉDIO	ALTO	B
Dique 02	4	MG	Minério de Ferro	ALTO	ALTO	A
Dique B3 Ipê	23,5	MG	Minério de Ferro	ALTO	MÉDIO	B
Dique B4 Ipê	25	MG	Minério de Ferro	ALTO	MÉDIO	B
Dique Conquistinha	5,00	MG	Minério de Ferro	ALTO	ALTO	A

NOME DA BARRAGEM	ALTURA ATUAL (m)	UF	MINÉRIO	CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL	CLASSE
RG2W	11	MG	Minério de Ouro Primário	MÉDIO	ALTO	C
BACIA PB SANTA CLARA	8	MT	Minério de Ouro Primário	MÉDIO	MÉDIO	C
BARRAGEM 01	6	MT	Minério de Ouro Primário	MÉDIO	ALTO	B
BARRAGEM ALAIN 2	10	MT	Argila Arenosa	MÉDIO	ALTO	B
POND 1 - BARRAGEM DE LIXIVIAÇÃO	13,2	MT	Minério de Ouro Primário	MÉDIO	MÉDIO	C
POND 2 - BARRAGEM DE FLOTAÇÃO	10,5	MT	Minério de Ouro Primário	ALTO	MÉDIO	B
POND 3 - BARRAGEM DE FLOTAÇÃO	10	MT	Minério de Ouro Primário	ALTO	MÉDIO	B
Cava do Garimpo	70	PA	Minério de Ouro Primário	ALTO	ALTO	A
BACIA DE DECANTAÇÃO 2	12	PR	Carvão Mineral	MÉDIO	MÉDIO	C
BARRAGEM DE REJEITO DO TABOQUINHA 1	12	RO	Areia	MÉDIO	MÉDIO	C
BARRAGEM DE REJEITO DO TABOQUINHA 2	10	RO	Areia	MÉDIO	MÉDIO	C
BARRAGEM DE REJEITO DO TABOQUINHA 3	12	RO	Areia	MÉDIO	MÉDIO	C
Bacia de Finos da Mina do Recreio	14,8	RS	Carvão Mineral	MÉDIO	MÉDIO	C
Bacia de Acumulação 01	7,1	SC	Carvão Mineral Camada Barro Branco	MÉDIO	MÉDIO	C
BOA VISTA	35	SC	Carvão Mineral Camada Bonito	MÉDIO	ALTO	B

NOME DA BARRAGEM	ALTURA ATUAL (m)	UF	MINÉRIO	CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL	CLASSE
NOVO HORIZONTE	7	SC	Carvão Mineral Camada Barro Branco	MÉDIO	ALTO	B
USINA DE FLUORITA ESTAÇÃO DE COCAL	4	SC	Fluorita	MÉDIO	MÉDIO	C
Argisolo	12	SP	Argila	MÉDIO	ALTO	B
Dique 2	3	SP	Granito	MÉDIO	MÉDIO	C
JBS01	12	SP	Argila Arenosa	MÉDIO	MÉDIO	C
Lagoa 1	5	SP	Argila Caulinítica	MÉDIO	MÉDIO	C
Lagoa 2	5	SP	Argila Caulinítica	MÉDIO	MÉDIO	C
Tanque de Contenção de Overflow - TQc (TDA4)	15	SP	Areia	MÉDIO	MÉDIO	C
TD2	2	SP	Areia	MÉDIO	MÉDIO	C
CAJÁ 1	10	TO	Argila Arenosa	MÉDIO	MÉDIO	C
CAJÁ 2	6	TO	Argila Arenosa	MÉDIO	MÉDIO	C
CAJÁ 3	3	TO	Argila Arenosa	MÉDIO	MÉDIO	C

ANEXO C - ESTRUTURA E CONTEÚDO MÍNIMO DO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM DA PORTARIA DNPM Nº416

Estrutura e Conteúdo Mínimo do Plano de Segurança da Barragem		
VOLUMES	**CONTEÚDO MÍNIMO**	**OBSERVAÇÕES**
Volume I – Tomo I Informações Gerais e Declaração de Classificação da Barragem quanto ao Risco e Dano Potencial Associado	1. Identificação do Empreendedor; 2. Caracterização do empreendimento; 3. Características técnicas do Projeto e da Construção; 4. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes; 5. Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem; 6. Quando for o caso, indicação da entidade responsável pela regra operacional do reservatório; 7. Declaração da classificação da barragem quanto à categoria de risco e dano potencial associado; 8. Processos DNPM associados à barragem.	
Volume I – Tomo 2 Documentação técnica do Empreendimento	1. Projetos (básico e/ou executivo), caso existam; 2. Projeto como construído *(As built)*, caso exista; 3. Manuais dos Equipamentos, caso existam; 4. Licenças ambientais, outorgas e demais requerimentos legais.	
Volume II Planos e Procedimentos	1. Plano de operação, incluindo, mas não se limitando, à a.regra operacional dos dispositivos de vertimento, caso existam; b. procedimentos para atendimento às regras operacionais definidas pelo Empreendedor ou por entidade responsável, quando for o caso. 2. Planejamento das manutenções; 3. Plano de monitoramento e instrumentação; 4. Planejamento das inspeções de segurança da barragem; e 5. Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos, caso existam.	i. Para barragens Classe D e E, somente o item 1 será obrigatório para o Volume II. ii. A frequência mínima de inspeções de segurança regulares de barragens é definida em regulamento específico emitido pelo DNPM e deverá estar contemplada no Plano de Segurança da Barragem.

Estrutura e Conteúdo Mínimo do Plano de Segurança da Barragem		
VOLUMES	**CONTEÚDO MÍNIMO**	**OBSERVAÇÕES**
Volume IV Tomo I Revisão Periódica de Segurança da Barragem	1. Resultado de inspeção detalhada e adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas; 2. Reavaliação do projeto existente, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da revisão. 3. Reavaliação da categoria de risco e dano potencial associado; 4. Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de vertimento existentes. 5. Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento; 6. Reavaliação do Plano de Ação de Emergência- PAE, quando for o caso; 7. Revisão dos relatórios das revisões periódicas de segurança de barragem de anteriores; 8. Relatório Final do estudo.	A reavaliação do projeto existente deve englobar dentre os elementos dispostos abaixo, aqueles que possam ter sofrido alteração desde a revisão periódica anterior, em virtude de alterações de critérios de projeto, de atualização de séries hidrológicas, do resultado da inspeção detalhada ou da ocorrência de eventos extremos: Registros de construção, para determinar se a barragem foi construída em conformidade com as hipóteses de projeto e verificar a adequabilidade da sua estrutura e dos materiais de fundação. Avaliação da estabilidade e adequação estrutural, resistência à percolação e erosão de todas as partes dos barramentos, incluindo-se suas fundações, bem como quaisquer barreiras naturais sob condições de carregamentos, normais e extremos; Avaliação da capacidade de todos os canais e condutos hidráulicos para descarregar seguramente as vazões de projeto e a adequação desses condutos hidráulicos para suportar a vazão afluente de projeto e de esvaziamento do reservatório, caso necessário, em condições emergenciais; Verificação do projeto de todas as comportas, válvulas, dispositivos de acionamento e controle de fluxo, incluindo-se os controles de fornecimento de energia ou de fluidos hidráulicos para assegurar a operação segura e confiável; Avaliação do comportamento da barragem frente a eventos extremos (sismos e cheias), considerando os eventos ocorridos a partir da construção da barragem; Verificação da adequação das instalações para enfrentar fenômenos especiais que afetem a segurança, por exemplo, entulhos ou erosão, que podem ter sido insuficientemente avaliados na fase de projeto.
Volume V Plano de Ação de Emergência- PAE		O conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência serão tratados em regulamento específico.

ANEXO D - CLASSIFICAÇÃO PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO

NOME DA BARRAGEM:		
DATA DA CLASSIFICAÇÃO E ENQUADRAMENTO:		
1	**CATEGORIA DE RISCO (CRI)**	**PONTOS**
1,1	Características Técnicas (CT)	
1,2	Estado de Conservação (EC)	
1,3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS		
CLASSIFICAÇÃO DE RISCO		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	**CATEGORIA DE RISCO**	**CRI**
	ALTO	**>= 65 ou EC* = 10 (*)**
	MÉDIO	**37 a 65**
	BAIXO	**<= 37**
(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservaçã o (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade providências imediata s pelo responsável da barragem.		
NOME EMPREENDEDOR:		
CLASSIFICAÇÃO PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO		
2	**DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)**	**PONTOS**
2,1	Volume total do reservatório	
2,2	Existência de População a Jusante	
2,3	Impacto Ambiental	
2,4	Impacto Sócio-Econômico	
PONTUAÇÃO TOTAL (DPA)		
CLASSIFICAÇÃO DE DANO		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	**DANO POTENCIAL ASSOCIADO**	**DPA**
	ALTO	**>= 13**
	MÉDIO	**13 < DPA < 7**
	BAIXO	**<= 7**
MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO		

ANEXO D.1 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.2 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO

QUADRO 2 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (CT)				
Altura (a)	**Comprimento (b)**	**Vazão de Projeto (c)**	**Método Construtivo (d)**	**Auscultação (e)**
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiavel (10)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteada a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)
CT = ∑ (a até **e)**				

ANEXO D.2 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.2 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO

QUADRO 3 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC			
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)	**Percolação (g)**	**Deformações e Recalques (h)**	**Deterioração dos Taludes / Paramentos (i)**
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)
EC = ∑ (f até i**)**			

ANEXO D.3 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.3 – PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - OS

QUADRO 4 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (RESÍDUOS E REJEITOS) 1.3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - OS				
Documentação de Projeto (j)	**Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)**	**Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)**	**Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)**	**Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)**
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 "como está" (3)	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 básico (5)	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)
Projeto conceitual (8)				Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)				
PS = ∑ (j até n)				

ANEXO D.4 – QUADRO 5 – CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA (RESÍDUOS E REJEITO)

QUADRO 5 - CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (RESÍDUOS E REJEITOS)			
Volume Total do Reservatório (a)	**Existência de população a jusante (b)**	**Impacto ambiental (c)**	**Impacto sócio-econômico (d)**
Muito Pequeno < = 500 mil m³ (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 m³ (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, excluidas 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 infra- estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m³ (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, excluidas 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 infra- estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m³ (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 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra- estrutura de relevância sóio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande > = 50 milhões m³ (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	
DPA= ∑ (a até **d)**			