



LAVÍNIA BATISTA

**AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE RISCOS E EMERGÊNCIAS
EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO**

LAVRAS – MG

2021

LAVÍNIA BATISTA

**AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE RISCOS E EMERGÊNCIAS
EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.



Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido

Orientador

Prof^a. Ma. Luisa de Moura Leão

Coorientadora

LAVRAS – MG

2021

LAVÍNIA BATISTA

**AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE RISCOS E EMERGÊNCIAS
EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 30 de novembro de 2021.
Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido UFLA
Profa. Ma. Raquel Mariano Linhares UFLA
Profa. Ma. Luisa de Moura Leão UFOP

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido
Orientador
Prof^a. Ma. Luisa de Moura Leão
Coorientadora

LAVRAS – MG

2021

À Deus primeiramente.

À minha amada mãe, Márcia.

E aos meus irmãos, Eric e Maryana, que sempre foram a razão para toda minha dedicação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ter me iluminado durante toda essa trajetória.

Agradeço a minha Mãe Márcia, ao meu Anjo da guarda Geraldo, por terem me guiado pelos caminhos certos e me dado exemplos de seres humanos bons.

Aos meus orientadores Eduardo e Luisa, pela paciência, dedicação, orientação e todo apoio nesse trabalho.

Ao núcleo de estudos GEOTEC, pelo acolhimento e pela motivação de sempre querer buscar mais nesta área do conhecimento.

Às minhas companheiras de república que me deram todo apoio emocional.

À Pró Reitoria de Extensão e Cultura (PROEC) por todo apoio durante meu período de vulnerabilidade e nos projetos de extensão realizados.

Por fim, agradeço aos amigos que fizeram parte dessa história e fizeram a faculdade ser mais leve. Levarei vocês comigo para o resto da vida.

Eterna gratidão!!!

RESUMO

A mineração é uma atividade econômica muito importante para o mundo e responsável pela produção de muitos bens de consumo. As barragens de mineração são estruturas utilizadas para armazenar os rejeitos oriundos do processo de beneficiamento do minério. Essas estruturas tendem a diminuir sua resistência com o tempo caso não tenham a devida manutenção e construção progressiva. No Brasil tem ocorrido acidentes de rompimento de barragem com frequência envolvendo perdas de vidas humanas e alto grau de impacto socioambiental, alguns exemplos foram as barragens localizadas em Mariana-MG (2015) e Brumadinho-MG (2019). Visando entender as razões e propor alternativas para diminuir acidentes como esse, o presente trabalho discute, em primeiro momento, a importância da gestão de riscos nas barragens de mineração, abordando as várias metodologias existentes e analisando as falhas da gestão na barragem B1 em Brumadinho-MG, que se rompeu em 2019 após ter dado vários indícios de instabilidade. Em segundo momento, foi abordado a importância da elaboração do Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM) e quais os desafios para a efetiva aplicação dele, já que é um documento obrigatório por lei para todas as barragens de mineração, independente da classificação. O fato de que as barragens de Mariana-MG e Brumadinho-MG tinham o PAEBM e mesmo assim causaram enormes estragos foi crucial para discutir o por que mesmo com a existência de um plano cujo objetivo é minimizar ao máximo os danos causados caso uma ruptura ocorra houve dois dos maiores desastres ambientais do país com muitas perdas de vidas humanas. As falhas da efetiva aplicação do PAEBM da barragem B1 foram analisadas e discutidas as formas para melhorar a eficiência do plano. Já na terceira parte desse trabalho, foi feita uma análise do potencial de risco de rompimento nas barragens de rejeito de mineração Campo Grande e Xingú, ambas são na cidade de Mariana-MG, utilizando a metodologia *Risk-Based Profiling System* (RBPS). Após aplicar essa metodologia comparou o resultado com a classificação de risco adotada no Brasil, baseada na Resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), e verificou que, embora haja deficiências no processo causadas por falta de informações da estrutura e da sociedade em que está inserida, é um método bem aplicável para ajudar na gestão de riscos das barragens.

Palavras-chave: Gestão de riscos. Barragem de mineração. Rejeitos. Plano de Ação de Emergência.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de barragem de contenção de rejeito. | 12 |
| Figura 2 – Tipos construtivos de barragens de contenção de rejeitos: a) Alçamento a jusante; b) Alçamento a montante; c) Alçamento de linha de centro. | 13 |
| Figura 3 – Critérios de aceitabilidade e tolerabilidade do risco individual. | 19 |
| Figura 4 – Modelo das Três Linhas do Instituto de Auditores Internos (IIA)..... | 32 |
| Figura 5 – Linha do tempo da legislação de segurança de barragens de rejeito no Brasil. | 41 |
| Figura 6 - Ano em que a Defesa Civil passou a exigir das empresas cópias do Plano de Ação Emergencial de Barragens de Mineração (PAEBM)..... | 47 |
| Figura 7 – Localização das barragens Xingu e Campo Grande. | 53 |
| Figura 8 – Aplicação dos critérios para escolha das barragens. | 53 |
| Figura 9 – Fluxograma resumindo os passos da metodologia RBPS..... | 56 |
| Figura 10 – Comparativo entre os fatores de resposta para os cenários de solicitação das barragens..... | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores de pontuação atribuídos a cada cenário de solicitação na metodologia RBPS. | 55 |
| Tabela 2 - Probabilidades adotadas, através da técnica de transformação verbal. | 57 |
| Tabela 3 - Fatores de carga utilizados para as duas barragens. | 57 |
| Tabela 4 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário estático. | 58 |
| Tabela 5 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário hidrológico. | 60 |
| Tabela 6 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário sísmico. | 61 |
| Tabela 7 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário de operação e manutenção. | 62 |
| Tabela 8 – Índice de fatalidade derivada de estudos de caso. | 65 |
| Tabela 9 – Pontuação para classificação do dano socioambiental. | 67 |
| Tabela 10 – Comparativo entre a metodologia aplicada neste estudo e a metodologia de análise de risco utilizada no Brasil. | 71 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| PRIMEIRA PARTE..... | 11 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 12 |
| 2.1. Definição e contextualização das barragens..... | 12 |
| 2.2. Gestão de riscos aplicada às barragens..... | 15 |
| 2.3. Avaliação do risco..... | 16 |
| 2.4. Análises do risco e suas classificações e métodos..... | 16 |
| 2.5. Controle de riscos..... | 19 |
| 2.6. Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM)..... | 20 |
| 2.7. Requisitos para o Plano Emergencial..... | 23 |
| 2.8. Estudo de Dam Break..... | 26 |
| REFERÊNCIAS..... | 27 |
| SEGUNDA PARTE – ARTIGOS..... | 31 |
| ARTIGO 1 - A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE RISCOS dAS BARRAGENS .DE MINERAÇÃO..... | 31 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 31 |
| 2. DESENVOLVIMENTO..... | 31 |
| 3. CONCLUSÃO..... | 36 |
| REFERÊNCIAS..... | 37 |
| ARTIGO 2 – OS DESAFIOS PARA A EFETIVA APLICAÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO EMERGENCIAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL..... | 39 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 39 |
| 2. DESENVOLVIMENTO..... | 40 |
| 3. CONCLUSÃO..... | 48 |
| REFERÊNCIAS..... | 49 |
| ARTIGO 3 – ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO DE ROMPIMENTO EM BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO EMPREGANDO A METODOLOGIA <i>RISK-BASED PROFILING SYSTEM</i> (RBPS)..... | 51 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 51 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 52 |
| 2.1. Área de estudo..... | 52 |
| 2.2. Dados utilizados..... | 54 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.3. | Metodologia e aplicação de análise de risco adotada | 54 |
| 2.4. | Caracterização dos fatores de carga (P(carga))..... | 57 |
| 2.5. | Caracterização dos fatores de resposta para os cenários de solicitação (P(resposta) .. | 58 |
| 2.6. | Caracterização do Potencial de Perdas de Vidas Humanas | 63 |
| 2.7. | Caracterização do dano socioambiental..... | 66 |
| 3. | RESULTADOS | 67 |
| 3.1. | Análise do índice de falha total (IFT), índice de risco total (IRT) e potencial de .perdas de vidas | 67 |
| 3.2. | Análise dos cenários de solicitação | 68 |
| 3.3. | Análise socioambiental..... | 69 |
| 3.4. | Análise e enquadramento dos resultados obtidos nos critérios de classificação de barragens da Resolução nº 143/2012 do CNRH..... | 71 |
| 4. | CONCLUSÃO | 72 |
| | REFERÊNCIAS | 73 |
| | APÊNDICE..... | 75 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem ocupado uma posição de destaque no cenário global de mineração tanto em produção quanto em reservas. Este protagonismo está lastreado em seu potencial e diversidade geológicas e em expressivos e continuados investimentos em infraestrutura, talentos e tecnologia. Desta forma, em 2019, o valor da produção mineral do Brasil representou 16,8% do PIB Industrial (IBRAM, 2021). Mesmo diante dos efeitos da pandemia, o faturamento do setor mineral alcançou R\$ 209 bilhões em 2020, cerca de 36% maior do que em 2019, que foi de R\$ 153 bilhões. Este crescimento foi influenciado pelo aumento da produção mineral comercializada, pela curva crescente dos preços de commodities minerais e pela desvalorização cambial do Real (IBRAM, 2021).

Segundo o Portal da Mineração, mineral é um agregado de minerais rico em um determinado mineral ou elemento químico que é economicamente e tecnologicamente viável para extração (mineração). O processo de beneficiamento do minério consiste em operações como britagem, moagem, filtragem e secagem, que resultam na formação dos rejeitos e estéreis que são armazenados mais comumente em barragens de contenção de rejeitos. Assim como toda construção, essas estruturas são susceptíveis a falhas. A probabilidade de ocorrência é baixa, quando comparados a quantidade de barragens existentes e número de rompimentos. Porém os danos à jusante podem ser catastróficos, principalmente quando é caracterizado por regiões com população urbana ou rural. Algumas barragens possuem rejeitos com alto índice de contaminação, como arsênio e cianeto, que agravam as consequências após de uma possível ruptura. Nesse sentido, é de suma importância conhecer as possíveis causas e consequências da ruptura de barragens, as metodologias de gestão de riscos para manter a estrutura em um fator de segurança aceitável e a envoltória de inundação proveniente do fluxo de rejeito. Essas envoltórias, que são obtidas a partir do estudo de *Dam Break*, são usadas para a classificação e geração dos mapas de risco, o planejamento em situações de emergência, a criação do sistema de alerta da população a jusante e para a valoração dos danos associados.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar a importância e a dinâmica da gestão de riscos e emergências nas barragens de mineração, a eficiência dos Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração e a aplicação de uma metodologia de análise de risco para classificar duas barragens identificadas com nível de emergência mais crítico no estado de Minas Gerais.

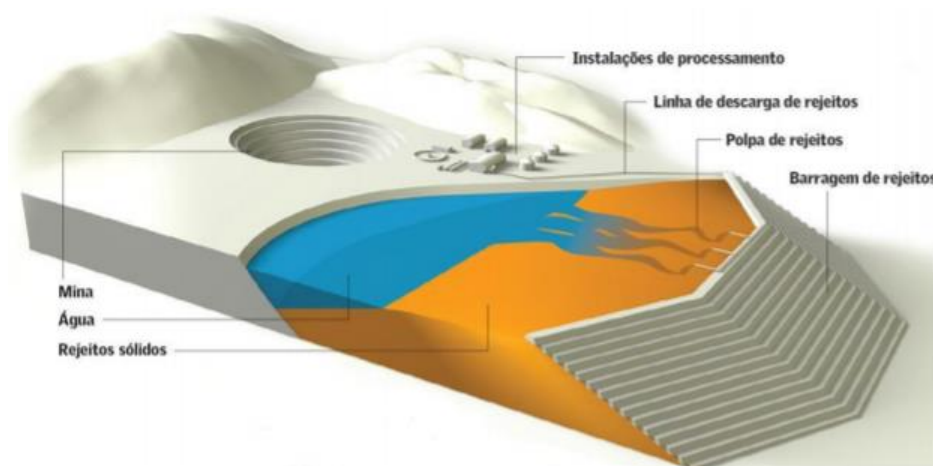
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Definição e contextualização das barragens

Uma barragem é uma estrutura em um curso de água, permanente ou temporária, para fins de contenção ou acumulação de água, de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. São estruturas construídas pelo homem há milhares de anos, que permitiram o desenvolvimento de atividades essenciais como agricultura e pecuária, e como consequência o desenvolvimento de cidades e civilizações. Podem ser de diversos tipos e tamanhos, desde pequenas represas para uso localizado, até gigantescas estruturas com inúmeras finalidades. Em geral dividem-se em barragens convencionais, que são construídas previamente à fase de operação, e barragens de rejeitos, construídas em etapas durante a fase de operação (ANA, 2020).

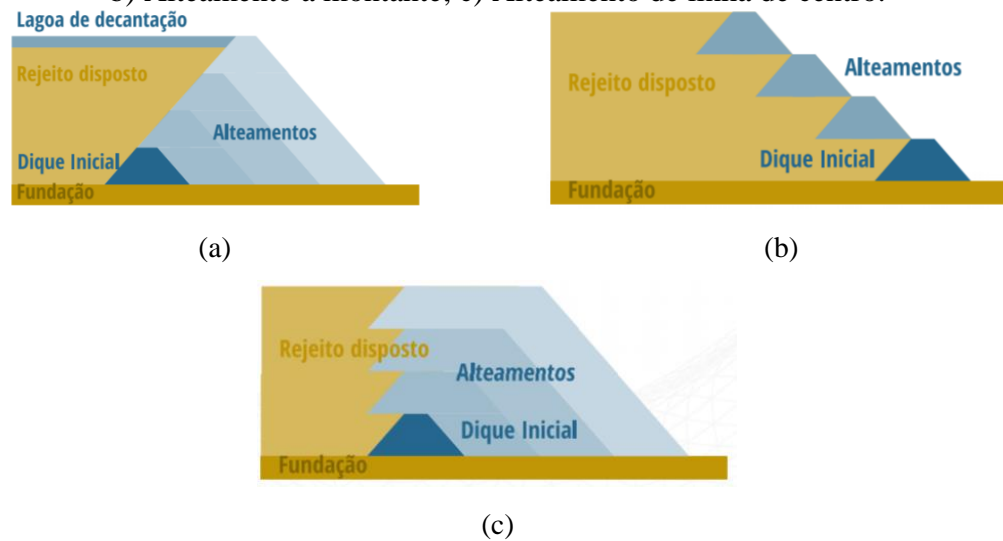
De acordo com o Ministério da Integração Nacional o termo barragem de rejeitos “se refere a barragem construída para reter rejeitos ou materiais estéreis de mineração e de outros processos industriais”. A partir de uma estrutura inicial de contenção denominada dique de partida os rejeitos são lançados para armazenamento, formando um depósito com uma zona denominada praia e outra denominada lagoa de decantação (FIGURA 1). A partir do momento em que a capacidade operacional é atingida, é necessário que o dique de partida seja elevado gradualmente, com fim de acumular mais resíduos. Esse processo é denominado de alteamento, e pode ser executado geralmente de 3 formas diferentes (FIGURA 2), tendo como referência a direção que a crista de alteamento se desenvolve em relação à posição inicial do dique de partida (ANA, 2020).

Figura 1 - Exemplo de barragem de contenção de rejeito.



Fonte: Pereira (2016).

Figura 2 – Tipos construtivos de barragens de contenção de rejeitos: a) Alateamento a jusante; b) Alateamento a montante; c) Alateamento de linha de centro.



Fonte: ANA (2020).

As barragens têm representado um grande risco para as comunidades que estão próximas a elas. Da necessidade de evitar impactos ambientais provocados pelos rejeitos que eram lançados diretamente nos cursos d'água, as barragens de mineração tornaram-se estruturas que reservam grande volume de resíduos que, por situações adversas, podem se romper, liberando todo esse volume nas áreas localizadas a jusante delas. Os principais desastres envolvendo ruptura de barragens de mineração relatados no estado de Minas Gerais têm-se repetido nas últimas duas décadas com aumento dos danos humanos, ambientais, materiais e dos prejuízos econômicos e sociais (PEREIRA; FIRME; COTTA, 2021).

Segurança de barragens é uma temática atual que visa manter a sua integridade estrutural e operacional, de modo a minimizar o risco de incidentes ou acidentes, para que a barragem cumpra sua finalidade, observando os cuidados necessários à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente. Uma barragem segura é uma barragem bem cuidada, na qual esforços, energia, atenção, recursos e profissionais capacitados são direcionados para uma boa concepção, um bom projeto, uma construção que siga as boas práticas da engenharia, e para as etapas posteriores à construção: primeiro enchimento, manutenção, operação, e desativação, se for o caso (ANA, 2020).

As principais leis, normas e regulamentos sobre a área vigentes no Brasil e mais especificamente no estado de Minas Gerais estão apresentadas no Quadro 1.

O monitoramento e manutenção regular são de fundamental importância, visto que as barragens ficam mais vulneráveis com o tempo. A gestão de riscos é a ferramenta ideal para

auxiliar nesse processo e evitar os danos recorrentes do seu rompimento como perdas de vidas, danos socioambientais e econômicos (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

Quadro 1 - Normativas vigentes no Brasil e em Minas Gerais.

| Lei/Resolução/Portaria | Objetivo principal |
|-------------------------------|---|
| Lei Federal nº 12.334/2010 | Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e cria o sistema nacional de informações sobre segurança de barragens. |
| Lei Federal nº 12.608/2012 | Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. |
| Resolução CNRH nº 143/2012 | Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume. |
| Resolução CNRH nº 144/2012 | 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. |
| Portaria ANM nº 70.389/2017 | Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB |
| Lei Estadual nº 23.291/2019 | Institui a Política Estadual de Segurança de Barragens. |
| Resolução ANM nº 32/2020 | Dirimir dúvidas de interpretação nos critérios para elaboração dos estudos de ruptura – dam break, e na classificação das barragens quanto à Categoria de Risco – CRI, além de outras questões pontuais. |
| Lei Federal nº 14.066/2020 | Revisão e alteração da Lei 12.334 |
| Resolução ANM nº 51/2020 | Aumentar a qualidade, eficácia e efetividade dos Planos de Ação Emergencial das Barragens de Mineração (PAEBM), introduzindo a obrigatoriedade de uma auditoria independente para os PAEBM a fim de realizar uma Avaliação da Conformidade e Operacionalidade (ACO) na sua elaboração. |

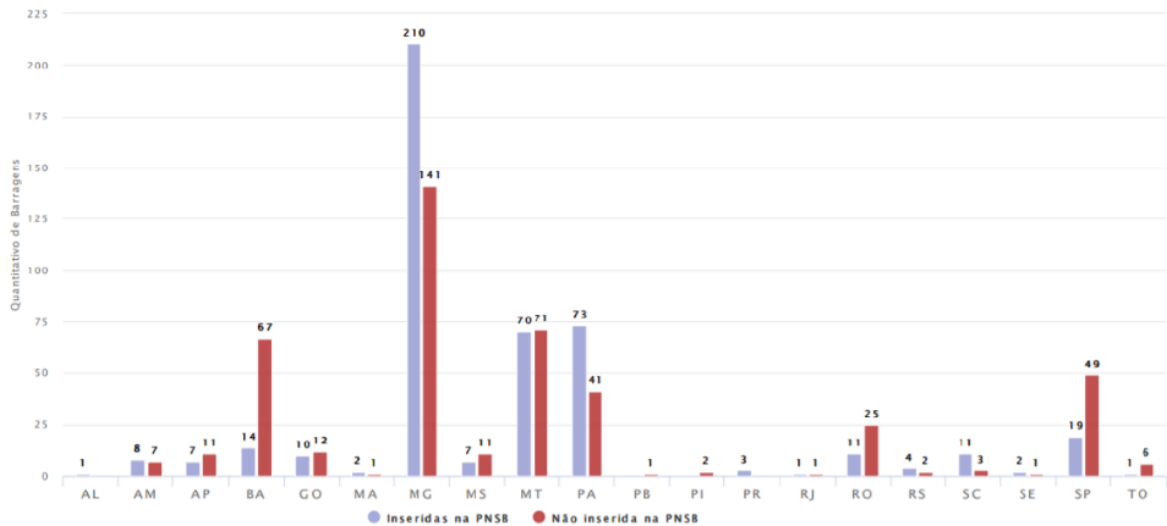
Fonte: Do autor (2021).

Atualmente, Minas Gerais é o estado com maior concentração de barragens de rejeitos do país, como apresentado no Gráfico 1. Das estruturas 351 existentes, 210 estão inseridas na PNSB. De acordo com a Lei Federal nº 14.066/2020, para ser inserida na PSNB a barragem deve apresentar pelo menos uma das seguintes características:

- I. Altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II. Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

- III. Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV. Categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei;
- V. Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei

Gráfico 1 – Quantitativo PNSB das Barragens por UF.



Fonte: Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM) (2021).

2.2. Gestão de riscos aplicada às barragens

O risco representa os possíveis problemas e distúrbios que podem acontecer durante a realização de uma tarefa ou meta em um projeto. Visto que o risco é intrínseco a todas as atividades e nunca pode ser totalmente eliminado, é possível minimizar seus impactos e obter êxito nas metas do projeto. Por fim, “o risco deve ser reconhecido como onipresente e considerado um parâmetro do cotidiano em qualquer atividade humana” (LEITE, 2019).

De acordo com a Resolução CNRH nº 144/2012, define-se “acidente” em uma barragem como o comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa. Já o “incidente” é definido como qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

De acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), presente no Decreto de Lei nº 344/2007 entende-se que o termo “danos potenciais” é definido como os efeitos resultantes de um acidente escalonados conforme bens, ambiente e vidas afetadas. Ainda de

acordo com o RSB, o risco é definido como o resultante dos danos potenciais de acordo com a probabilidade do acontecimento de acidentes ou incidentes.

Segundo Campos e Poznyakov (2020) a gestão de riscos é o processo sistemático completo composto pelas etapas de avaliação de risco, análises de risco, apreciação de risco e controle de risco. As três primeiras etapas, na maioria das vezes, são tratadas de forma simultânea, enquanto o controle de risco corresponde a execução das tomadas de decisão, onde são aplicadas as medidas admissíveis de controle.

2.2.1. Avaliação do risco

A avaliação dos riscos envolve a análise, e possibilita a tomada de decisão no decorrer do tempo de um processo de gestão. Também permite que sejam reconhecidos todos os riscos envolvidos no processo, obrigando todos os responsáveis pelo projeto e obra a lidarem de forma efetiva contra os riscos existentes. Tem como propósito fundamentar a gerência do risco, incorporando alternativas de controle (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

De acordo com Leite (2019), dentre os principais benefícios da avaliação de riscos destaca-se: a elevação do conhecimento das barragens, componentes, subsistemas, riscos associados, modo de falha e consequências; a confirmação de que se é seguro operar a barragem, e sob quais condições; identificação de alternativas para administrar um risco; comparação relativa à segurança de barragens através de métodos consistentes e informações objetivas. Como limitações, destacam-se a falta de uma metodologia reconhecida e aceita para determinar a tolerância do risco, dificuldades associadas à estimativa das consequências, envolvendo danos materiais, perdas de vidas, financeiras e ambientais.

2.3. Análises do risco e suas classificações e métodos

Segundo Campos e Poznyakov (2020), uma análise de riscos consiste em verificar a forma como todos os diferentes elementos de um sistema interagem entre si, imaginando os possíveis cenários que podem resultar nessas interações, além de estipular possíveis danos e prejuízos que tais cenários podem provocar. É baseada no uso da informação disponível para estimar o risco relativo a indivíduos ou populações, a propriedades ou ambientes, decorrentes de condições de perigo. As incertezas decorrentes das limitações dos modelos e do entendimento das barragens, tornam a ciência da construção de barragens bem complexa.

De acordo com Colle (2008), a análise de risco é classificada em três níveis, sendo a avaliação subjetiva de risco, avaliação de risco baseada em índices e análise formal do risco. A avaliação subjetiva de risco é feita uma análise pelo responsável da barragem, onde só são levados em consideração os itens de mais importância. Esta avaliação pode ser suficiente e resultar em uma boa decisão, mas dificilmente procederá em uma solução otimizada. Já a avaliação de risco baseada em índices leva em consideração a conjectura sistemática dos fatores que afetam a segurança, resultando em uma ordenação de um conjunto de barragens. Não considera certas condições específicas de campo, e probabilidades não podem ser comparadas. Por fim, na análise formal do risco são computadas as frequências da ocorrência dos eventos opostos, as probabilidades dos níveis de resposta aos eventos opostos e das consequências dos mesmos.

Atualmente as empresas de mineração utilizam-se de uma diversidade de métodos de análise de risco. Segundo Eckhoff (2016), existem 37 métodos de análise de risco. Já segundo a Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens de 2005 (CNPBG), são seis os métodos de análise de risco em destaque. No Quadro 2 estão listados os principais métodos.

Quadro 2 – Principais métodos de análise de risco.

| Método | Objetivo |
|--|--|
| HAZOP – Hazard and Operability Analysis (Análise dos Perigos e da Operacionalidade) | Investigar através de uma metodologia precisa, cada segmento de um projeto, objetivando a exposição de todos os distanciamentos possíveis das condições normais de operação, fornecendo sua determinada justificativa |
| FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Modos de Falha e dos seus Efeitos) | Identificar e compreender os possíveis modos de falha de um sistema, avaliando suas causas, sequelas, meios de determinação, prevenção e atenuação dos seus efeitos. Assim, poderá ser antecipada uma correção para prover a atenuação ou extinguir os riscos. |
| FMECA – Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (Análise dos Modos de Falha, dos seus Efeitos e da sua Severidade) | Constitui uma extensão ou generalização da FMEA, permitindo ordenar vários modos de ruptura de acordo com o mais crítico. Aplicando escalas de probabilidade de ocorrência de falhas e da gravidade dos seus efeitos é possível ordenar as diferentes maneiras que um processo pode falhar, e ser elaboradas instruções para se tomar as devidas providências de defesas |
| ETA – Event Tree Analysis (Análise por Árvore de Eventos) | A partir de um ponto inicial, identificar as complicações que podem ocorrer, bem como a probabilidade de suas ocorrências. Pode ser aplicado em qualquer etapa do projeto, ou da construção da barragem. |
| FTA – Fault Tree Analysis (Análise por Árvore de Falhas) | Método gráfico que utiliza símbolos definidos em norma, para indicar a relação de eventos, partindo de uma falha e identificando combinações de eventos até a descoberta da ocorrência da falha. É aplicado aos sistemas complexos. |

(Continua)

(Continuação)

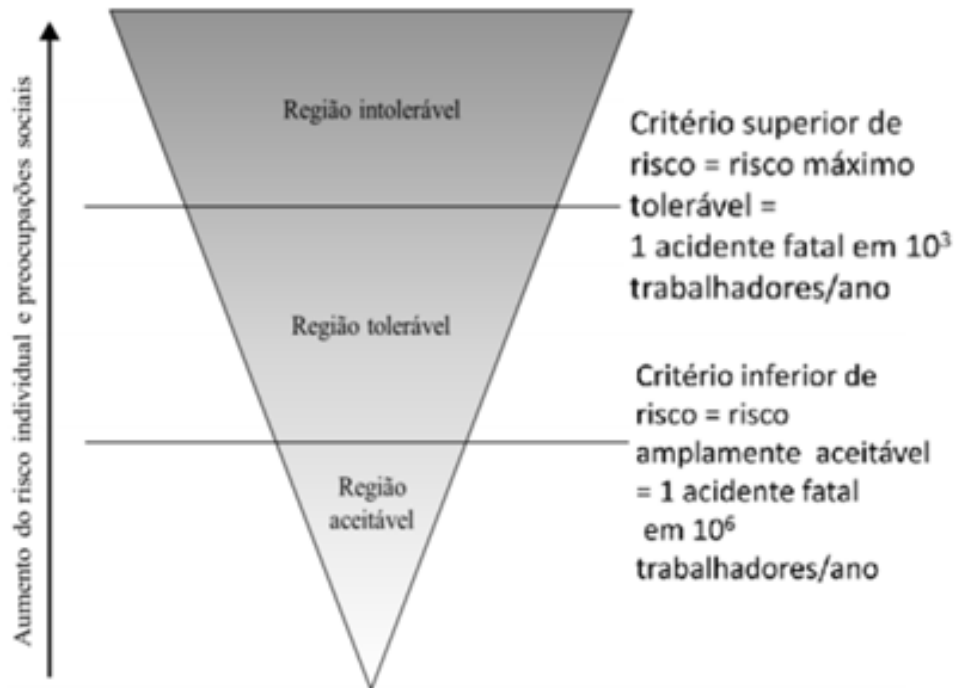
| | |
|--|---|
| Noeud Papillon (Nó Borboleta) | Trata-se da junção dos dois métodos anteriores (ETA e FTA) através de um ponto central. |
| Análise por diagramas do tipo LCI (Localização, Causa e Indicadores de Falhas) | Criar uma hierarquia em um conjunto de sistemas ou dos modos de ruptura de um único sistema. É considerado uma versão simplificada dos métodos FMEA/FMECA. |
| Análise de riscos por índices | Abranger a determinação de um índice global de risco, conseguinte de uma classificação atribuída a fatores selecionados. |
| Análise Preliminar de risco (APR) | Fazer uma análise preliminar, através de um método indutivo e qualitativo, onde é feito um estudo simples e global com o objetivo de encontrar riscos e perigos em determinada atividade, estimando consequências e descobrindo medidas de proteção e controle em relação às mesmas. |
| Análises de risco por lista de verificação | É o método mais simples, sendo utilizado de forma bem prática, quando não cabe a utilização de outro método. O “Checklist” é bem simples, porém é uma ferramenta de grande utilização durante as inspeções de campo. |
| <i>Risk-Based Profiling System</i> (RBPS) | É uma ferramenta que permite aferir, a partir de dados qualitativos, a probabilidade de um rompimento e suas prováveis consequências a partir da formulação dos quatro cenários mais frequentes (estático, hidrológico, sísmico e operação e manutenção). Ela tem sido muito usada no exterior. |

Fonte: Do autor (2021).

É importante definir os conceitos de risco aceitável e tolerável: No risco aceitável, todos os indivíduos que podem ser afetados, estão cientes e preparados para assumir o risco, desde que não haja alterações nos procedimentos de controle de risco. Tal risco é controlado e considerado muitas vezes insignificante, mas não se pode afirmar que isso é uma regra pois a aceitabilidade não é dada através de estudos técnicos e critérios, mas sim de acordo com a percepção da sociedade que é influenciada pela vivência pessoal na qual é variável com o tempo (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

Os riscos toleráveis são tais que, dentro de um limite, há o aceite dos danos pela sociedade em pró da usufruição de benefícios. Em comunidades de risco a população está sujeita a tolerar um risco maior. Este risco não é insignificante e não deve ser ignorado, mas sim controlado, além de tentar reduzi-lo dentro da medida do possível. É necessário conhecer os riscos individual e social para se ter certeza se as condições de funcionamento da barragem ou de um empreendimento qualquer, são seguros para os funcionários e para a comunidade ao redor. O risco individual é associado a probabilidade de perda de vida humana nas proximidades do empreendimento, no decorrer de um acidente, ou seja, no caso de barragens, é o aumento do risco de morte, para o indivíduo afetado pelas consequências de uma possível ruptura da barragem. A Figura 3 apresenta os princípios de aceitabilidade e tolerabilidade (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

Figura 3 – Critérios de aceitabilidade e tolerabilidade do risco individual.



Fonte: Adaptado de Silva (2015).

O risco social é aquele que assume consequências de grande escala e necessita de uma resposta pública no meio político e social através de mecanismos regulatórios, sendo, portanto, mais importante que o risco individual. É necessário, também, estabelecer limites de aceitabilidade e tolerabilidade para esse risco. Assim, diversos países e órgãos desenvolveram gráficos e diagramas que ajudam na tomada de decisão (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

2.4. Controle de riscos

No controle de riscos são tomadas decisões quanto à prevenção, detecção e atenuação de riscos em acontecimentos que possam provocar consequências indesejáveis. Esta etapa implementa os planos de respostas aos riscos, bem como a comunicação necessária, e é a última a ser colocada em prática na gestão de riscos (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

A ICOLD (2005) propõe o agrupamento das opções de controle de risco com base nas seguintes categorias:

- Aceitar o risco: Requer que o risco tenha sido considerado aceitável ou tolerável;
- Evitar o risco: Exige uma decisão antes do início da construção da barragem de forma a eliminar o risco, ou o abandono do projeto ou, em casos extremos de barragens existentes, o desmantelamento;

- Reduzir probabilidades: Requer aplicação de medidas estruturais como instalação de drenos, de aplicação de um plano de monitoramento e inspeção de forma a tornar o risco aceitável ou tolerável;
- Reduzir consequências: Requer plano de emergência eficiente, de forma a tornar o risco aceitável ou tolerável, como por exemplo a ativação do Plano de Evacuação para a Zona de Autossalvamento presente no Plano de Ação Emergencial das barragens;
- Transferir o risco: Requer a compensação do risco através de um seguro;
- Aceitação: Os riscos são aceitos quando a análise custo/benefício é positiva e estes são considerados aceitáveis ou toleráveis, dependendo das circunstâncias.

Conforme o exposto acima, o processo de gestão de riscos se inicia com a percepção e detecção de eventuais anomalias relacionadas à segurança ou ao funcionamento de uma barragem/estrutura. Posteriormente, realiza-se uma análise de riscos para se determinar quais são as decisões ou procedimentos a serem adotados para enfim, implementar uma gestão de riscos. A gestão de riscos atuará através da segurança, utilizando métodos de análise de riscos que indicará os modos de falhas e portanto, ajudará no monitoramento e manutenção da estrutura além de atuar através da gestão de emergência na qual instituirá o Plano de Ação de Emergência (PAE) (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

2.5. Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM)

As barragens são estruturas que induzem vários riscos, havendo a possibilidade de ocorrência de fatalidades, caso venha a ocorrer uma ruptura na estrutura da barragem. Esse tipo de desastre irá se alastrar por uma grande extensão de terra, onde um elevado volume de água percorrerá um caminho, habitável ou não, como campos, pastos, bairros ou até mesmo cidades inteiras. Assim, quanto mais rápido for possível se antecipar com ações de socorro, com a transmissão de informação para a sociedade, quando algo acabar de acontecer, ou quando poderá acontecer em breve, melhores e mais eficazes elas serão (CAMPOS; POZNYAKOV, 2020).

Segundo Leite (2019), as principais causas de acidentes e rupturas verificadas nos principais tipos de barragens de concreto são:

- Fatores Naturais ou Ambientais;
- Risco Hidrológico: Chance de defeito de uma barragem diante da ocorrência de vazão superior àquela dimensionada;

- Sismicidade: A ocorrência de sismos pode ser induzida pelo enchimento de reservatórios resultantes da construção de uma barragem. Os sismos podem causar danos severos às estruturas e a comunidade a jusante;
- Escorregamento: Escorregamento de solo nas margens dos reservatórios, causando ondas consideráveis no reservatório e o galgamento da barragem;
- Ações agressivas: Intemperismo sobre a barragem, causando decomposição ao longo do tempo, erosão, corrosão, dentre outros;
- Riscos na Operação do reservatório: Dificuldade de determinar a capacidade de descarga dos vertedouros e/ou quando eles são subdimensionados;
- Riscos Geológicos: Probabilidade de ocorrência de condições geológicas diferentes das previstas no projeto;
- Riscos Estruturais: Falha no dimensionamento estrutural;
- Riscos de monitoramento: Relacionados com o controle do comportamento das estruturas por meio de manutenção preditiva;
- Riscos Técnicos Organizacionais: Causas relacionadas ao gerenciamento de riscos pelos responsáveis pelo projeto, obra e operação da barragem;
- Riscos Associados à gestão de emergências: Ação de resposta contra emergências, para se evitar uma ruptura. Caso ela seja inevitável, reduzir suas consequências;
- Riscos de Ruptura de Barragens em Cascata: Probabilidade de ruptura de uma barragem;
- Socioeconômicos: Riscos associados às perdas humanas e econômicas diante da ruptura de barragem.

Em razão da falta de uma legislação unificadora no tocante as barragens no Brasil, a Lei Federal 12.334/10 e outras portarias de regulamentação foram sancionadas para aprimorar procedimentos, processos e metodologias a partir da instituição obrigatória do Plano de Segurança de Barragem (PSB) para determinadas estruturas. Dentro desse contexto, é destacado o Plano de Ação de Emergência (PAE) como um dos instrumentos do PSB (PEREIRA; FIRME; COTTA, 2021).

A Lei 12.334/2010 apresenta no artigo 12 que o PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, e deve contemplar, pelo menos i) a identificação e análise das possíveis situações de emergência; ii) os procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem e iii) os procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de

emergência, com indicação do responsável pela ação e estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência. Esse artigo também deixa claro em seu parágrafo único que o PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

Alinhada com a legislação publicada em Minas Gerais, foi elaborada a Lei 14.066 em 30 de setembro de 2020, que alterou a Lei 12.334/10, modificando a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Percebe-se que as alterações foram importantes para a proteção da vida e bens com base nas experiências vivenciadas. Dois conceitos importantes estabelecidos pela Lei 12.334/10 e atualizados pela Lei 14.066/20 são: categoria de risco e dano potencial associado (PEREIRA; FIRME; COTTA, 2021).

A Lei 14.066 traz a definição de dano potencial associado à barragem como o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais. Já para a categoria de risco ela diz qual a classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre. O artigo 11º da Lei 14.066 também define a obrigatoriedade da elaboração do PAE para toda barragem de mineração (Plano de Ação de Emergência para Barragem de Mineração - PAEBM), além da obrigatoriedade para as barragens classificadas como: médio e alto dano potencial associado ou alto risco.

Para complementar as legislações já existentes e usando os ensinamentos do desastre provocado pelo rompimento da barragem de Brumadinho, no dia 25 de fevereiro de 2019, foi publicada a Lei nº 23.291/19, que instituiu a Política Estadual de Segurança de Barragens. Esse dispositivo aplica-se não somente às barragens de mineração, mas também a todas as barragens destinadas à acumulação ou disposição final ou temporária de rejeitos industriais ou a barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração que se enquadrarem nos seguintes critérios: altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 10m (dez metros); capacidade total do reservatório maior ou igual a 1.000.000m³ (um milhão de metros cúbicos); reservatório com resíduos perigosos e potencial de dano ambiental médio ou alto, conforme regulamento.

O PAE é composto por dois planos específicos:

1. Plano de Emergência Interno: A Zona de Autossalvamento (ZAS) refere-se à barragem e à zona a jusante próxima da barragem. Caberá ao responsável pela obra, a elaboração de tal plano, levando em consideração as normas e legislação.
2. Plano de Emergência Externo: A Zona de Segurança Secundária (ZSS) refere-se à proteção do vale a jusante, distante da barragem. Caberá às autoridades políticas de proteção civil a elaboração de tal plano, levando em conta os riscos de rompimento da barragem, definidos pelos responsáveis pela obra.

2.6. Requisitos para o Plano Emergencial

De forma geral, Fema (2013) define que um PAE deve conter as seguintes informações:

- Ações que devem ser realizadas pelo empreendedor para consertar um problema na barragem;
- Ações que devem ser feitas pelo empreendedor em coordenação com as autoridades em defesa civil, para resposta a uma emergência relatada na barragem;
- Ações de aviso, alerta e alarme que devem ser realizadas pelo empreendedor para comunicar o risco às populações residentes a jusante da barragem;
- Mapas de inundação para auxílio nas ações de resposta;
- Definição das atribuições e responsabilidades dos envolvidos na resposta ao evento.

O conteúdo obrigatório do PAE é definido na Lei nº 14.066/2020 em seu artigo nº 12 e está descrito no Quadro 3:

Quadro 3 – Conteúdo obrigatório do PAE definido pela Lei nº 14.066/2020.

| | |
|-----|--|
| I | Descrição das instalações da barragem e das possíveis situações de emergência |
| II | Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento, de condições potenciais de ruptura da barragem ou de outras ocorrências anormais |
| III | Procedimentos preventivos e corretivos e ações de resposta às situações emergenciais identificadas nos cenários acidentais |
| IV | Programas de treinamento e divulgação para os envolvidos e para as comunidades potencialmente afetadas, com a realização de exercícios simulados periódicos |
| V | Atribuições e responsabilidades dos envolvidos e fluxograma de acionamento |
| VI | Medidas específicas, em articulação com o poder público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural |

(Continua)

(Continuação)

| | |
|------|--|
| VII | Dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários para resposta ao pior cenário identificado |
| VIII | Delimitação da Zona de Autossalvamento (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária (ZSS), a partir do mapa de inundação |
| IX | Levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais |
| X | Sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem integrado aos procedimentos emergenciais |
| XI | Plano de comunicação, incluindo contatos dos responsáveis pelo PAE no empreendimento, da prefeitura municipal, dos órgãos de segurança pública e de proteção e defesa civil, das unidades hospitalares mais próximas e das demais entidades envolvidas |
| XII | Previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência, com alcance definido pelo órgão fiscalizador |
| XIII | Planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com a respectiva sinalização |

Fonte: Lei nº 14.066/2020 adaptada (2021).

A Portaria ANM nº 70.389/2017 para complementar, define como conteúdo mínimo do PAE os tópicos presentes no Quadro 4.

De acordo com a legislação, Fema (2013) propõe que as informações necessárias apresentadas nos Quadros 3 e 4 sejam resumidas em seis pontos básicos dentro do PAE:

(1) fluxograma de informações e contatos; (2) processo de resposta ao evento; (3) atribuições e responsabilidade de cada envolvido; (4) descrição das ações de preparação;

5. mapas de inundação; e (6) informações adicionais em anexos.

Quadro 4 – Conteúdo mínimo do PAE definido pela Portaria ANM nº 70.389/2017.

| | |
|----|---|
| 1 | Apresentação e objetivo do PAEBM |
| 2 | Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificações |
| 3 | Descrição geral da barragem e estruturas associadas |
| 4 | Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência em níveis 1, 2 e/ou 3 |
| 5 | Ações esperadas para cada nível de emergência |
| 6 | Descrição dos procedimentos preventivos e corretivos |
| 7 | Recursos materiais e logísticos disponíveis para uso em situação de emergência |
| 8 | Procedimentos de notificação (incluindo o Fluxograma de Notificação) e Sistema de Alerta |
| 9 | Responsabilidades no PAEBM (empreendedor, coordenador do PAE, equipe técnica e Defesa Civil) |
| 10 | Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e ZSS assim como dos pontos vulneráveis potencialmente afetados |
| 11 | Declaração de Encerramento de Emergência, quando for o caso |
| 12 | Plano de Treinamento do PAE |
| 13 | Descrição do sistema de monitoramento utilizado na Barragem de Mineração |

(Continua)

(Continuação)

| | |
|----|---|
| 14 | Registros dos treinamentos do PAEBM |
| 15 | Relação das autoridades competentes que receberam o PAEBM e os respectivos protocolos |
| 16 | Relatório de Causas e Consequências do Evento em Emergência Nível 3, contendo, no mínimo: a) Descrição detalhada do evento e possíveis causas; b) Relatório fotográfico; c) Descrição das ações realizadas durante o evento, inclusive cópia das declarações emitidas e registro dos contatos efetuados, conforme o caso; d) Em caso de ruptura, a identificação das áreas afetadas; e) Consequências do evento, inclusive danos materiais, à vida e à propriedade; f) Proposições de melhorias para revisão do PAEBM; g) Conclusões do evento; h) Ciência do responsável legal pelo empreendimento |

Fonte: Portaria ANM nº 70.389/2017 adaptada (2021).

Segundo o livro base da Elaboração de Plano de Contingência do Ministério da Integração Nacional (2017), o documento que precisa estar de acordo e complementar o PAE é o Plano de Contingência, cuja elaboração é de responsabilidade do município. Esse documento registra o planejamento elaborado a partir da percepção e análise de um ou mais cenários de risco de desastres e estabelece os procedimentos para as ações de monitoramento (acompanhamento das ameaças), alerta, alarme, fuga, socorro, assistência às vítimas e restabelecimento dos serviços essenciais.

De acordo com a publicação da Lei 23.291/19 em Minas Gerais, o escopo do PAE, além dos itens já delimitados pelas demais legislações, apresenta os seguintes tópicos:

- Previsão de sistema de alerta e alarme capaz de avisar as populações passíveis de serem atingidas;
- Resgate das pessoas e animais passíveis de serem atingidos;
- Abastecimento de água potável às comunidades afetadas;
- Mitigação dos impactos ambientais que podem ser causados;
- Resgate e salvaguarda do patrimônio cultural que pode ser afetado.

Essa Lei também diz que a ZAS pode ser majorada para 25 km levando em consideração a densidade e a localização das áreas habitadas e os dados sobre patrimônio cultural e natural da região.

2.7. Estudo de Dam Break

Em geral, todo PAE contém fluxogramas de notificação, processo de resposta, responsabilidades e atividades de preparação (FEMA, 2013). A preparação das emergências depende da definição das áreas que podem ser potencialmente atingidas e, a partir disso, seguem as identificações de ações de planejamento de respostas à contingência. Nesse sentido, um item primordial do conteúdo do PAEBM é o estudo de propagação da inundação decorrente da ruptura de uma barragem ou, como comumente é chamado, estudo de inundação ou *dam break* (BERNEDO; JULIEN; LEON, 2011; DAY, 2016). Não há critérios internacionais padronizados para metodologias usadas no estudo de *dam break*.

Mesmo com esta falta metodológica, países como Portugal, Canadá, Espanha, Estados Unidos, Austrália e Índia, têm diretrizes que regulamentam alguns parâmetros como os *softwares* a serem utilizados para modelar a onda de ruptura, a malha topográfica mais adequada para a construção da geometria do modelo e os formatos disponibilizados de mapeamento da inundação. No Brasil, as poucas menções na legislação sobre o estudo de inundação (*dam break*) para Planos de Ação Emergencial não citam parâmetros metodológicos ou indicações de como esse estudo deve ser elaborado. Para barragens de mineração, houve avanços quanto a alguns itens do Estudo de Inundação, apresentado na Portaria DNPM nº 70.389, publicada em maio de 2017, após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão da Samarco Mineração as, em Mariana, MG, em novembro de 2015 (PAIVA, 2020).

Conforme a portaria, o Estudo de Inundação (*dam break*) para barragens de mineração deve contemplar no mínimo a definição de Zona de Autossalvamento (ZAS), Zona de Salvamento Secundária (ZSS) e mapas georreferenciados (ANM, 2017). Salienta-se que antes dessa regulamentação não eram exigidas a delimitação das áreas de atingimento e a vinculação dos mapas de inundação com sistemas de informação espaciais. Apesar desses avanços, a ocorrência de um novo desastre, com a barragem de rejeitos B1 da ValasSA em Brumadinho, MG, em janeiro de 2019, corroborou com novos questionamentos sobre a efetividade do PAE e a fiel previsibilidade dos estudos de inundação (*dam break*) (PAIVA, 2017).

Diversos métodos e tipos de modelagem de inundações vêm sendo empregados com a finalidade de simular o comportamento de inundações decorrentes do rompimento de barragens (*dam break*). Os modelos utilizados para o estudo de ruptura de e inundação advindos de barragens de rejeito são oriundos das modelagens já aplicadas para inundações causadas por água, seja por rompimentos de barragens d'água, enchentes ou ainda inundações naturais. Para

o caso dos rejeitos, a modelagem é ajustada para as novas características hidrodinâmicas do material (TENG et al., 2017; MOON et al., 2019).

Dentre alguns modelos de propagação do hidrograma de ruptura de barragens de rejeito disponíveis tem-se: FLO-2D, RiverFlow2D, MIKE, HEC-RAS DEBRIS 2D, entre outros (MACHADO, 2017).

Um fator fundamental para a realização da modelagem e a precisão do modelo são os dados de entrada. Conforme Cunge et al. (1980) apud Brasil (2005), os dados básicos para o estudo de inundação de uma onda de cheia derivada de uma ruptura de barragens, são de dois tipos:

“Dados topográficos: descrevem a geometria do sistema de cursos d’água modelado por meio de elementos como o volume de armazenamento na planície de inundação, a largura e a área da seção transversal, entre outros; e

Dados hidráulicos: são constituídos por fluviogramas e hidrogramas, dados de medições de vazão e velocidade, curvas cota-descarga, levantamentos de marcas de cheia e áreas inundadas, entre outros. Servem ao estabelecimento de condições de contorno e à estimação da capacidade de transporte dos cursos d’água.”.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de Segurança em Barragens 2019**. Brasília, DF: ANA, 2020.

BERNEDO, Carmen E.; JULIEN, Pierre; LEON, Arturo. **Dam breach analysis in tailings storage facilities (TSF)**. In: World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability - Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress, p. 2216–2224, 2011.

BRASIL, Lucas Samuel Santos. **Utilização de Modelagens uni e bidimensional para a Propagação de Onda de Cheia proveniente de Ruptura Hipotética de Barragem. Estudo de Caso: Barragem de Rio de Pedras – MG**. Dissertação de Mestrado. 222p., 2005.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Portaria 70.389 de 17 de maio de 2017**.

BRASIL. **Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010**.

BRASIL. **Lei 12.608 de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis n.º 12.340, de 1º de dezembro de

2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 14.066 de 30 de setembro de 2020.** Altera a Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei n.º 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei n.º 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Minimização de Desastres. **Módulo de formação: elaboração de plano de contingência: livro base / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres.** - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL. **Portaria n. SECEC n. 187 de 26 de outubro de 2016: Caderno de orientações para apoio a elaboração de planos de contingência municipais para barragens, 2016.**

BRASIL. **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 seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. **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 nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

CAMPOS, Nathalia Neves; POZNYAKOV, Karolina. **A Gestão de riscos em barragens de rejeitos no Brasil.** Rio de Janeiro: Escola Politécnica, 2020.

CNPGB. **Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens: 1º Relatório de Progresso.,** Lisboa: Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, 2005.

CNPGB. **Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens: 2º relatório de progresso.,** Lisboa: Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, 2006.

COLLE, Gisele A. **Mmetodologia de análise de risco para classificação de barragens segundo a segurança.** Curitiba: 2008. Universidade Federal do Paraná, 2008.

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS. **Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens: 1º Relatório de progresso.** Portugal, 2005. DE TRABALHO DE ANÁLISE DE RISCOS EM BARRAGENS.

CUNGE, J. A.; HOLLY, F. M.; VERWEY, A. **Practical Aspects of Computational River Hydraulics.** Boston, Pitman Edition, 1980, 419 p.

DAY, C. Andrew. **Modeling potential impacts of a breach for a high hazard dam.**, Elizabethtown, Kentucky, USA. Applied Geography, v. 71, p. 1–8, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622816300340?via%3Dihub>. Acesso em: 16 de junho de 2021.

ECKHOFF, R. K. **Explosion Hazards in the Process Industries**, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032732000116>. Acesso em: 16 de junho de 2021.

F–MA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (2013). **Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dams**. FEMA 64. July. Disponível em: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/eap_federal_guidelines_fema_p-64.pdf. Acesso em: 18 de junho de 2021.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Riscos e Oportunidades de Negócios em Mineração e Metais no Brasil**. IBRAM, 2021.

ICOLD, 2005. **Risk assessment in dam safety management, A reconnaissance of benefits, methods and current applications**. International Commission On Large Dams: Bulletin 130., 2005. Disponível em: <http://nebula.wsimg.com/37145800fad2c8af9f2a1f91092f4e01?AccessKeyId=AECEC14891B2B81C3F0D&disposition=0&alloworigin=1>. Acesso em 23 de junho de 2021.

LEITE, Sérgio R.; **Modelo para avaliação de riscos em segurança de barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e conjuntos Fuzzy**. Brasília: Universidade de Brasília, 2019.

MACHADO, Nathália Couto. **Retroanálise da propagação decorrente da ruptura da barragem do fundão com diferentes modelos numéricos e hipóteses de simulação**. Dissertação de Mestrado. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

MIN. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002.

MINAS GERAIS (a019a). **Lei 23.291 de 25 de fevereiro de 2019**. Institui a política estadual de segurança de barragens.

MMA, MINISTÉRIO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Recursos Hídricos Resolução CNRH nº 144/2012**. BRASIL 2012.

MOON, N. ; PARKER, M.; BOSHOFF, H. J. J.; CLOHAN, D. **Advances in non-Newtonian dam break studies**. Proceedings of th^e 22nd In: International Conference on Paste, Thickened and Filtered Tailings, ANCOLD 2012, p. 165–172, 2019. Disponível em: https://papers.acg.uwa.edu.au/p/1910_09_Boshoff/. Acesso em 01 de julho de 2021.

MOPTC, MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES. Regulamento e segurança de barragens. **Decreto-lei nº344/2007**. PORTUGAL, 2007.

PAIVA, Camilla Adriane De. **Contribuições dos estudos de dam break às ações da Defesa Civil**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2020.

PAIVA, Camilla Adriane. **Análise dos Planos de Ação Emergencial de Barragens de Alto Dano Potencial do Município de Ouro Preto/MG, tendo como referência as legislações vigentes.** Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 124 p.

PANIAGO, Luiz. **Principais usos das barragens e suas aplicabilidades.** Instituto Minere, 2018. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/principais-usos-das-barragens-e-suas-aplicabilidades>. Acesso em 20 de junho de 2021.

PEREIRA, Flávio Godinho; FIRME, Paulo Henrique Camargos; COTTA, João Paulo Vieira. **Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões,,** 2021. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/issue/view/355/186>. Acesso em 20 de junho de 2021.

PEREIRA, Frank M. S. **Gestão de riscos e plano de ações emergenciais aplicado à barragem de contenção de rejeitos casa de Pedra/CSN.** Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp132138.pdf>.

PEREIRA, Oniwendel F. M. **Análise da classificação de barragens de contenção de rejeitos no Brasil, quanto ao critério de categoria de risco.** Instituto Tecnológico Vale, 2016.

SILVA, João P. G. F. A. **Gestão de riscos aplicada a uma infraestrutura de armazenamento de resíduos mineiros.** Universidade Nova de Lisboa, 2015.

TENG, J.; JAKEMANB, A.J.; VAZE, J.; CROKE, F.W.; DUTTA, D; KIM, S. *et al.* **Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis.** Environmental Modelling and Software, v. 90, p. 201–216, 2017.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIG– 1 - A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE RISCOS DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma das principais atividades econômicas no mundo com grande importância e influência no desenvolvimento industrial, socioeconômico e territorial do Brasil, visto que é um dos principais produtores de minério. A disposição de rejeitos em barragens tem sido o método mais comum e mais barato para acumular as substâncias geradas pela extração de minérios. Entretanto, essas estruturas, geralmente de grandes proporções, deixam vulneráveis as comunidades a jusante e o meio ambiente. Isso ocorre quando a disposição de rejeitos avança a vida útil da estrutura e quando o controle e manutenção são deficitários, assim as barragens ficam mais suscetíveis a vazamentos e possíveis rompimentos, gerando perdas de vidas, danos socioambientais e econômicos.

Diante de vários acidentes envolvendo rompimento de barragens no Brasil, como os casos das cidades de Mariana-MG, em 2015, e posteriormente Brumadinho-MG, em 2019, ficou evidente a necessidade de maior monitoramento e a manutenção destas estruturas até que elas sejam totalmente descaracterizadas. A gestão de riscos é fundamental nas etapas de construção, operação e descaracterização, pois ela atua na indicação dos modos de falhas e problemas na segurança da estrutura, auxiliando também na gestão de emergências com a execução do Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM).

Este artigo tem como objetivo destacar a importância da gestão de riscos e quais são os impasses prejudiciais na efetiva aplicação das metodologias.

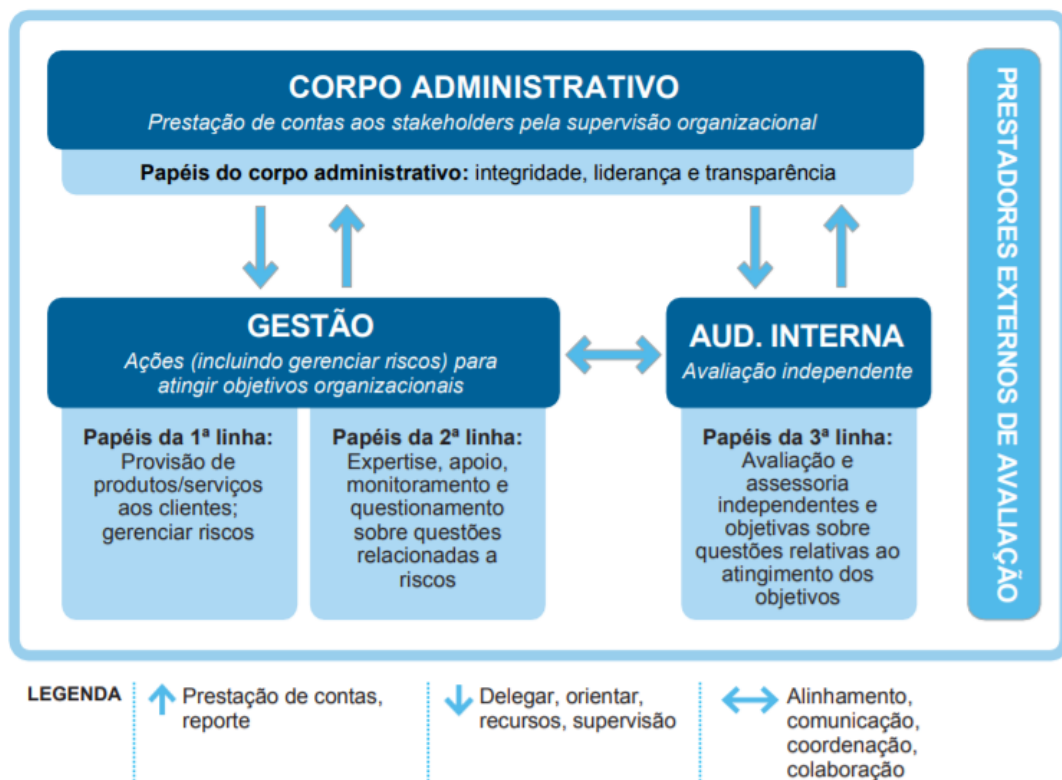
2. DESENVOLVIMENTO

Em qualquer grande desastre há vários motivos envolvidos e uma sequência de avisos prévios. Se tratando de barragens de mineração, vale destacar que não há acidente que acontece ao acaso, pois a estrutura dá indícios de problemas estruturais conhecidos por meio da instrumentação técnica e do monitoramento aplicados ao corpo da estrutura.

Segundo Brasiliano (2019), para haver governança tem que haver segregação de função, e o organograma que rege a hierarquia da tomada de decisões é crucial para identificar se a

gestão de risco da empresa tem autonomia ou não para aplicar medidas de segurança sempre que necessário. Se o setor de riscos estiver esquematizado abaixo de alguma área operacional e/ou administrativa, ela está subordinada à aprovação do setor superior para dar o aval dos seus relatórios conclusivos e corre o risco de realizar suas avaliações de forma não independente. Isto tira a liberdade de ação da equipe de gestão de riscos e gera miopia para a alta gestão, que pode não receber as informações cruciais para manter a segurança na empresa.

Figura 4 – Modelo das Três Linhas do Instituto de Auditores Internos (IIA).



Fonte: IIA (2020).

Segundo o Instituto de Auditores Internos (2013), o Modelo de Governança das Três Linhas de Defesa é umas das melhores práticas na área de gestão de riscos. A Declaração de Posicionamento explica que o controle da gerência é a primeira linha de defesa no gerenciamento de riscos, as diversas funções de controle de riscos e supervisão de conformidade estabelecidas pela gerência são a segunda linha e a avaliação independente é a terceira. Cada uma dessas três “linhas” desempenha um papel distinto dentro da estrutura mais ampla de governança da organização e, prejudicar a independência da avaliação do setor de riscos, fere essa prática.

A estrutura organizacional de uma empresa é essencial para que haja uma setorização das atividades e organização dos dados gerados. Uma sólida governança corporativa no gerenciamento de riscos é muito importante para a valorização e o progresso da organização.

Considerando que os riscos podem acarretar grandes perdas para uma empresa, entende-se que devem ser monitorados cuidadosamente. Diante da complexidade dos riscos hoje existentes, há necessidades de que as empresas possuam sofisticados sistemas de gestão de riscos (SANTOS, 2011).

Ligado a esta questão, o rompimento da barragem B1, em Brumadinho-MG, foi um desastre ambiental que chocou todo o mundo devido às muitas perdas de vidas e ao grande impacto socioambiental e econômico no estado de Minas Gerais. A empresa responsável pela barragem foi indiciada e teve alguns de seus colaboradores convocados para serem ouvidos pelas Comissões Parlamentar de Inquérito (CPI) do rompimento, realizadas pela Câmara dos Deputados, em 2019, Assembleia Legislativa de Minas Gerais, em 2019 e pelo Senado Federal, em 2019. Segundo o relatório final apresentado pela CPI da Câmara dos Deputados (2019), o Diretor-Executivo de Ferrosos da organização reconheceu que as anomalias apresentadas pela barragem B1, consideradas isoladamente pela empresa como “pequenas”, poderiam ser “grandes” quando analisadas em conjunto. Esse relato reforça que a falta de comunicação e centralização das informações referente aos riscos afetam a interconectividade entre eles e a ação para mitigar os impactos.

Outro depoimento da CPI da Câmara dos Deputados (2019) que explicitou a falha na transferência de informações ao longo da estrutura hierárquica foi o do responsável pela leitura dos dados do radar interferométrico instalado para observar a movimentação da estrutura da barragem B1. Ele relatou aos seus supervisores várias vezes meses antes ao rompimento que o radar estava indicando que havia deformações progressivas na estrutura. Como explicado nesse mesmo documento da CPI, a medição do radar funciona através da amplitude de reflexão do sinal da microonda, a sua redução significa alguma alteração e pode estar relacionado a três fatores: 1) crescimento excessivo de vegetação, porém vegetação rasteira do tipo gramíneas não constitui barreira para o transpasse da onda; 2) variação de umidade, pois a faixa de frequência da microonda que opera o radar terrestre não é refletida na água e essa ainda causa mudança nos parâmetros de coerência de sinal de retorno; e 3) variação na compactidade do material, pois materiais mais compactos, via de regra, são bons refletores, o contrário ocorrendo com materiais porosos; assim, se houve uma variação na amplitude de reflexão do sinal, existe possibilidade de variação de compactidade, ou seja, a estrutura estava se movimentando de alguma forma.

A partir do cruzamento das informações da investigação, é sabido que o operador do radar apontou para os chefes imediatos as deformações observadas. A engenheira geotécnica responsável pela barragem relatou que era uma interferência por conta do crescimento de grama no talude, fato que não interfere no transporte da onda, e o diretor de geotecnia respondeu por

e-mail o operador um dito popular “devagar com o andor, que o santo é de barro”, duvidando da precisão do radar, diminuindo a comunicação com o funcionário e, conseqüentemente, o repasse da informação adiante. Com isso, fica claro que houve falha no modelo hierárquico. A parte técnica estava apontando os problemas, porém o setor superior responsável pela gestão dos riscos não tratou e não repassou as informações com a devida urgência e importância requerida, o que favoreceu o rompimento da barragem.

Portanto, assim como analisado por Brasiliano (2019), a prática mais eficiente é que haja uma área de riscos corporativos que englobe todos os setores de riscos da empresa e que tenha autonomia de ação, com o intuito de dar ao conselho administrativo e ao Diretor-Presidente uma visão holística e estratégica dos riscos mais impactantes.

Toda empresa está sujeita a irregularidades, falhas e fraudes nos seus processos, independentemente do seu tamanho e tipo de atividade exercida. As auditorias internas e externas são recursos utilizados para averiguar de forma imparcial se as ações em determinado setor estão de acordo com a legislação, a política interna e com os parâmetros mínimos de segurança. Segundo Santos (2011), auditar significa comparar, revisar, analisar, verificar, ou outra ação que tenha por objetivo comprovar a adequação das informações geradas ou dos processos utilizados para a captação de dados necessários a essa geração de informação. É recomendado que as empresas possuam estruturas e comitês de auditoria interna independentes e com autonomia para o desenvolvimento de suas atividades, reportando-se diretamente a alta hierarquia da empresa.

Segundo Brasiliano (2019), é de suma importância este elo com os setores mais altos hierarquicamente, pois a auditoria interna não deve focar apenas nos controles financeiros, mas nos riscos inerentes críticos e se estes possuem controles suficientes para suportar os processos. A auditoria verifica se há riscos operacionais com conseqüências estratégicas, do tipo do rompimento da barragem e se o plano de manutenção e inspeção estão sendo seguidos.

Com relação às barragens de mineração, assim como explicado pela engenheira Maria Regina Moretti na CPI da Câmara dos Deputados, as auditorias são utilizadas para analisar se a estrutura está em condições seguras por meio da avaliação dos princípios condicionantes, tais como a revisão crítica dos dados existentes; realização de estudos e ensaios com o material do barramento e rejeito; simulação de rupturas por diferentes causas; análises do fator de segurança e alterações nos equipamentos de monitoramento da barragem; níveis de água na estrutura e conseqüências ambientais, caso haja rompimento ou algum vazamento.

Para que a auditoria consiga atingir seu objetivo de análise crítica dos dados e situações da organização e apresentar um relatório final com conclusões e observações que são

necessárias para manter a segurança da barragem, ela precisa ser feita de forma neutra e com o máximo de autonomia possível, como apresentado no artigo 1º da Resolução ANM nº 56/2021, “O responsável técnico pela emissão da DCO deverá ser distinto dos responsáveis técnicos pela elaboração do PAEBM e do estudo de ruptura hipotética vigentes da barragem.”. Caso haja alguma interferência por parte dos interessados, o processo perde parte de sua credibilidade e todo o conceito por trás da ação de auditar fica comprometido. Visando a gestão de riscos, as auditorias precisam ser bem feitas e as suas conclusões devem ter relevância na tomada de decisão da organização, pois elas analisam a situação como um todo, de forma imparcial, e apresentam os pontos que estão em desacordo e que precisam ser melhorados.

No depoimento à CPI da Câmara dos Deputados do rompimento da barragem B1, a engenheira consultora da empresa contratada pela Vale para fazer uma análise de risco monetizado, auditoria externa, declarou que após chegar a um valor de Fator de Segurança (FS) de 1,06, apresentado na Revisão Periódica de Segurança de Barragem da Mina Córrego Feijão – Barragem I (2018), e declarar que a estrutura não estava em condições de estabilidade houve uma sugestão da Vale para reavaliar os critérios utilizados e adotar outras metodologias de cálculo com o intuito de chegar a valores considerados aceitáveis. Ou seja, houve uma tentativa dos interessados de interferir nos estudos realizados por membros externos à empresa.

O valor de FS obtido pela consultora externa foi muito abaixo do recomendado internacionalmente (1,3), portanto a estrutura não estava segura e houve recomendações sobre as obras que eram necessárias de serem feitas para atingir o valor desejado de FS. Posteriormente, como resposta à negativa da consultora, outra entidade assumiu a responsabilidade pela análise de riscos monetizado, reavaliou a estrutura usando outra metodologia de cálculo e gerou a Declaração de Condição de Estabilidade da Estrutura (DCE) alegando que o mínimo de FS era 1,05 e o valor obtido com a nova metodologia de 1,09 estava aceitável, como apresentado no relatório da revisão periódica da empresa responsável, TUV SUD Bureau de Projetos (2018).

A falta de um valor mínimo de FS exigido pela NBR 13028 (ABNT, 2017) em 2018 para a condição não drenada também deu brechas para que essa análise menos conservadora fosse aceita. Embora a recomendação internacional de 1,3, a nível nacional, segundo a NBR 13028 (ABNT, 2017), em análises de estabilidade que utilizam parâmetros de resistência não drenada, os fatores de segurança mínimos devem ser estabelecidos pelo projetista responsável pela emissão da DCE, com base nas boas práticas de engenharia. Com isso, fica evidente que o laudo de segurança foi emitido para atender às demandas regulamentais da empresa interessada e não para atestar a real segurança da estrutura. Após esse desastre, foi promulgada a Resolução

ANM nº 13/2019 que estabelece o FS mínimo de 1,3 para a condição não drenada, independente da NBR 13028 (ABNT, 2017).

A falta de maturidade empresarial na gestão de riscos das empresas brasileiras também é determinante para que falhas e acidentes aconteçam com frequência. O Brasil tem uma cultura de não se preocupar tanto com os riscos, isso em todos os setores da economia. A simples possibilidade de que algo não planejado aconteça fica reduzido à condição de pequena probabilidade e não à de obrigatoriedade.

Segundo Brasiliano (2019), é preciso priorizar os assuntos críticos e importantes que envolvem a segurança das estruturas. Deve-se saber questionar uma Matriz de Riscos para ter a capacidade de analisar se está agindo de forma eficiente nos pontos críticos. A negação relacionada à possibilidade de acidentes persiste. Por esta razão, as empresas devem ser responsabilizadas de forma direta pelas suas ações e consequências.

Logo, a forma de lidar com as hipóteses não é tratada com a devida importância e são nessas omissões que os acidentes acontecem. Um exemplo dessa complacência dos riscos foi o ato da Vale em manter as dependências administrativas da própria empresa abaixo da barragem B1, sendo que a estrutura não apresentava condição de estabilidade plausível para isso, como foi indicado pela engenheira que participou da Análise de Riscos Monetizado. A ruptura poderia acontecer, não era uma hipótese totalmente descartada, porém mantiveram as instalações funcionando normalmente. Essa atitude, segundo o relatório da CPI da Câmara do Deputados, é caracterizada como dolo eventual, ou seja, a diretoria sabia dos riscos e decidiu assumi-los.

3. CONCLUSÃO

O plano de ação emergencial de uma barragem de mineração deve ser acionado em último caso, quando todas as medidas de segurança tomadas não resolveram o problema. A gestão de riscos atua antes dessa etapa, com o início do plano emergencial a única função do setor é coordenar e executar o plano pré-estabelecido para que tenha o menor impacto possível às pessoas e ao meio ambiente. Então, o fato de se ter um PAEBM bem definido e regulamentado junto aos órgãos fiscalizadores, não garante a segurança efetiva da organização, muito menos resume a eficiência da gestão de riscos empresarial.

É de suma importância que a organização garanta a imparcialidade das auditorias e siga as orientações dadas por elas para que a segurança dos setores e estruturas envolvidas seja garantida. Corromper o processo de auditoria e/ou pressionar os auditores para que determinado

objetivo seja atingido é uma prática que fere a efetiva gestão de riscos da empresa e traz em alguns momentos problemas graves.

É nítido que a auditoria externa na barragem B1 sofreu interferências na sua análise para que a DCE fosse emitida e a empresa ficasse legal perante a lei e aos acionistas. O processo deixou de ser neutro, passou a ser baseado nos resultados esperados e não nas condições reais da estrutura. Essa interferência fez com que os documentos necessários para que a barragem fosse regulamentada junto aos órgãos fiscalizadores fossem obtidos, porém causou um desastre socioambiental enorme.

A gestão de riscos é uma área de suma importância dentro de uma organização. Prezar pela sua autonomia e posição hierárquica estratégica é crucial para manter a segurança da empresa, evitando que o ponto mais crítico do problema seja atingido. Dar a devida atenção aos riscos existentes e priorizar o planejamento, a gestão e o controle das ações executadas é indispensável para garantir uma gestão de riscos efetiva. Portanto, os executivos que não souberem gerenciar os riscos das suas organizações estão fadados a vivenciá-los, podendo causar danos não só para a empresa, mas também para a sociedade e para o meio ambiente em que estão inseridos.

REFERÊNCIAS

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

ALMG – ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Comissão Parlamentar de Inquérito para, no prazo de 120 dias, apurar como fato determinado as causas do rompimento de barragem de rejeitos da mineradora Vale S.A., em 25 de janeiro de 2019, no Município de Brumadinho, 2019: Relatório final.** Belo Horizonte: ALMG, 2019. 350 p.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019.** Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado “a montante” ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências. Brasília, 08 ago. 2019b. BRASIL. Resolução n. 13 de 8 de agosto de 2019. Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado “a montante” ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências.

BRASILIANO, Antônio Celso Ribeiro. **Brumadinho: Miopia na gestão de risco por parte da administração.** INTERISK – Inteligência de Risco, 2019. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/4215/1/Brumadinho%20->

[%20Miopia%20na%20Gestao%20de%20Riscos%20por%20.pdf](#). Acesso em: 26 de maio de 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Relatório final da Comissão Parlamentar de Inquérito do rompimento da barragem de Brumadinho – MG: Relatório final**. Brasília, 2019. 2462 p.

CAMPOS, Nathalia Neves; POZNYAKOV, Karolina. **A Gestão de riscos em barragens de rejeitos no Brasil**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica, 2020.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira**. IBRAM, 2015.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira**. IBRAM, 2017.

IIA – THE INSTITUTE OF INTERNAL AUDITORS. **Declaração de Posicionamento do IIA: ECLARAÇÃO DE POSICIONAMENTO DO IIA: As Três Linhas de Defesa no Gerenciamento Eficaz de Riscos e Controles** TRÊS LINHAS DE DEFESA NO GERENCIAMENTO EFICAZ DE RISCOS E CONTROLES. IIA, 2013.

IIA – THE INSTITUTE OF INTERNAL AUDITORS. **Modelo das Três Linhas do IIA 2020: Uma atualização das Três Linhas de Defesa**. IIA, 2020.

SANTOS, Susan Martins; MAJEROWICZ, Sergio. **A Importância da Auditoria Interna na Gestão de Risco**. Rio de Janeiro: Universidade Candido Mendes, 2011.

SENADO FEDERAL. **Relatório da Comissão Parlamentar de Inquérito do Rompimento da Barragem de Brumadinho – MG e Outras Barragens**. Brasília: Senado Federal, 2019. 400 p.

TÜV SÜD BUREAU DE PROJETOS. **Auditoria Técnica de Segurança da Barragem: Mina Córrego do Feijão – Barragem I – Laudo Técnico**. Brumadinho: TÜV SÜD, 2018. 128 p.

TÜV SÜD BUREAU DE PROJETOS. **Revisão Periódica de Segurança de Barragem: Mina Córrego do Feijão – Barragem I – Relatório Técnico**. Brumadinho: TÜV SÜD, 2018. 265 p.

ARTIGO 2 – OS DESAFIOS PARA A EFETIVA APLICAÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO EMERGENCIAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

A incidência de rompimentos de barragens de mineração no Brasil tem deixado evidente a necessidade de maior regulamentação, fiscalização e controle dessas estruturas. Dentre as medidas para proteção das barragens está o Plano de Ação de Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM). De acordo com a Portaria nº 70.389 de Maio de 2017 da Agência Nacional de Mineração (ANM), o PAEBM é um documento técnico e de fácil entendimento elaborado pelo empreendedor, no qual estão identificadas as situações de emergência em potencial que podem colocar a integridade da barragem em risco, estabelecidas as ações a serem executadas nesses casos e definidos os agentes a serem notificados, que são os representantes da barragem, da população a jusante e da defesa civil, com o objetivo de minimizar as perdas de vidas.

A Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020) tornou obrigatório a elaboração do Plano de Ação Emergencial (PAE) para todas as barragens destinadas à acumulação ou à disposição de rejeitos de mineração, independentemente da classificação quanto ao dano potencial associado e ao risco, como era feito antes da sua promulgação e deixava algumas barragens de mineração sem a obrigatoriedade desse documento tão importante para a segurança. Esse planejamento é feito com base no mapeamento da mancha de inundação levantada pelo estudo de *Dam Break*, que leva em consideração o cenário mais crítico de ruptura da barragem, com o intuito minimizar o risco de perdas de vidas humanas e auxiliar a ação da defesa civil.

Além de um PAEBM bem feito é indispensável que ele seja aplicável e suas ações de segurança sejam realmente efetivas, para que não fique apenas na esfera teórica e tenha funcionalidade caso algum sinistro ocorra. Os rompimentos das barragens de Mariana-MG, em 2015, e Brumadinho-MG, em 2019, são exemplos da ineficiência do PAEBM, pois ambas entraram em Nível de Emergência I, II e III e não foi acionado o PAEBM desde o primeiro Nível. Segundo Brasiliano (2019), o plano de emergência que a Vale possuía, no caso da Mina de Feijão I em Brumadinho-MG, não era de emergência e sim um “atestado de óbito”, pois não havia qualquer tipo de ação de mitigação a se fazer com as pessoas em caso de materialização do rompimento total da barragem. A onda de rejeitos atingiria o refeitório e área administrativa em um minuto. Com esse tempo, ficaria impossível retirar as pessoas do refeitório e área administrativa. A única ação seria mudar o local dessas instalações para outro lugar seguro,

ação que não aconteceu e o rompimento resultou na morte de mais de 270 pessoas, sendo funcionários e moradores a jusante, e grande degradação ambiental e social.

Dentro desse contexto, este artigo tem como objetivo analisar os desafios para a efetiva aplicação dos PAEBMs e quais os impactos da ineficiência desse plano para a sociedade.

2. DESENVOLVIMENTO

A legislação brasileira sobre a segurança de barragens de mineração foi se formando de acordo com as adversidades encontradas nas estruturas, atuando em resposta aos acidentes vivenciados. O rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG foi o marco que evidenciou a necessidade de revisão das leis sobre barragens de mineração no estado de Minas Gerais, que é o maior detentor desse tipo de barragem do país (Gráfico 1).

A maior tragédia ambiental da história do Brasil começou a ser desenhada muito antes do dia 05 de novembro de 2015. Sua gênese ocorreu por força de uma legislação vaga e ultrapassada, uma fiscalização deficitária e do absoluto descaso da Samarco com o meio ambiente e vidas humanas (LOPES, 2016). A Figura 5 mostra a linha do tempo da legislação de segurança de barragens de rejeito no Brasil.

Conforme a publicação intitulada “Vale de Lama”, elaborada por Justiça Global (2016), dentre os fatores que contribuíram para a ocorrência do desastre ambiental em Mariana, tem-se: 1) não implementação, devido à crise econômica, do plano de monitoramento 24 horas das barragens e do sistema a ser utilizado em situações de emergência, ambos encomendados pela Samarco em 2009. Aliado a isso, o plano de contingência da empresa foi elaborado em desacordo com a legislação ambiental e, ainda assim, aprovado pelas autoridades de fiscalização; 2) o Plano de Ações Emergenciais (PAE) deveria incluir ações de prevenção (por exemplo, simulações com as comunidades em caso de emergência). Porém, tais ações não foram realizadas. Aliado a isso, o plano só incluiu o distrito de Bento Rodrigues (atingido pelos rejeitos da barragem) e excluiu outros distritos vizinhos que foram impactados pelo rompimento da barragem; 3) há indício de irregularidades no processo de revalidação da Licença de Operação (LO) da barragem do Fundão que ocorreu em 2013. Um estudo encomendado pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais afirma que havia um risco de rompimento da barragem do Fundão. Mesmo assim, a LO foi concedida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) de Minas Gerais. Tal situação permite concluir que a empresa e o estado de Minas Gerais tinham ciência da possibilidade de ruptura das barragens.

Figura 5 – Linha do tempo da legislação de segurança de barragens de rejeito no Brasil.



Fonte: Leão (2021).

Nesse contexto, exigiu-se uma revisão criteriosa das legislações de Minas Gerais, da forma de atuação e fiscalização dos órgãos públicos, e uma maior interação e transparência com as populações afetadas e a sociedade em geral, visto que o órgão ambiental Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA) evidenciou e relatou no Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, “impactos agudos de contexto regional, entendidos como a destruição direta de ecossistemas, prejuízos à fauna, flora e socioeconômicos, que afetaram o equilíbrio da Bacia Hidrográfica do rio Doce, com desestruturação da resiliência do sistema” (BRASIL, 2015, p. 2).

A ANM define por meio da Portaria nº 70.389/2017 (ANM, 2017) os requisitos mínimos para o PAEBM, e entre eles está a identificação e contatos do empreendedor, do coordenador do plano e das entidades constantes no fluxograma de notificação das emergências. São determinados previamente os responsáveis por dar início ao plano em casos emergenciais, logo, os envolvidos têm como atribuições saberem dos procedimentos do PAEBM para agir em conformidade.

O evento de ruptura da barragem B1 de Brumadinho-MG em 2019 gerou Comissões Parlamentar de Inquérito (CPI) para investigação dos fatos. Em depoimento à CPI da Câmara dos Deputados, o coordenador do PAEBM afirmou ser o responsável pelo acionamento do plano, porém não estava na cidade no dia do acidente e nem foi informado sobre as instabilidades que a barragem estava apresentando há meses, como citado no trecho retirado do documento final da CPI: *“Eu não tenho conhecimento de problemas, eu não tive conhecimento de nenhum problema naquela estrutura. Não foi me repassado nada do que foi discutido no painel.”* (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019). Este painel a qual ele se refere é a discussão que havia sobre a estabilidade da barragem. Essa falta de repasse das informações e alerta das condições emergenciais da estrutura para o coordenador do PAEBM gerou um ponto cego na gestão de riscos que interferiu no acionamento plano de emergência e tomadas de decisão da equipe envolvida no plano.

Outro ponto observado nesse rompimento foi a burocracia para acionar o plano. O coordenador do PAEBM disse a seguinte afirmação à CPI: *“Para o sistema de alerta ser “estartado”, tem que ser identificada uma anomalia pela equipe operacional da geotecnia. Identificando essa anomalia, o coordenador, em conjunto com essa equipe técnica, faz a classificação da anomalia. Caso ela atinja 10 pontos na Matriz de Classificação da Portaria nº 70.389, aí, sim, é “estartada” a condição de emergência no nível 1. E isso não ocorreu, eu não recebi nenhum comunicado de nenhuma emergência, de nenhuma anomalia naquela*

estrutura.” (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019). Ou seja, a informação de emergência deveria passar por uma sequência de análises até ser efetivamente colocada em prática. Em casos de rompimento imediato, quando ocorre liquefação por exemplo, não há tempo de todo esse processo acontecer, é necessária uma logística mais curta e efetiva que preze avisar as pessoas o mais rápido possível sobre problema. Em situações menos urgentes, essa metodologia pode até funcionar, porém é necessário considerar a hipótese de ruptura iminente e ter medidas de segurança que são acionadas de forma automática.

A Portaria nº 70.389/2017 (ANM, 2017) estabelece a instalação, nas comunidades inseridas na zona de autossalvamento (ZAS), sistema de alarme, contemplando sirenes e outros mecanismos de alerta adequados na ZAS. A barragem B1 tinha o sistema de sirenes, porém não foi acionada durante o rompimento, deixando a população a jusante à mercê da lama de rejeitos. O acionamento das sirenes era de forma manual e de responsabilidade do coordenador do PAEBM, que não tinha conhecimento dos fatos. Além disso, não havia uma automatização para caso o rompimento da barragem fosse imediato e as sirenes tivessem como ser acionadas automaticamente, como apresentado no depoimento do coordenador à CPI da Câmara dos Deputados: *“Eu teria que dar um input no Centro de Controle, no CECON, por meio de telefone ou de um rádio de comunicação de emergência que eu portava sempre. Tinha esses dois meios de acionar. Como eu disse, eu não fui comunicado de nenhuma anomalia para acionar o sistema”* (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019). Essa falha custou muitas vidas humanas que foram pegas de surpresa pela lama de rejeitos. A legislação obriga instalar dispositivos de segurança, mas cabe à empresa averiguar se o sistema de acionamento deles é eficiente ou não e trabalhar para que atuem realmente em prol da segurança. Embora as estruturas das barragens tenham muitos dispositivos de monitoramento, a má prática de gestão de riscos muitas vezes impede que a segurança seja garantida, tornando os dispositivos ineficazes.

Segundo Lopes (2016), no caso do rompimento da barragem de Mariana/MG os especialistas são uníssomos em afirmar que a utilização de técnicas mais modernas de filtragem dos resíduos, a manutenção correta das barragens, a utilização de instrumentos de monitoramento eletrônico, a implementação de sistemas de alerta, a adoção de planos emergenciais e, sobretudo, uma fiscalização séria e eficiente pelos órgãos competentes são medidas que, se estivessem em pleno funcionamento, certamente teriam evitado o desastre ou minimizariam seus impactos socioambientais.

O estudo de inundação, que é obrigatório e é norteador das ações do PAEBM, apresenta uma estimativa de tempo do avanço da onda de rejeito e por onde ela vai passar. Na barragem B1 esse estudo foi realizado pela empresa Walm Engenharia (2018), e nele mostra que as áreas

administrativas e o refeitório da Mina do Córrego do Feijão seriam atingidos entre um e dois minutos após o rompimento da barragem, sendo o primeiro item citado nas áreas que sofreriam impactos com a lama, estando a 2 km a jusante da barragem, como visto no documento do PAEBM. Esse curto período de tempo não era suficiente para que toda a área envolvida fosse evacuada, como o próprio representante da empresa Walm afirmou em seu depoimento à Polícia Civil de Minas Gerais. Essa informação estava apenas compondo a obrigatoriedade do plano de emergência, não era aplicável na prática. Vale destacar que é responsabilidade da empresa retirar as zonas de trabalho a jusante da barragem. É nítido que esse documento tão importante que é o PAEBM tem sido feito para deixar as empresas legais perante aos órgãos públicos e assim manterem as suas atividades, mas o verdadeiro objetivo (segurança) dele não está sendo analisado e atingido.

A mancha de inundação oficial apresentada no PAEBM de B1 foi maior do que a mancha apresentada pelo estudo de Leão (2021), ou seja, a empresa foi mais conservadora na análise, na qual utilizou situações agravantes para majoração da mancha original como o estudo feito com base em análise de fluido newtoniano, e consideração do rompimento das duas barragens e da pilha de estéril da Mina Córrego do Feijão ao mesmo tempo, em cenário de dia chuvoso (*rainy day*). Mesmo assim o acidente teve um grande número de vítimas fatais e altos impactos ambientais. O problema não está na mancha de inundação em si, mas sim nas tomadas de decisões para minimizar os impactos gerados por ela e na gestão e aplicação efetiva do PAEBM.

A Portaria nº 70.389/2017 (ANM, 2017) determina que o empreendedor deve promover treinamentos internos, no máximo a cada seis meses, e manter os respectivos registros das atividades. Nesses treinamentos todos os membros envolvidos devem ter conhecimento das práticas de salvamento e tentar ao máximo naturalizar a reação imediata que devem ter em situações emergenciais.

Sabe-se que o sistema de avaliação de um PAEBM, por meio dos treinamentos e exercícios simulados, é fundamental para que todos os envolvidos em uma emergência tenham familiaridade com as ações que devem seguir e que ajustes referentes as rotas de fuga e tempo de contingenciamento sejam feitos (ANA, 2016; PAIVA et al., 2019).

Schons (2016) constatou em um estudo de percepção que a população ainda apresenta certa desconfiança nos procedimentos de preparação atualmente adotados pelas Defesas Cíveis e outros órgãos públicos. Isso demonstra que devem ser adotados maiores investimentos na sensibilização das populações, principalmente voltadas para uma educação de prevenção ao risco e desastres.

Em depoimento à CPI da Câmara dos Deputados (2019), um funcionário sobrevivente da Vale relatou que quando ele percebeu a que a barragem B1 tinha rompido ele e outros funcionários começaram a correr, mas correram para o lado errado do que foi feito no treinamento. Esse mesmo funcionário disse o seguinte trecho em seu depoimento: *“Na minha cabeça, era segura. Portanto, no dia em que eu fiz o treinamento, que foi soada a sirene, e a gente teve o treinamento, se eu não me engano, foi em outubro, a gente fez o treinamento, a gente foi a pé. Eu até reclamei: "Ah, mas tinha que ir de carro. A pé, não tem jeito, não". Então, assim, e no dia não houve o acionamento da sirene. No dia, eu estava esperando, porque... Por isso eu falo que eu fiquei em dúvida se era mesmo a barragem, porque eu estava esperando o barulho, o acionar da sirene, por causa do treinamento. E a questão de correr para a parte que era segura, que a gente foi treinado, dos que correram para essa parte muitos morreram. Foram poucos que sobreviveram, que era a parte do antigo CEAN, que ali é onde realmente não foi afetado. E eu corri para baixo, para o lado errado, para o lado errado meu, mas o lado certo de Deus, e assim eu consegui um êxito porque Deus me guiou ali. Então, o que eu tenho a contribuir aqui é que eu corri, mas eu não sabia de quê. E eu me sentia seguro em relação à barragem. Mas também eu não imaginava, não imaginava nunca. E mesmo eu vendo ali sirenes, treinamento, eu não levei muito a sério aquilo. E eu agradeço a Deus por estar vivo, porque se não fosse milagre, eu não estaria aqui falando com vocês”* (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019).

Com base nesse relato, fica claro que o PAEBM da barragem B1 não era executável e eficiente. Iniciando pela ausência do acionamento da sirene, que era o aviso principal que os funcionários precisavam para começar a fazer o que foram treinados. Seguida da reclamação do funcionário durante o treinamento de que não daria para chegar ao ponto de salvamento a pé, que seria necessário ir de carro, ou seja, não daria tempo de todas as pessoas correrem para o local seguro. Como ele também relatou, muitos dos que correram para o sentido do treinamento morreram. Logo, quando foi necessário a aplicação do plano, ele falhou. Não cumpriu com o seu objetivo e resultou, segundo Koppe (2020), no segundo maior desastre industrial do século e o maior acidente de trabalho do Brasil.

Segundo a pesquisa realizada por Paiva (2020), os agentes entrevistados das defesas civis propõem as seguintes melhorias para uma maior eficácia dos exercícios e aceitação/participação das populações: “ 1) Melhoria na cultura, entender que o simulado é para o próprio bem; 2) Envolvimento maior da comunidade no planejamento dos simulados; 3) Melhor divulgação, campanhas e interatividade com a população; 4) Maior engajamento; 5) Maior participação da comunidade; 6) Deveriam ser mais próximos da situação real; 7) Os

simulados deveriam ser rotina; 8) Atingir 100% de comparecimento; 9) Serem realizados mais de uma vez; 10) Simulados mais constantes e atuação mais transparente das empresas; 11) Adequação dos dias e horários solicitados pela população; 12) Ter um simulado de mesa antes do de campo para melhor informar a população; 13) Maior interação entre as comunidades e empresas.”.

A unidade governamental responsável pelas barragens de mineração é a ANM, ela que analisa e aprova os PAEBMs, fiscaliza, monitora e dá suporte para as barragens. Como é uma instituição pública, os recursos alocados dependem de orçamento fiscal da União e dos Estado. Esse orçamento limitado implica na fiscalização presencial de todas as barragens registradas e na formação de uma equipe com profissionais capacitados o suficiente para realizar as atividades do setor. Segundo o Relatório de Segurança de Barragem de 2019 (ANM, 2020), embora o empreendedor seja o responsável legal pela segurança da barragem, é importante que os órgãos e entidades fiscalizadoras realizem campanhas de fiscalização, periodicamente, de modo a cobrir o universo de barragens e a verificar o estado geral das estruturas, bem como o atendimento dos normativos e a implementação pelos empreendedores dos requisitos definidos na Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB), como inspeções regulares, planos de segurança, planos de ação de emergência, e revisões periódicas de segurança de barragens. Para o acompanhamento de todas as barragens cadastradas, a ANM dispõe de um Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), que cabe à equipe do empreendedor o manter atualizado com informações cruciais sobre a estrutura da barragem.

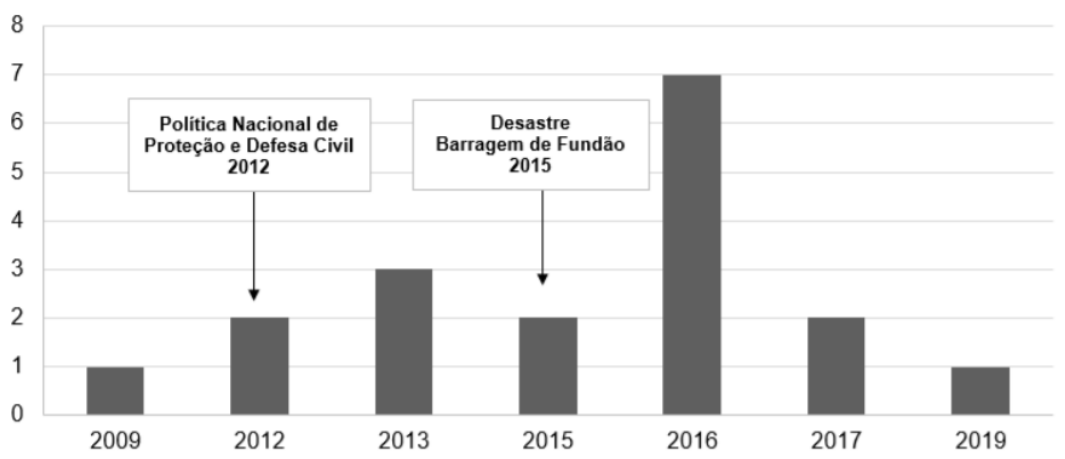
As vistorias da ANM são realizadas priorizando as barragens que têm suas estruturas mais vulneráveis na classificação feita pelo SIGBM. Caso haja alguma alteração nos equipamentos de monitoramento da barragem e o repasse da informação para o sistema seja feito, o órgão fiscalizador tem conhecimento do problema e consegue ajudar nas ações emergenciais. Sem essa atualização constante o trabalho da ANM é muito prejudicado e pode resultar em tragédias como a de Brumadinho-MG.

Segundo a CPI da Câmara dos Deputados (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019), através dos depoimentos prestados, evidenciou-se que os responsáveis pela barragem B1 da Mina Córrego do Feijão deixaram de relatar no SIGBM ocorrências de inexatidão de medições e de resultados inesperados apontados pela instrumentação da barragem. Também deixaram de registrar os desvios apontados pelo radar que a monitorava. Essa omissão impediu a ANM de saber dos problemas vivenciados na B1 e ajudar na tomada de decisões para manter a estrutura segura.

Vale ressaltar que, embora haja pessoal insuficiente por parte da ANM para fiscalização adequada das barragens, esta não pode funcionar com base no arquivamento dos documentos apresentados pelas empresas ou como uma gerenciadora de sistema de dados apenas. O conteúdo apresentado no PAEBM deve ser analisado e estudado cuidadosamente pela ANM, e não apenas conferir se todos os itens obrigatórios foram cumpridos. É necessária uma visão crítica e funcional do documento para evitar que situações como a da barragem B1, em que havia setores administrativos vulneráveis abaixo da estrutura, sejam evitadas. Os empreendedores também devem se atentar à aplicabilidade dos seus PAEBMs para garantir a segurança das suas estruturas, empresas e da sociedade em que estão inseridos.

Segundo Pereira et al. (2021), enquanto o PAEBM deve descrever as responsabilidades do empreendedor, o Plano de Contingência, conforme preconiza a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, deve contemplar todos os riscos do município, incluindo as barragens e, ainda, conter todas as ações necessárias para proteger e salvaguardar a população suscetível ao risco, o que inclui alerta de alarme para evacuação, restabelecimento dos serviços essenciais e assistência às vítimas e afetados. Um documento deve ser complementar ao outro, por isso a importância da comunicação e integração entre o empreendedor e as estruturas locais de proteção e Defesa Civil.

Figura 6 - Ano em que a Defesa Civil passou a exigir das empresas cópias do Plano de Ação Emergencial de Barragens de Mineração (PAEBM).



Fonte: Paiva (2020).

Segundo Paiva (2020), a Figura 6 mostra que o aumento do número de cobranças do PAEBM pela Defesa Civil no ano de 2013 com relação ao ano de 2012 pode ser justificado pelo início da Política Nacional de Defesa e Proteção Civil, que trata sobre todas as atribuições da Defesa Civil com relação aos riscos que uma determinada localidade está susceptível. O segundo aumento, do ano de 2015 para 2016, demonstra claramente que após o desastre de

Fundão em Mariana-MG foi dada maior atenção a importância do PAE na gestão de riscos e emergências. Já no ano de 2019, houve uma redução significativa quando comparado com 2016, ano que ocorreu o rompimento da barragem B1 em Brumadinho-MG.

Portanto, a função de resguardar a população local não é de exclusividade do empreendedor, por meio do PAEBM. Os órgãos públicos também têm suas responsabilidades, uma vez que a construção e o funcionamento da barragem foram autorizados..

3. CONCLUSÃO

Após os desastres de Mariana-MG (2015) e Brumadinho-MG (2019), as legislações brasileiras avançaram muito no que diz respeito à regulamentação da segurança das barragens de rejeitos, e trouxeram para a discussão a importância dos órgãos de proteção e defesa civil, bem como demais profissionais especializados na gestão de crises e emergências. Por conseguinte, trouxeram também o PAEBM para o centro das atenções.

Na teoria, os itens obrigatórios que o empreendedor deve cumprir para elaborar e ter a aprovação do PAEBM são muito pertinentes e favoráveis à segurança. Porém, essas medidas não podem ficar reduzidas à condição de se adequarem às normas, mas também terem funcionalidade prática efetiva caso alguma situação emergencial aconteça.

A má gestão dos riscos nas estruturas, o posicionamento negacionista dos gestores em relação aos riscos, a falta da devida importância às ações de treinamento do PAEBM e aos feedbacks recebidos dos envolvidos sobre a funcionabilidade do plano, instrumentações automatizadas e bem calibradas, a falta de recursos e funcionários da ANM para fazer vistorias mais frequentes e em mais estruturas, a autonomia de ação dos responsáveis pela segurança da barragem são os fatores cruciais que afetam a eficiência do PAEBM.

Para resolver essa problemática a ANM precisa receber mais recursos financeiros para conseguir estruturar melhor a sua equipe profissional e dar um maior suporte às barragens por meio da análise eficiente dos PAEBMs e das vistorias no local. Cabe aos órgãos públicos dar a devida importância para esse setor, já que desastres envolvendo barragens de mineração causam muitas perdas de vidas e enormes danos socioeconômicos e ambientais.

Focar nos simulados do PAEBM é crucial para a sua efetividade nos momentos de emergências. O pensar e agir das populações susceptíveis são o ponto chave para o sucesso das medidas e ações de contingenciamento e proteção de vidas humanas em um eventual desastre. Esse treinamento deve fazer com que sejam naturalizadas as ações de segurança nas ações das

pessoas e colher o feedback dos participantes é de suma importância para que o plano seja executável e acessível a todos.

Portanto, o empreendedor e os órgãos públicos têm a obrigação de cumprir a legislação com a realização correta do PAEBM e dos simulados, visando sempre a segurança das pessoas, a minimização dos riscos e a efetividade do plano emergencial, para que não ocorram novos casos de desastres como os ocorridos em Minas Gerais. E, caso ocorra, haja um plano funcional para evitar perdas de vidas humanas e grandes danos à população vulnerável e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia de Orientação e Formulários do Emergência – PAE. Manual do sobre Segurança Empreendedor de Barragens. v. IV.** Brasília, 2016. 132 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/volume-iv-guia-de-orientacao-eformularios-dos-planos-de-acao-de-emergencia-2013-pae>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de Segurança em Barragens 2019.** Brasília: ANA, 2020.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017.**

BRASIL. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** In: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Minas Gerais, 2015. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf. Acesso em: 13 de novembro de 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.066 de 30 de setembro de 2020.** Altera a Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Brasília, DF.

BRASILIANO, Antônio Celso Ribeiro. Brumadinho: Miopia na gestão de risco por parte da administração, 2019.

BRASILIANO, Antônio Celso Ribeiro. **Brumadinho: Miopia na gestão de risco por parte da administração.** INTERISK – Inteligência de Risco, 2019. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/4215/1/Brumadinho%20-%20Miopia%20na%20Gestao%20de%20Riscos%20por%20.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Relatório final da Comissão Parlamentar de Inquérito do rompimento da barragem de Brumadinho, 2019.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Relatório final da Comissão Parlamentar de Inquérito do rompimento da barragem de Brumadinho – MG: Relatório final.** Brasília, 2019. 2462 p.

DIAS, Adriano de Oliveira et al. **Mariana, o maior desastre ambiental do Brasil: uma análise do conflito socioambiental.** In: LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo (Org.) Planejamento e gestão territorial: a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos. Criciúma, SC: EDIUNESC, 2018. Cap. 20. DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/pgt20>.

JUSTIÇA GLOBAL. **Vale de Lama: Relatório de inspeção em Mariana após o rompimento da barragem de rejeitos do Fundão.** Justiça Global, 2016. 44 p.

KOPPE, Jair Carlos. Lessons Learned from the Two Major Tailings Dam Accidents in Brazil. **Mine Water and the Environment**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 166-173, 28 set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10230-020-00722-6>.

LEÃO, Luisa de Moura. **Retroanálise da ruptura por liquefação de barragens alteadas a montante.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2021.

LOPES, Luciano Motta Nunes. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2016.

PAIVA, Camilla Adriane De. **Contribuições dos estudos de dam break às ações da Defesa Civil.** Universidade Federal de Ouro Preto, 2020.

PAIVA, Camilla Adriane. **Análise dos Planos de Ação Emergencial de Barragens de Alto Dano Potencial do Município de Ouro Preto/MG, tendo como referência as legislações vigentes.** Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 124 p.

PAIVA, Camilla Adriane; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; PRADO FILHO, José Francisco. **Limitações e Potencialidades dos Estudos de dam break e exercícios de preparação de Planos de Ação Emergencial de Barragens de Mineração de municípios do Quadrilátero Ferrífero.** In: XXXII SBGB Seminário Brasileiro de Grandes Barragens e II SISB Simpósio Internacional de Segurança de Barragens 2019, Salvador, 2019. P. 1–12.

PEREIRA, Flávio Godinho; FIRME, Paulo Henrique Camargos; COTTA, João Paulo Vieira. **Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões.** Territorium 28 (I), 2021, 53-66 p. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/issue/view/355/186>. Acesso em: 12 de agosto de 2021.

SCHONS, Marize. **Políticas Públicas Georreferenciadas e a “Cultura Prevencionista”:** **uma etnografia do Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED-RS).** 2016. 110 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 110 p.

WALM ENGENHARIA. **Plano de Ação de Emergência Para Barragens de Mineração – PAEBM: Complexo Paraopeba – Mina do Córrego do Feijão – Barragem I.** Brumadinho: WALM, 2018. 73 p.

ARTIGO 3 – ANÁLISE DO POTENCIAL DE RISCO DE ROMPIMENTO EM BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO EMPREGANDO A METODOLOGIA *RISK-BASED PROFILING SYSTEM* (RBPS)

1. INTRODUÇÃO

A análise de risco é uma prática muito importante para uma boa gestão da segurança nos vários setores das empresas. No que diz respeito às barragens de mineração, essa ferramenta é fundamental para manter as estruturas seguras e em condições de funcionamento, preservando o meio ambiente e a sociedade em que estão inseridas.

No Brasil, a análise de risco oficial para barragens de mineração foi estabelecida pelo Conselho Nacional de Recurso Hídricos (CNRH) por meio da Resolução nº 143/2012 (CNRH, 2012), que estabelece os critérios gerais de classificação de barragens quanto ao risco e dano potencial. Esses critérios também são utilizados atualmente pela Agência Nacional de Mineração (ANM) em barragens que estão inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (Art. 7º da Lei nº 12.334/2010) (BRASIL, 2010). Esta resolução classifica a barragem quanto a Categoria de Risco (CRI), que está relacionada com características técnicas, estado de conservação, plano de segurança, entre outros aspectos da barragem que possam influenciar na possibilidade da ocorrência de acidente. Além disso, classifica-a quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), isto é, o dano que poderá ser causado à jusante pelo mau funcionamento da barragem; tais como existência de população à jusante, impactos ambiental e socioeconômico.

Segundo Valerius (2014), os critérios estabelecidos pelo CNRH têm cumprido um papel fundamental na caracterização das barragens de mineração, porém não conseguem distinguir e detalhar algumas informações importantes para o gerenciamento de risco, como a caracterização da área à jusante e a classificação de barragens com níveis de risco altamente díspares, dentro de uma mesma classe.

Durante a análise de risco de barragens feitos por Valerius (2014), ele utilizou uma análise qualitativa denominada *Risk-Based Profiling System* (RBPS - Gestão de Segurança de Processos Baseada em Riscos), criada pelo *United States Bureau of Reclamation* (USBR), Agência Federal Americana responsável pela gestão do abastecimento de água em 17 estados americanos. Essa metodologia foi adaptada às condições das barragens de rejeito e aplicada de forma qualitativa na identificação e classificação do risco.

Na análise RBPS, o risco é estimado combinando a probabilidade de ocorrência de 4 cenários de solitação (estático, hidrológico, sísmico e de operação e manutenção) e, com a ocorrência do cenário, a probabilidade de incidir alguma falha na barragem. Após determinar a possibilidade de ocorrer algum desses eventos, é possível mensurar a magnitude das consequências (VALERIUS, 2014).

Segundo Nogueira (2021), a abordagem utilizada pelo RBPS considera que nem todos os riscos envolvidos numa atividade são iguais e que, portanto, a atenção dedicada a cada cenário pode ser otimizada. Preconiza-se, então, agir de acordo com os cenários mais prováveis ou de maior risco em detrimento de cenários que dificilmente vão ocorrer ou que, se ocorrerem, não representam ameaças grandes ao processo.

Dentro desse contexto, este artigo tem como objetivo aplicar a metodologia de análise RBPS a duas barragens de rejeitos da cidade de Mariana-MG, analisar, por meio de outra metodologia, os danos socioambientais que potencialmente podem causar em caso de ruptura e também demonstrar a efetividade da aplicação desse tipo análise de riscos nas barragens de rejeito e torná-lo mais habitual.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia RBPS utilizada nesse trabalho foi baseada em Conceição (2018), que desenvolveu um guia de análise de risco para barragens de mineração com o intuito de facilitar a utilização do método e torná-lo mais comum na rotina do gerenciamento de riscos das barragens.

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em duas barragens de mineração localizadas na cidade de Mariana no estado de Minas Gerais, são elas: Xingu e Campo Grande. Ambas fazem parte da Mina Alegria (FIGURA 7), estão desativadas e são de responsabilidade da empresa Vale.

A escolha dessas barragens teve como critérios: (1) Categoria de Risco (CRI) alta; (2) Dano Potencial Associado (DPA) alto; (3) Nível de emergência mais crítico; (4) Estar localizada na cidade de Mariana-MG; (5) Estar desativada e (6) Barragem de contenção de rejeitos. Os dados foram filtrados no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM).

Essas condições foram impostas para que fosse possível uma análise comparativa dos resultados obtidos com as consequências do rompimento das barragens de Fundão em Mariana-MG, em 2015, e B1 em Brumadinho-MG, em 2019, já que ambas apresentavam DPA alto, Fundão também era em Mariana-MG e B1 estava desativada.

Além disso, analisado as barragens que estavam em situação mais crítica de forma geral, independentemente se estavam em operação ou desativadas.

Figura 7 – Localização das barragens Xingu e Campo Grande.



Fonte: Google Maps (2021).

Figura 8 – Aplicação dos critérios para escolha das barragens.

Empreendedor:

Barragem(ns):

UF:

Município:

Minério Principal:

Possui Back Up Dam: Todos Sim Não

Categoria de Risco (CRI): N/A Alto Médio Baixo

Dano Potencial Associado (DPA): N/A Alto Médio Baixo

Classe: A B C D E

Necessita de PAEBM: Todos Sim Não

Inserida na PNSB: Todos Sim Não

Declaração de Condição de Estabilidade: Todos Atestado Não Atestado Não Enviado

Nível de Emergência: Sem emergência Nível 1 Nível 2 Nível 3

| ID Barragem | Barragem de Mineração | Empreendedor | Município | UF | Categoria de Risco - CRI | Dano Potencial Associado - DPA | Classe | Inserido na PNSB? | Necessita de PAEBM? | Nível de Emergência | Status DCE Atual | Dados Cadastrais |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|-----------|----|--------------------------|--------------------------------|--------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|
| 9534 | Xingu | VALE S.A. - 33.592.510/0001-54 | MARIANA | MG | Alta | Alto | A | Sim | Sim | Nível 2 | 2ª Campanha 2021 - Não Atestado | |
| 8210 | Dicão Leste | VALE S.A. - 33.592.510/0001-54 | MARIANA | MG | Alta | Alto | A | Sim | Sim | Nível 1 | 2ª Campanha 2021 - Não Atestado | |
| 8209 | Campo Grande | VALE S.A. - 33.592.510/0001-54 | MARIANA | MG | Alta | Alto | A | Sim | Sim | Nível 1 | 2ª Campanha 2021 - Não Atestado | |

Fonte: SIGBM (10/2021).

A barragem Dicão Leste foi descartada por ser tratar de contenção de sedimentos e não rejeitos.

Quadro 5 – Principais características técnicas das barragens analisadas.

| Barragem | Situação Operacional | Comprimento atual da Crista (m) | Altura máxima atual (m) | Volume atual do reservatório (m³) | Tipo de seção | Vazão de Projeto |
|-----------------|-----------------------------|--|--------------------------------|---|---------------------------|--|
| Campo Grande | Desativada | 1544 | 99,3 | 22978889 | Rejeito e Terra homogênea | Decamilenar |
| Xingu | Desativada | 838 | 70 | 6170000 | Rejeito | TR inferior a 500 anos ou desconhecida |

Fonte: SIGBM (10/2021).

2.2. Dados utilizados

Os dados das barragens utilizados para a análise de risco foram retirados dos seus respectivos PAEBMs, obtidos no site da empresa VALE. Segundo Conceição (2018), os cenários resultantes dependem fundamentalmente da quantidade de hipóteses estabelecidas e da qualidade dos dados utilizados. Para as duas barragens analisadas, o modo de falha utilizado para fazer a modelagem do cenário de ruptura foi por liquefação, como apresentado em seus PAEBMs.

As etapas envolvidas na análise de risco através da aplicação da metodologia RBPS foram adotadas conforme adaptação ao apresentado por Conceição (2018): (1) obtenção dos PAEBMs e avaliação dos dados de interesse; (2) qualificação dos fatores de resposta e obtenção dos pesos de cada característica associada para posterior soma dos pesos e obtenção do índice de falha; (3) cálculo do potencial de perdas de vidas humanas; (4) cálculo do índice de risco; e (5) estimativa de danos socioambientais, pela metodologia de Valerius (2014) adaptada para a RBPS.

2.3. Metodologia e aplicação de análise de risco adotada

Na análise RBPS, o risco é estimado combinando-se a probabilidade de ocorrência de algum cenário de solicitação (probabilidade de ocorrência de um terremoto, por exemplo) e,

com a ocorrência do cenário, a probabilidade de ocorrência de alguma falha na barragem. Após determinar a possibilidade de ocorrer algum desses eventos, é possível mensurar a magnitude das consequências (VALERIUS, 2014). A avaliação é feita pela Equação 1.

$$R = \sum [P(carga) \cdot P(resposta)]. Consequências \quad (1)$$

Onde R é o risco (ou IR – Índice de Risco), $P(carga)$ é a probabilidade estimada para a ocorrência do cenário; e $P(resposta)$ é a probabilidade de ocorrência de falha na barragem, caso ocorra um dos cenários (HARRALD et al., 2004):

$P(carga)$, pode ser denominado fator de carga e é imposto pelos regimes hidrológicos e sísmicos ou ainda pela condição estática da barragem (sem a influência de nenhum fator externo), que são os denominados “cenários” de acontecimentos da maioria das respostas adversas em barragens. Inclui-se também como cenário, o conjunto dos aspectos de operação, manutenção e segurança da barragem (HARRALD et al., 2004).

$P(resposta)$, também denominado fator de resposta mede a resposta da barragem mediante os cenários ocorrentes (HARRALD et al., 2004). A multiplicação do $P(carga)$ pelo $P(resposta)$ resulta no Índice de Falha (IF) (EQUAÇÃO 2) da barragem e representa o primeiro termo da Equação 1.

$$P(Carga) \cdot P(Resposta) = IF \quad (2)$$

Os IFs possuem um valor máximo para cada cenário (TABELA 1), e quando somados podem atingir o valor de 1.000 pontos, o que representa o Índice de Falha Total (IFT) da barragem (EQUAÇÃO 3). Quanto maior o valor obtido, maior será a probabilidade de falha. Para a obtenção do Índice de Falha Total, o avaliador necessita de diversas informações sobre as condições físicas da barragem, o que resulta no preenchimento de diferentes planilhas que abordam as condições e a estrutura da barragem (HARRALD et al., 2004).

Tabela 1 - Valores de pontuação atribuídos a cada cenário de solicitação na metodologia RBPS.

| Cenário | Pontuação |
|-----------------------|---------------------------------|
| Estático | 300 |
| Hidrológico | 300 |
| Sísmico | 300 |
| Operação e manutenção | 100 |
| Total | Σ 1000 |

Fonte: Harrald et al., (2004).

$$\sum IF = IFT \quad (3)$$

O segundo termo da Equação 1 é a estimativa das Consequências esperadas devido à ocorrência de cada cenário. Elas traduzem-se no Potencial de Perdas de Vida Humanas,

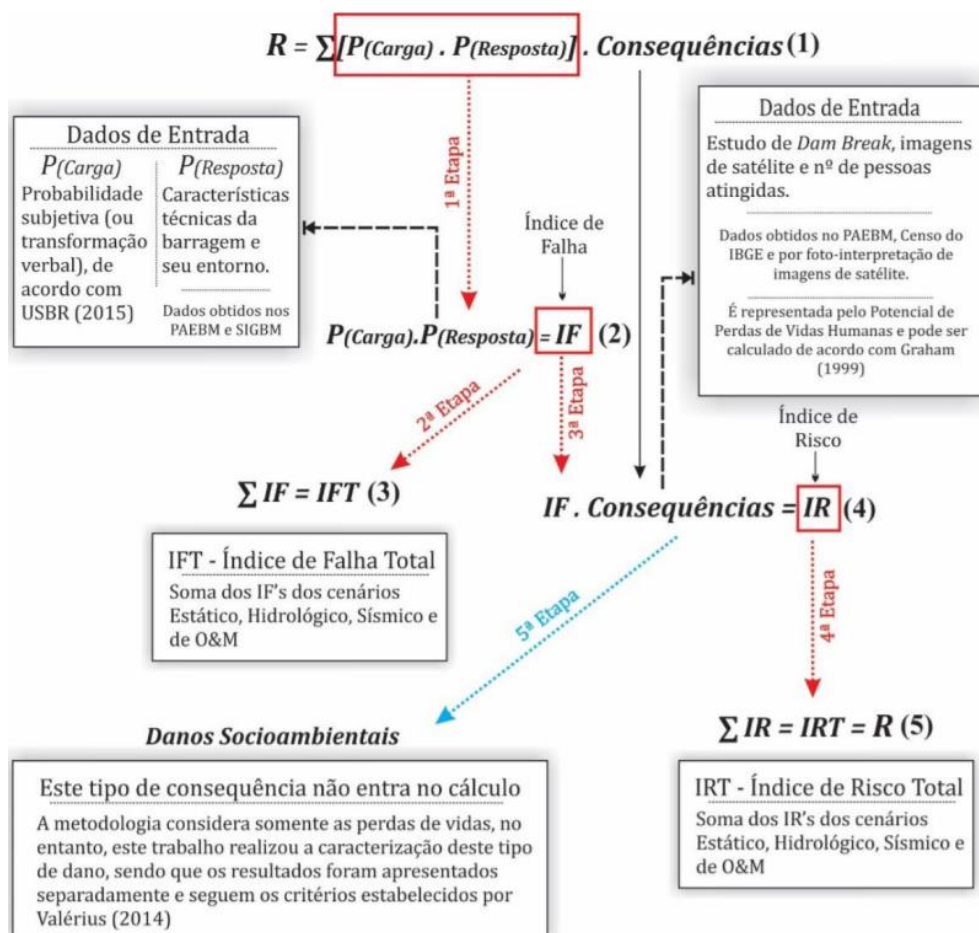
estimado por dados como o número de pessoas a jusante da barragem, a severidade da inundação e o entendimento da população sobre a referida severidade (GRAHAM, 1999). O Potencial de Perdas de Vida Humanas é multiplicado pelo IF, para obtenção do Índice de Risco da barragem (EQUAÇÃO 4). E após ser calculado para cada cenário é somado para se obter o Índice de Risco Total (IRT) (EQUAÇÃO 5), que representa o risco que determinada barragem exerce sobre a população a jusante (VALERIUS, 2014).

$$IF \cdot Conseqüências = IR \quad (4)$$

$$\sum IR = IRT = R \quad (5)$$

Conceição (2018) elaborou um fluxograma que resume todas as etapas da metodologia RBPS (FIGURA 9), discutidas detalhadamente nos próximos tópicos.

Figura 9 – Fluxograma resumindo os passos da metodologia RBPS.



Fonte: Conceição (2018).

Nos próximos tópicos haverá a discussão de cada etapa individualmente. Valerius (2014), inseriu a classificação do dano socioambiental ao escopo da análise de risco, usando como base o tipo de resíduo armazenado na barragem e as conseqüências que um possível

rompimento traria para o abastecimento de água das cidades, para as áreas de preservação ambiental, áreas urbanas, corpos d'água entre outros.

2.4. Caracterização dos fatores de carga (P(carga))

Os fatores de carga foram estimados por meio de probabilidade subjetiva, isto é, o valor numérico ou a faixa de valores (TABELA 2) são julgados como críveis com base nas evidências disponíveis analisadas por um conjunto de especialistas, refletindo o grau de convicção na ocorrência de determinado evento. Esta técnica é utilizada quando não é possível determinar numericamente a probabilidade de determinado evento ocorrer, tendo em vista a necessidade de estudos muito mais aprofundados e séries históricas muito longas (BAPTISTA 2008; USBR 2015), indisponíveis para as barragens estudadas. Será adotada nesse trabalho essa análise subjetiva para estimar a probabilidade de ocorrência dos quatro cenários, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 2 - Probabilidades adotadas, através da técnica de transformação verbal.

| Descritor | Probabilidade atribuída |
|-------------------------|--------------------------------|
| Virtualmente certo | 0,999 |
| Muito provável | 0,99 |
| Provável | 0,9 |
| Neutro | 0,5 |
| Improvável | 0,1 |
| Muito improvável | 0,01 |
| Virtualmente impossível | 0,001 |

Fonte: USBR (2015).

Tabela 3 - Fatores de carga utilizados para as duas barragens.

| Cenário | Probabilidade atribuída | Descrição |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Condição estática | 0,99 | Muito provável |
| Hidrológico | 0,99 | Muito provável |
| Sísmico | 0,9 | Provável |
| Operação e manutenção | - | Calculado diretamente |

Fonte: Valerius (2014) adaptada por Conceição (2018).

Com base no estudo de Collaço et al. (2017), foi considerado uma sismicidade provável na região de Mariana-MG, usando como referência a influência na estrutura da

barragem e não a percepção da população da atividade sísmica. O cenário hidrológico foi considerado muito provável, com base no Relatório Meteorológico do Período Chuvoso 2019/2020 do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2020) que concluiu que em alguns períodos do ano houve precipitação muito além da média histórica.

2.5. Caracterização dos fatores de resposta para os cenários de solicitação (P(resposta))

Dada a concretização de um cenário, os fatores de resposta (TABELAS 4, 5, 6, 7) são as características das barragens que mais influenciaram na probabilidade de ocorrência de uma falha, ou seja, as respostas da barragem ao cenário imposto, são enquadradas em um limiar de pontuação que define uma maior ou menor predisposição a efeitos adversos (CONCEIÇÃO, 2018). Neste estudo, a pontuação dos fatores de resposta para cada cenário foi adaptada a partir do trabalho de Valerius (2014), em que diversos dados históricos e artigos sobre o tema foram utilizados para determinar os pesos de cada característica da barragem.

Vale destacar que atividades sísmicas são levadas em consideração para a análise de estabilidade das estruturas. Segundo os PAEBMs das barragens estudadas, a ocorrência de sismos e/ou vibrações induzidas são potenciais gatilhos para a liquefação e há um fator de segurança mínimo para essas situações. Segundo o Centro de Sismologia da USP, a região da cidade de Mariana-MG apresentou atividades sísmicas no dia 5 de novembro de 2015, mesmo dia do rompimento da barragem de Fundão. Como as magnitudes foram pequenas, não é possível estabelecer relação entre os sismos e o rompimento. Porém, se tratando de estruturas já fragilizadas, tudo pode tornar-se o gatilho decisivo.

Tabela 4 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário estático.

| Categorias | Fatores individuais | Pontuações | |
|--|--|----------------------|-------------------|
| | | Pontuação individual | Máx. Da categoria |
| Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 50 | 50 |
| | Único ponto, de jusante para montante | 40 | |
| | Descarga em vários pontos, de jusante para montante | 20 | |
| | De jusante para montante com <i>spray bars</i> | 10 | |
| | De jusante para montante em vários pontos e com ciclonagem | 8 | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|---|--|--|----|
| Proteção do talude de jusante | Não existe | 10 | 10 |
| | Vegetação | 5 | |
| | Rip rap | 3 | |
| | Outra (considerar eficiência) | 1 até 9 | |
| Monitoramento da linha piezométrica do talude | Não existe monitoramento | 60 | 60 |
| | Existe monitoramento | 15 | |
| | Existe monitoramento com níveis de alerta | 5 | |
| Fator de segurança de operação | $< 1,3$ | 70 | 70 |
| | $\geq 1,3 < 1,5$ | 35 | |
| | $\geq 1,5$ | 10 | |
| Volume armazenado | ≤ 500 mil m ³ | 2 | 10 |
| | > 500 mil ≤ 5 milhões m ³ | 4 | |
| | > 5 milhões m ³ ≤ 25 milhões m ³ | 6 | |
| | > 25 milhões m ³ ≤ 50 milhões m ³ | 8 | |
| | > 50 milhões m ³ | 10 | |
| Verificação da água infiltrada no talude | Vazamento lamacento e com aumentos súbitos | 50 | 50 |
| | Vazamento lamacento | 45 | |
| | Vazamento límpido, aumentando gradualmente | 30 | |
| | Vazamento límpido e estável | 20 | |
| | Pequeno vazamento | 15 | |
| | Nenhum vazamento verificado | 2 | |
| Sistema de drenagem implantado na barragem | Nenhum | 40 | 40 |
| | Tapete drenante | 30 | |
| | Em parte dos alteamentos | 20 | |
| | Em todos os alteamentos | 8 | |
| | Outro tipo de drenagem (Considerar eficiência) | 1 até 39 | |
| Problemas verificados no corpo da barragem | Trincas | 4 | 10 |
| | Deterioração dos taludes | 2 | |
| | Vazamento em tubulação de equipamento de descarga | 2 | |
| | Erosão no talude de jusante | 2 | |
| | Outros problemas (considerar a gravidade) | Σ de todos os problemas não pode ser maior que 10 | |

Fonte: Valerius (2014).

Tabela 5 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário hidrológico.

| Categorias | Fatores individuais | Pontuações | |
|--|--|------------------|----------------|
| | | Pontuação indiv. | Max. Da categ. |
| Vazão de projeto dos vertedores | 10000 anos | 5 | 55 |
| | 1000 anos | 20 | |
| | 500 anos | 40 | |
| | < 500 anos ou desconhecido | 55 | |
| Sistema alternativo de descarga das vazões | Bombeamento | 15 | 40 |
| | Outro (considerar eficiência) | 1 até 39 | |
| | Nenhum | 40 | |
| Drenagem interna | Nenhum | 30 | 30 |
| | Tapete drenante | 20 | |
| | Outro tipo de drenagem (Considerar eficiência) | 1 até 29 | |
| | Em parte dos alteamentos | 10 | |
| | Em todos os alteamentos | 5 | |
| Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 40 | 40 |
| | Único ponto, de jusante para montante | 30 | |
| | Descarga em vários pontos, de jusante para montante | 15 | |
| | De jusante para montante com <i>spray bars</i> | 5 | |
| | De jusante para montante em vários pontos e com ciclonação | 3 | |
| Proteção do talude de jusante | Não existe | 10 | 10 |
| | Vegetação | 5 | |
| | Rip rap | 3 | |
| | Outra (considerar eficiência) | 1 até 9 | |
| Monitoramento da linha piezométrica do talude | Não existe monitoramento | 40 | 40 |
| | Existe monitoramento | 15 | |
| | Existe monitoramento com níveis de alerta | 5 | |
| Configuração do depósito | Em vale | 10 | 10 |
| | Em fundo de vale | 8 | |
| | Em meia encosta | 6 | |
| | Em dique fechado | 4 | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|--|-------------------------|----|----|
| Fator de segurança considerando uma falha no sistema de drenagem | $\leq 1,0$ | 65 | 65 |
| | $> 1,0 \leq 1,3$ | 55 | |
| | $> 1,3$ | 20 | |
| | Não avaliado | 45 | |
| Área do reservatório | 0,5 a 1 km ² | 4 | 10 |
| | 1 a 1,5 km ² | 6 | |
| | 1,5 a 2 km ² | 8 | |
| | > 2 km ² | 10 | |

Fonte: Valerius (2014).

Tabela 6 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário sísmico.

| Categorias | Fatores individuais | Pontuações | |
|--|---|--|----------------|
| | | Pontuação indiv. | Max. Da categ. |
| Nível de vibração causado pelo plano de fogo | Alto | 20 | 20 |
| | Médio | 10 | |
| | Baixo | 5 | |
| | Não realiza monitoramento | 10 | |
| Sismicidade da região (casos históricos) | Desconhecido | 20 | 20 |
| | Médio | 10 | |
| | Baixo | 5 | |
| Problemas verificados no corpo da barragem | Trincas | 15 | 30 |
| | Deterioração dos taludes | 5 | |
| | Vazamento em tubulação de equipamento de descarga | 5 | |
| | Erosão no talude de jusante | 5 | |
| | Outros problemas (considerar a gravidade) | Σ de todos os problemas não pode ser maior que 30 | |
| Fator de segurança considerando eventos sísmicos | $> 1,0 \leq 1,3$ | 80 | 80 |
| | $> 1,3 \leq 1,5$ | 70 | |
| | $> 1,5$ | 10 | |
| | Não avaliado | 50 | |
| Monitoramento da linha piezométrica do talude | Não existe monitoramento | 45 | 45 |
| | Existe monitoramento | 20 | |
| | Existe monitoramento com níveis de alerta | 8 | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|---|---|----------|----|
| Drenagem interna | Nenhum | 35 | 35 |
| | Tapete drenante | 20 | |
| | Outro tipo de drenagem (Considerar eficiência) | 1 até 34 | |
| | Em parte dos alteamentos | 15 | |
| | Em todos os alteamentos | 8 | |
| Existência de estradase/ou ferrovias próximas | Sim | 10 | 10 |
| | Não | 3 | |

Fonte: Valerius (2014).

Tabela 7 – Pontuação para os fatores de resposta do cenário de operação e manutenção.

| Categorias | Fatores individuais | Pontuações | |
|---|---|---------------------|-------------------|
| | | Pontuação indiv. | Máx. Da categ. |
| Plano de ação emergencial | Não possui (Quando obrigatório) | 40 | 40 |
| | Não possui (Não obrigatório) | 20 | |
| | Possui – avaliar abrangência e determinar pontuação | 1 até 39 | |
| Documentação de projeto | Projeto executivo e “como construído” | 5 | 20 |
| | Projeto executivo ou “como construído | 10 | |
| | Projeto básico | 15 | |
| | Não há projeto | 20 | |
| Manuais e procedimentos para inspeção de segurança | Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação | 2 | 10 |
| | Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento | 5 | |
| | Possui apenas manual de procedimentos de inspeção | 10 | |
| Cópias dos PAEs entregues aos órgãos competentes | Sim | 2 | 5 |
| | Não | 5 | |
| Relatórios de inspeção e Análise de Segurança | Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de análise de segurança | 2 | 15 |
| | Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança | 5 | |
| | Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento | 10 | |
| | Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual | 15 | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|---------------------|--|---|----|
| Infrações cometidas | Multa aplicada nos últimos 10 anos | 10 | 10 |
| | Advertência aplicada nos últimos 5 anos | 2 | |
| | Outro tipo de infração (considerar relevância) | Σ de todos os problemas não pode ser maior que 10 | |

Fonte: Valerius (2014) adaptada por Conceição (2018).

Segundo Escuder et al. (2007), o fator de resposta está diretamente ligado ao comportamento estrutural da barragem e dependerá diretamente dos seguintes fatores: i) capacidade, estado, manutenção e funcionamento dos equipamentos de deságue; ii) aspectos de projeto e construção da barragem; iii) volume e área do reservatório; iv) características do rejeito armazenado; v) aspectos geológicos e geotécnicos da fundação e região do entorno; vi) existência de instrumentação e monitoramento da barragem; vii) em casos de sismos, a suscetibilidade à liquefação e as condições de estabilidade dos taludes; viii) cumprimento de normas e leis vigentes que estabelecem as diretrizes para a exploração em questão; ix) deformações, trincas, afundamentos e demais anomalias verificadas no corpo da barragem.

2.6. Caracterização do Potencial de Perdas de Vidas Humanas

De acordo com os mapas de envoltória máxima de inundação das duas barragens presente nos PAEBMs (TETRA TECH, 2020) e dados sociais disponibilizados pela VALE, não existem pessoas ocupando permanentemente as áreas afetadas na Zona de Autossalvamento (ZAS). Porém, a mancha de inundação das barragens, por serem localizadas próximas uma da outra, afeta o pátio de embarque da Mina da Alegria, onde há, segundo o PAEBM, operações controladas de remoção de material depositado no pátio, operações de carregamento dos vagões e manutenções de rotina, não havendo áreas de vivência no local. Os locais de execução da atividade possuem controle de acesso e o mesmo é feito por profissionais treinados, autorizados e identificados. O número de pessoas que trabalham nesse pátio é mostrado no Quadro 6.

A barragem de Campo Grande apresenta em seu PAEBM a relação do número de edificações e pessoas na Zona de Segurança Secundária (ZSS) e área de risco (QUADRO 7).

Com base nesses dados, o somatório das pessoas que possivelmente seriam afetadas em caso de ruptura da barragem de Campo Grande é igual a 775 (somatório dos trabalhadores efetivos do pátio e das pessoas na ZSS e área de risco).

Quadro 6 – Relação de trabalhadores efetivos necessários no Pátio de embarque da Mina da Alegria.

| Atividade | Equipamentos | Pessoas | Horário |
|-----------------------|---|------------|---------------|
| Carregamento de Vagão | 04 Pá Mecânica | 04 Pessoas | 7:00 as 19:00 |
| Operação do trem | 01 ou 02 locomotivas | 01 pessoa | 7:00 as 19:00 |
| Limpeza de linha | NA | 01 pessoa | 7:00 as 19:00 |
| Controle de pátio | NA | 01 pessoa | 7:00 as 19:00 |
| Limpeza de Sump | 01 escavadeira hidráulica 03 caminhões rodoviários | 04 pessoas | 7:00 as 19:00 |
| Aspersão de vagões | NA | 01 pessoa | 7:00 as 19:00 |

Fonte: VALE (2019).

Quadro 7 - Número de edificações e pessoas na ZSS e Área de Risco – Barragem Campo Grande.

| Tipo de edificações | ZSS | | | | Área de Risco | | | |
|---------------------|----------------|------|----------------|-----|----------------|------|----------------|-----|
| | Nº edificações | % | Nº edificações | % | Nº edificações | % | Nº edificações | % |
| Domiciliar | 175 | 95,1 | 556 | 97 | 46 | 86,8 | 152 | 80 |
| Comercial e serviço | 7 | 3,8 | 13 | 2,3 | 7 | 13,2 | 38 | 20 |
| Templo religioso | 2 | 1,1 | 4 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 184 | 100 | 573 | 100 | 57 | 100 | 190 | 100 |

Fonte: TETRA TECH (2020).

O PAEBM da barragem Xingu (TETRA TECH, 2020) apresenta a relação do número de edificações e pessoas afetadas na ZSS e na área de risco, como mostrado no Quadro 8.

Com base nesses dados, o somatório das pessoas que possivelmente seriam afetadas em caso de ruptura da barragem de Xingu é igual a 576 (somatório dos trabalhadores efetivos do pátio e das pessoas na ZSS e área de risco).

Segundo Conceição (2018), o potencial de perdas de vida é definido pela multiplicação entre o número de pessoas em risco e a taxa de fatalidade. Esta, por sua vez, é determinada com base na gravidade da inundação, no tempo dos alertas emitidos e em uma medida de que as pessoas entendem a gravidade da inundação (TABELA 8).

Quadro 8 - Número de edificações e pessoas no trecho inicial da ZSS (Distrito de Santa Rita Durão) e Área de Risco – Barragem Xingu.

| Situação | ZSS | | | | | | Área de Risco | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|---------------|------------------|-------|---------------|-----------|--------------------------|---------------|------------------|-------|
| | Tipo de edificações | | | | | | | | | | | |
| | Residencial | Comercial | Esporte, lazer e cultura | Institucional | Templo religioso | Total | Residencial | Comercial | Esporte, lazer e cultura | Institucional | Templo religioso | Total |
| Nº edificações cadastradas | 115 | 5 | 1 | 0 | 2 | 123 | 38 | 2 | 0 | 1 | 0 | 41 |
| Nº edificações não cadastradas | 52 | 8 | 0 | 1 | 2 | 63 | 9 | 6 | 2 | 1 | 1 | 19 |
| Total de edificações | 167 | 13 | 1 | 1 | 4 | 186 | 47 | 8 | 2 | 2 | 1 | 60 |
| Nº de pessoas cadastradas | 387 | 7 | 5 | 0 | 4 | 403 | 123 | 3 | 0 | 35 | 0 | 161 |

Fonte: TETRA TECH (2020).

Para este estudo, considerando que: i) o tempo de alerta foi definido como o momento da ruptura do barramento até a formação da mancha de inundação; ii) todas as modelagens de rompimento presentes no PAEBMs, indicaram que a mancha de inundação alcançará a localidade rural mais próxima após 30 min – 1 h do rompimento, porém como há o Pátio de embarque da Mina da Alegria à jusante da barragem, foi considerado tempo de alerta como sem aviso, e; iii) considerou-se que a severidade da inundação é alta, para situações em que há ruptura por liquefação; adotou-se então, a taxa de fatalidade de 0,75 (severidade alta da inundação, tempo de alerta sem aviso e entendimento da severidade da inundação por parte da população não aplicável).

Tabela 8 – Índice de fatalidade derivada de estudos de caso.

| Severidade da Inundação | Tempo de alerta (minutos) | Entendimento da Severidade da Inundação | Índice de Fatalidade (Fração das pessoas em risco com expectativa de morte) | |
|-------------------------|---------------------------|---|--|-----------------|
| | | | Sugerido | Limiar Sugerido |
| | Sem aviso | Não aplicável | 0,75 | 0,30 a 1,0 |
| Alta | 15 a 60 | Vago | Use os valores mostrados acima e aplique-os ao número de pessoas que permanecem na planície de inundação da falha da barragem depois que os avisos são emitidos. Nenhuma orientação é fornecida sobre quantas pessoas permanecerão na planície de inundação. | |
| | | Preciso | | |
| | >60 | Vago | | |
| | | Preciso | | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | | |
|---------|-----------|---------------|--------------|--------------|
| Média | Sem aviso | Não aplicável | 0,15 | 0,03 a 0,35 |
| | 15 a 60 | Vago | 0,04 | 0,01 a 0,08 |
| | | Preciso | 0,02 | 0,005 a 0,04 |
| | >60 | Vago | 0,03 | 0,005 a 0,06 |
| Preciso | | 0,01 | 0,002 a 0,02 | |
| Baixa | Sem aviso | Não aplicável | 0,01 | 0,0 a 0,02 |
| | 15 a 60 | Vago | 0,007 | 0,0 a 0,015 |
| | | Preciso | 0,002 | 0,0 a 0,004 |
| | >60 | Vago | 0,003 | 0,0 a 0,0006 |
| Preciso | | 0,0002 | 0,0 a 0,0004 | |

Fonte: Graham (1999).

2.7. Caracterização do dano socioambiental

O dano socioambiental está relacionado ao contato do rejeito armazenado na barragem com o ambiente urbano e florestal, promovendo consideráveis transtornos a ambos. A curto prazo (horas a meses), a depender da natureza do rejeito, os rompimentos afetam invariavelmente a qualidade da água e dos sedimentos, a vida aquática e humana por potencialmente centenas de quilômetros à jusante. No médio e longo prazo (anos e séculos) pode afetar os solos e os sedimentos das planícies, principalmente através de rejeitos com presença de minerais metálicos, afetando a pecuária e a produção de alimentos (AHMED; TAHLAWI, 2011; KOSSOFF et al., 2014).

Nesse aspecto, relacionam-se a qualidade do rejeito armazenado aos danos causados ao ambiente, através de um sistema de pontuação baseado na NBR 10004 (ABNT, 2004), conforme a Tabela 9.

Pelas características da composição química dos rejeitos, estes foram classificados como Perigosos, Inertes e Não inertes, sendo que estes últimos podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Os danos causados foram obtidos junto aos PAEBMs (TETRA TECH, 2020). De acordo com a pontuação final, as barragens foram enquadradas nas seguintes classes (VALERIUS, 2014):

- i) $\sum \geq 6$: Dano extremo;
- ii) $\sum \geq 4 < 6$: Dano muito alto;
- iii) $\sum \geq 2 < 4$: Dano alto;
- iv) $\sum < 2$: Dano considerável.

Tabela 9 – Pontuação para classificação do dano socioambiental.

| Danos causados | Propriedade dos rejeitos armazenados (NBR 10004 – ABNT, 2004) | | |
|--|---|------------|--------|
| | Perigoso | Não inerte | Inerte |
| Ruptura poderá causar transtornos para o abastecimento de água de alguma cidade | 4 | 4 | 1 |
| Ruptura poderá afetar alguma área de conservação ambiental | 4 | 1 | 0,5 |
| Ruptura poderá afetar um núcleo urbano | 6 | 3 | 4 |
| Ruptura poderá causar danos à mineradora | 2 | 1 | 0,5 |
| Ruptura poderá causar danos sobre corpos de água superficiais | 2 | 1 | 0,5 |
| Ruptura poderá afetar núcleos rurais | 4 | 4 | 1 |
| Ruptura poderá afetar estradas, pontes, rodovias, rede de energia elétrica e/ou telecomunicação, ferrovias, etc. | 4 | 1 | 0,5 |

Fonte: Valerius (2014).

3. RESULTADOS

3.1. Análise do Índice de Falha Total (IFT), Índice de Risco Total (IRT) e potencial de perdas de vidas

Para efeitos comparativos é possível dividir o IFT nas classes Alta (> 666 pontos), Média ($333 > \text{IFT} \leq 666$ pontos) e Baixa (≤ 333 pontos) e as considerações detalhadas de cada cenário estão evidenciadas no Apêndice. Como apresentado no Quadro 9, entre as duas barragens analisadas, a Xingu apresentou o maior IFT (469,13) e as duas apresentaram valores considerados médio. Esse valor elevado do IFT da primeira barragem se deve principalmente aos fatos de ter a vazão de projeto inferior a 500 anos ou desconhecida, não ter projeto e emitir regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento da estrutura, como é possível verificar no SIGBM.

Embora o IFT da barragem Xingu tenha apresentado 103,44 pontos acima do IFT da barragem Campo Grande, essa segunda apresentou um índice de risco mais significativo, por conta da maior população vulnerável, cerca de 25% a mais.

Quadro 9 – Resultado da análise de risco apresentando os fatores de resposta para cada cenário, o Índice de Falha e o Índice de Risco.

| Barragens | Cenários de solicitação | Fator de Carga | Fator de Resposta | Índice de Falha | Pot. de Perdas de Vidas Humanas | Índice de Risco | População em Risco |
|--------------|-------------------------|----------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| Campo Grande | Condição estática | 0,99 | 127 | 125,73 | 581,25 | 73080,56 | 775 |
| | Hidrológico | 0,99 | 160 | 158,40 | | 92070,00 | |
| | Sísmico | 0,90 | 181 | 162,90 | | 94685,63 | |
| | Operação e manutenção | - | 19 | 19,00 | | 11043,75 | |
| | Total | | 487 | 466,03 | | 270879,94 | |
| Xingú | Condição estática | 0,99 | 127 | 125,73 | 432 | 54315,36 | 576 |
| | Hidrológico | 0,99 | 226 | 223,74 | | 96655,68 | |
| | Sísmico | 0,90 | 200 | 180,00 | | 77760,00 | |
| | Operação e manutenção | - | 40 | 40,00 | | 17280,00 | |
| | Total | | 593 | 569,47 | | 246011,04 | |

Fonte: Do autor (2021).

A barragem de Xingu está classificada no nível 2 de emergência, mais crítica do que a estrutura de Campo Grande que está no nível 1, de acordo com os dados consultados no SIGBM em novembro de 2021. Logo, os valores encontrados de IFTs pela metodologia RBPS, Xingu mais crítica do que Campo Grande, representam o cenário atual das barragens.

O fator de resposta do cenário estático das duas barragens foi coincidentemente igual, pois houve categorias com pontuações diferentes e somente após o somatório que os valores ficaram iguais.

O fator de resposta de operação e manutenção da barragem Xingu foi maior por i) a estrutura não apresentar projeto; ii) possuir apenas manual de procedimentos de monitoramento, e não para inspeção e operação também; iii) emitir regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento, não foi informado se é feito com base na instrumentação e de Análise de Segurança.

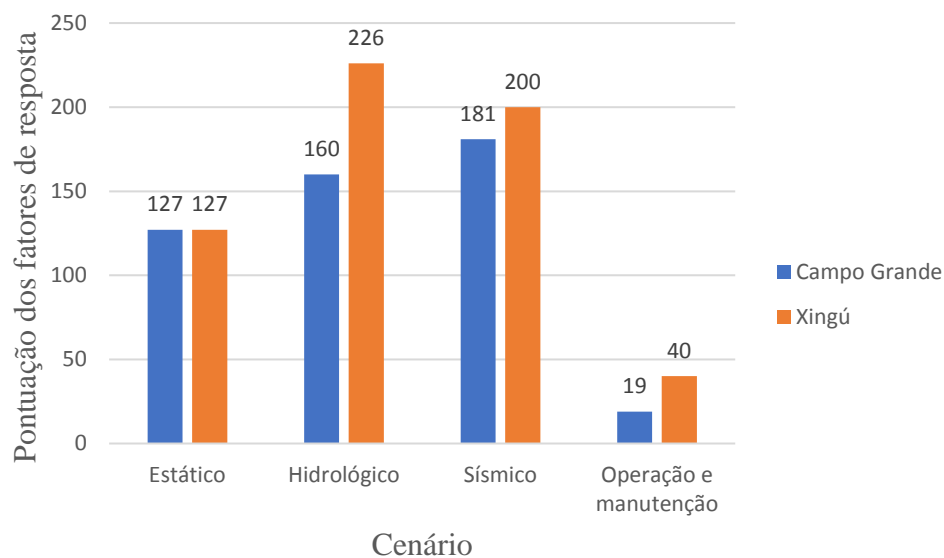
3.2. Análise dos cenários de solicitação

A Figura 10 mostra o comparativo entre os cenários das duas barragens. O cenário estático foi o mesmo para as duas. O hidrológico foi o que teve maior pontuação dentre os quatro fatores analisados e, a barragem de Xingu se destacou por ter a vazão de projeto dos

vertedouros inferior a 500 anos ou desconhecida, existir monitoramento mas sem níveis de alerta da linha piezométrica e ter apenas o monitoramento manual.

Já o cenário sísmico foi mais crítico para Xingu pois havia erosão e deterioração dos taludes, de acordo com dados do SIGBM, e havia apenas monitoramento manual da linha piezométrica, sem níveis de alerta. A sismicidade da região de Mariana-MG foi considerada “média” (ANEXO A), de acordo com as atividades registradas pelo centro de sismologia da USP em 2015, pouco antes do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG.

Figura 10 – Comparativo entre os fatores de resposta para os cenários de solicitação das barragens.



Fonte: Do autor (2021).

O cenário de operações e manutenção é menor do que os outros por ter menos fatores para se analisar e ser mais voltado para a análise e elaboração do PAE, item cujos responsáveis pelas barragens são obrigados por lei a elaborar para regularizar a estrutura e poder realizar as atividades normalmente. A barragem de Xingu teve maior pontuação por não ter projeto da estrutura e por emitir regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento, diferente de Campo Grande que tem o projeto executivo e emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de análise de segurança.

3.3. Análise socioambiental

Com relação ao dano socioambiental, as barragens foram classificadas como dano extremo, recebendo mais de 6 pontos, Tabela 9. As informações constantes no Quadro 10 foram retiradas dos Planos de Ação Emergencial e do SIGBM das respectivas barragens.

Quadro 10 – Resultado da análise de risco socioambiental caracterizando a área potencialmente atingida a jusante.

| Barragens | Propriedade dos rejeitos armazenados (NBR 10004 – ABNT, 2004) | Danos possivelmente causados | Classificação | |
|---------------------|---|---|---------------|--------------|
| Campo Grande | Classe II B – Inertes | <ol style="list-style-type: none"> 1. Municípios afetados na ZAS: Ouro Preto-MG e Mariana-MG 2. Municípios afetados na ZSS: Ouro Preto, Mariana, Alvinópolis, Rio Piracicaba, Santa Bárbara, João Monlevade, Bela Vista de Minas e Nova Era, localizados em minas Gerais 3. Principal curso d'água impactado: Rio Piracicaba 4. Bacias hidrográficas atingidas: Rio Piracicaba e rio Doce, estadual e federal, respectivamente 5. Atingimento pontes, estradas, linhas de transmissão e pequena hidrelétrica 6. Impactos nas instalações da mineradora 7. Impacto ambiental significativo (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica (70xcluídas APPs) 8. Impacto sócio-econômico ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) | 8 | Dano extremo |
| Xingu | Classe II B – Inertes | <ol style="list-style-type: none"> 1. Municípios afetados na ZAS: Ouro Preto-MG e Mariana-MG 2. Municípios afetados na ZSS: Mariana-MG e Alvinópolis-MG 3. Principal curso d'água impactado: Rio Piracicaba 4. Bacias hidrográficas atingidas: Rio Piracicaba e rio Doce, estadual e federal, respectivamente 5. Atingimento pontes/viadutos e estradas 6. Edificações rurais e urbanas das cidades a jusante afetadas. 7. Impacto ambiental significativo (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica (70xcluídas APPs) 8. Impacto sócio-econômico MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) | 8 | Dano extremo |

Fonte: Do autor (2021).

3.4. Análise e enquadramento dos resultados obtidos nos critérios de classificação de barragens da Resolução nº 143/2012 do CNRH

Como é possível relacionar a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA) da análise de risco estabelecida pela Resolução nº 143/CNRH (CNRH, 2012) com o Índice de Falha Total (IFT) e o Índice de Risco Total (IRT) da análise RBPS, foi possível gerar uma tabela comparativa entre essas duas metodologias (TABELA 10). Vale ressaltar que a análise RBPS não classifica as barragens em alto, médio e baixo.

Tabela 10 – Comparativo entre a metodologia aplicada neste estudo e a metodologia de análise de risco utilizada no Brasil.

| Barragem | Análise de risco utilizada no Brasil | | | | Análise RBPS | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|------|-------|---------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|---------------------|---------|---------------|
| | CRI | DPA | Clas. | Pop. Em risco | Índice de Falha Total (IFT) | | Índice de Risco Total (IRT) | Dano socioambiental | | Pop. Em risco |
| Campo Grande | Alta | Alto | A | 1001 - 5000 | 379,23 | Médio | 5878,07 | 8 | Extremo | 775 |
| Xingu | Alta | Alto | A | 501 -1000 | 469,13 | Médio | 5404,38 | 8 | Extremo | 576 |

Fonte: Do autor (2021).

Analisando os resultados obtidos, nota-se que houve semelhanças entre as duas classificações. Os IRTs das duas barragens foram parecidos e valores significativos, concordando com a classificação do DPA alto. Contudo, o CRI da análise de risco tradicional categorizou as barragens como alta, já a metodologia RBPS classificou como médias (IFT é equivalente ao CRI). Essa diferença se dá pelo fato de o método construtivo ser à montante e as Declarações de Condição de Estabilidade (DCE) delas não atestarem as condições em consonância com a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e Portarias ANM vigentes, de acordo com as DCEs disponíveis no SIGBM (últimas revisões elaboradas: Campo grande dia 22/09/2020 e Xingu dia 20/07/2021). Fatores como esses não são levados em consideração de forma direta na análise do IFT.

O dano socioambiental de ambas as estruturas foi classificado como extremo, podendo ser comparado, em uma possível ruptura, com as consequências desastrosas que o rompimento da barragem de Fundão também na cidade de Mariana-MG trouxe para o meio ambiente e para a sociedade da região atingida. Já a população em risco da metodologia RBPS leva em consideração os dados apresentados nos PAEBMs e a análise tradicional leva em consideração os valores apresentados no SIGBM. A barragem Campo Grande apresentou uma diferença nesse quesito pelo fato de o SIGBM incluir outras situações além da ruptura e população em

risco a jusante, como funcionários da empresa que podem ser afetados, ruptura dupla e outros fatores que podem majorar o número de vítimas.

4. CONCLUSÃO

Como o método RBPS facilita o processo de identificação dos pontos mais críticos na estrutura da barragem, por meio da análise dos quatro cenários diferentes, possibilita que a ação da gestão de riscos seja mais pontual. Nos casos analisados, os cenários hidrológico e sísmico foram os mais significativos justamente pelo fato de as barragens apresentarem fatores mais vulneráveis, como a vazão de projeto inferior a 500 anos ou desconhecida e a falta de informação da área da estrutura da barragem de Xingu, e no caso da barragem de Campo grande a umidade verificada no corpo da estrutura. A região de Mariana-MG tem atividades sísmicas registradas que influenciaram no valor mais elevado do cenário sísmico.

Embora seja uma metodologia muito bem vista, há fontes de incerteza que devem ser ponderadas para esta análise. Algumas podem ser sanadas ou minimizadas com a disponibilização de mais informações sobre a estrutura e sobre a conjuntura social em que a barragem está inserida. A qualidade dos PAEBMs e dos estudos de *Dam Break* também influenciam muito no êxito do RBPS, já que os dados são retirados majoritariamente desses documentos, em conjunto com as informações presentes no SIGBM. Como o estudo de inundação é complexo, pois o escoamento proveniente da ruptura de barragens é tipicamente tridimensional com grande variação das grandezas hidráulicas (MONTE-MOR, 2004) e necessita de dados de alta qualidade para obtenção de resultados consistentes, ele pode interferir principalmente nos limites das áreas inundadas e, conseqüentemente, no resultado final da análise.

No caráter social, a dificuldade de saber com mais exatidão o grau de entendimento dos riscos por parte da população também influencia em um resultado mais assertivo.

Por fim, a metodologia RBPS se mostrou bem representativa quando comparada com a análise de riscos convencional feita com base na Resolução nº 143/CNRH. Embora haja deficiências no processo, há como buscar mais informações e aprofundar os estudos sobre a barragem que deseja aplicar a metodologia para sanar essas carências e ter valores mais realistas e aplicáveis na gestão de riscos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 77 p.

AHMED, S.S.; TAHLAWI, M.R.E. **Environmental Impacts of Mining Operations A Case Study: Monitoring the Impacts at Abu Tartour Phosphate Mine**. Egito, v. 1, n. 4, p. 1-6, 2011.

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

BAPTISTA, M.L.P. **Abordagens de risco em barragens de aterro**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

BRASIL. **Lei 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 no 9.984, de 17 de julho de 2000.

BRASIL. **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 seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. BRASIL, Resolução nº 143, DE 10 DE JULHO DE 2012.

Centro de Sismologia da USP. **Tremores de terra ocorridos em Mariana/Bento Rodrigues, MG, no dia 05/11/2015, 2015**. Disponível em: <http://moho.iag.usp.br/reports/20151106/>
Acesso: 3/11/2021.

COLLAÇO, Bruno; Neves, Felipe; Carlos, Dionísio U.; Pereira, Wanderson; Assumpção, Marcelo; Calhau, Jackson; Galhardo, Luís. **REDE SISMOGRÁFICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (RSQF) – MG**. Centro de Sismologia (IEE-USP). VALE S.A. (CTF, Nova Lima), 2017.

CONCEIÇÃO, Raimundo Almir Costa Da. **Análise do Potencial de Risco de Rompimento em Barragens de Rejeito de Mineração do Estado do Pará Utilizando a Metodologia Risk-Based Profiling System (RBPS)**. Pará: Universidade Federal do Pará, 2018.

ESCUDER I.; MEMBRILLERA M.G.; MORENO P.; PÉREZ O.; ARDILES L.; JENARO E. **Development of a complementary program based on security risk analysis for dams of the hydrographic confederation of the Duero (in Spanish)**. In: CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, 5., 2007, Sevilha, Espanha. Anais... Sevilha: Territorio y Medio Ambiente, 2007. p. 1-15.

GRAHAM, W. **A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure**. U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Dam Safety Office, set, p 1-43. 1999.

HARRALD, J. R., RENDA-TANALI, I., SHAW, G. L., RUBIN, C. B., YELETAYSI, S. **Review of risk- based prioritization/decision making methodologies for dams.** Estados Unidos, 2004. Disponível em: <https://econadapt-library.eu/node/1918>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Relatório Meteorológico do Período Chuvoso 2019/2020. Belo Horizonte, 2020.

KOSSOFF, D.; DUBBIN, W.E.; ALFREDSSON, M.; EDWARDS, S.J.; MACKLIN, M.G.; HUDSON-EDWARDS, K.A. **Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation.** Applied Geochemistry, v. 51, p. 229–245, 2014.

MACHADO, Lucas Vasconcellos Teani; AZEEZ, Dolapo Gbadebo. **Incidentes e acidentes em barragens.** 7º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade, 2018.

MONTE-MOR, R.C.A. **Mapeamento de áreas inundáveis associadas à ruptura de barragens – estudo de caso: barragem de Ninho da Águia - MG.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

NOGUEIRA, André Moreira. **Análise de Acidentes Offshore sob a Ótica do RBPS.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 20201.

RICO, M.; BENITO, G.; SALGUEIRO, A.R.; DÍEZ-HERRERO, A.; PEREIRA, H. G. **Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context.** Journal of Hazardous Materials, v. 152, n. 2, p. 846–852, 2008.

TETRA TECH. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração – PAEBM: Complexo Mariana – Mina Alegria – Barragem Campo Grande.** Mariana: TETRA TECH, 2020. 86 p.

TETRA TECH. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração – PAEBM: Complexo Mariana – Mina Alegria – Empilhamento drenado de Xingu.** Mariana: TETRA TECH, 2020. 71 p.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION - USBR. **Subjective Probability and Expert Risk Management.** In: USBR. UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. Risk management - best practices and risk methodology., 2015.

VALE. **Plano de Segurança para Atividades no Pátio de Embarque da Mina de Alegria.** Marina: VALE, 2019. 16 p. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Paginas/Projetos.aspx>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

VALERIUS, Marcelo. Bernardi. **Cadastro e análise do potencial de risco das barragens de rejeitos de mineração do estado de Goiás.** Brasília: 2014. 121f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. 121 p.

APÊNDICE

Quadro 10 – Resultado dos fatores de resposta de cada cenário da barragem Campo Grande.

| Cenário | Categoria | Probabilidade atribuída | Pontuação |
|--------------------|--|---|------------------|
| Estático | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 50 |
| | Proteção do talude de jusante | Vegetação | 5 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento com sinais de alerta | 5 |
| | Fator de segurança de operação | $1,3 < FS < 1,5$ | 35 |
| | Volume armazenado | Próximo a 23 milhões m ³ | 6 |
| | Verificação da água infiltrada no talude | Pequeno vazamento | 15 |
| | Sistema de drenagem superficial | Em boas condições | 5 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Problemas verificados no corpo da barragem | Umidade ou surgência nas áreas de jusante | 1 |
| | TOTAL | | |
| Hidrológico | Vazão de projeto dos vertedouros | 10000 (decamilenar) | 5 |
| | Sistema alternativo de descarga das vazões | nenhum | 30 |
| | Sistema de drenagem superficial | Em boas condições | 5 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 35 |
| | Proteção do talude de jusante | Vegetação | 5 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento com níveis de alerta | 5 |
| | Configuração do depósito | Em vale | 10 |
| | Fator de segurança para falha no sistema de drenagem | $FS < 1,3$ | 50 |
| | Volume armazenado | Próximo a 23 milhões | 6 |
| | Área do reservatório | 510136 (0,5 a 1 km ²) | 4 |
| TOTAL | | | 160 |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|------------------------------|--|--|----|
| Sísmico | Nível de vibração causado pelo plano de fogo | Não realiza monitoramento | 10 |
| | Sismicidade da região (casos históricos) | Médio | 10 |
| | Problemas verificados no corpo da barragem | Umidade ou surgência nas áreas de jusante | 3 |
| | Fator de segurança para eventos sísmicos | FS<1,3 | 80 |
| | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 60 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento com níveis de alerta | 8 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Existência de estradas e/ou ferrovias próximas | Sim | 10 |
| | TOTAL | | |
| Operação e manutenção | Plano de ação emergencial | Possui | 1 |
| | Documentação de projeto | Projeto executivo ou "como construído" | 10 |
| | Manuais e procedimentos para inspeção de segurança | Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação | 2 |
| | Cópias dos PAEs entregues aos órgãos competentes | Sim | 2 |
| | Relatórios de inspeção e Análise de segurança | Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança | 2 |
| | Infrações cometidas | Advertência aplicada nos últimos 5 anos | 2 |
| | TOTAL | | |

Fonte: Do autor (2021).

Quadro 2 - Resultado dos fatores de resposta de cada cenário da barragem Xingu.

| Cenário | Categoria | Probabilidade atribuída | Pontuação |
|--------------------|--|---------------------------------------|------------------|
| Estático | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 50 |
| | Proteção do talude de jusante | Vegetação | 5 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento | 15 |
| | Fator de segurança de operação | $1,3 < FS < 1,5$ | 35 |
| | Volume armazenado | Próximo a 6,2 milhões m ³ | 6 |
| | Verificação da água infiltrada no talude | Nenhum vazamento verificado | 2 |
| | Sistema de drenagem superficial | Em boas condições | 5 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Problemas verificados no corpo da barragem | Erosão e deterioração dos taludes | 4 |
| | TOTAL | | |
| Hidrológico | Vazão de projeto dos vertedouros | <500 anos ou desconhecido | 55 |
| | Sistema alternativo de descarga das vazões | nenhum | 30 |
| | Sistema de drenagem superficial | Em boas condições | 5 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 35 |
| | Proteção do talude de jusante | Vegetação | 5 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento | 15 |
| | Configuração do depósito | Em vale | 10 |
| | Fator de segurança para falha no sistema de drenagem | $FS < 1,3$ | 50 |
| | Volume armazenado | Próximo a 6,2 milhões m ³ | 6 |
| | Área do reservatório | 321000 (0,5 a 1 km ²) | 4 |
| | TOTAL | | |

(Continua)

(Continuação)

| | | | |
|------------------------------|--|--|----|
| Sísmico | Nível de vibração causado pelo plano de fogo | Não realiza monitoramento | 10 |
| | Sismicidade da região (casos históricos) | Médio | 10 |
| | Problemas verificados no corpo da barragem | Erosão e deterioração dos taludes | 10 |
| | Fator de segurança para eventos sísmicos | FS<1,3 | 80 |
| | Posição do lançamento de rejeitos e tipo de descarga | Único ponto, de montante para jusante | 60 |
| | Monitoramento da linha piezométrica do talude | Existe monitoramento | 20 |
| | Sistema de drenagem interna | Em todos alteamentos | 5 |
| | Existência de estradas e/ou ferrovias próximas | Sim | 10 |
| | TOTAL | | |
| Operação e manutenção | Plano de ação emergencial | Possui | 1 |
| | Documentação de projeto | Não há projeto | 20 |
| | Manuais e procedimentos para inspeção de segurança | Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento | 5 |
| | Cópias dos PAEs entregues aos órgãos competentes | Sim | 2 |
| | Relatórios de inspeção e Análise de segurança | Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento | 10 |
| | Infrações cometidas | Advertência aplicada nos últimos 5 anos | 2 |
| | TOTAL | | |

Fonte: Do autor (2021).