



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO
PRETO ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

SAMUEL SILVA OLIVEIRA

**OURO PRETO
2023**

SAMUEL SILVA OLIVEIRA

BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Trabalho de conclusão de curso submetido à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Prof. Tatiana Barreto dos Santos

OURO PRETO
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O482b Oliveira, Samuel Silva.
Barragens de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. [manuscrito] /
Samuel Silva Oliveira. - 2023.
72 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Barreto dos Santos.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e mineração. 2. Barragens de rejeitos - Alçamento. 3.
Barragens e açudes - Segurança. I. Santos, Tatiana Barreto dos. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.136

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Samuel Silva Oliveira

Barragens de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 23 de março de 2023

Membros da banca

Dra. Tatiana Barreto dos Santos - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Rita de Cássia Pedrosa Santos - Universidade Federal de Ouro Preto
De. José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto

Tatiana Barreto dos Santos, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Barreto dos Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/04/2023, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0503322** e o código CRC **0D273F63**.

Palavras são, na minha nada humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia. Capazes de formar grandes sofrimentos e também de remediá-los.

Alvo Dumbledore

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais pelo amor e apoio ao longo da minha jornada acadêmica. Seu encorajamento constante e motivação foram a força motriz por trás do meu sucesso. Sou realmente grato por todos os sacrifícios que fizeram por mim e por terem me ensinado os valores do trabalho duro e dedicação.

Também gostaria de agradecer aos meus avós pelo amor, orientação e fé em mim. Seu apoio e confiança têm sido uma fonte de inspiração e motivação sempre. Amo vocês.

Aos meus tios, tias e primos, obrigado por estarem presentes para mim e pelo apoio de sempre.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante essa jornada. O apoio nos piores momentos e a presença nos melhores foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Brazil - APQ00501-21) pelo suporte na elaboração deste trabalho.

Agradeço a UFOP e a Escola de Minas pelas oportunidades durante o percurso.

Os professores que sempre deram o máximo para passar os ensinamentos, nunca medindo esforços para repassar o bom conteúdo e sempre presentes quando necessário.

À República Área 51, que por duas vezes me acolheu como um dos seus e se tornou minha casa, me dando uma nova família. A ÁREA É LENDA, É COISA DE OUTRO MUNDO!

À República Mexicanas, meu porto seguro, que me deu forças para seguir em meu pior momento, ali achei amor e carinho. ENCONTREI A MP COMO LAR!

À República Drosófila que fez meu último ano de Ouro Preto o melhor de todos, RATAZANAS!

Às repúblicas Artigo 5º, Barraca Armada, Minas Novas, MM's, Província e Taberna pelos rocks e amizades que levarei comigo.

RESUMO

Nos últimos anos no Quadrilátero Ferrífero, ocorreram duas expressivas rupturas de barragens. A ruptura da barragem de Fundão (Samarco) em 2015 e a ruptura da barragem de Brumadinho (Vale) em 2019, causando danos ambientais, sociais e perda de vidas. Das 923 barragens atualmente cadastradas pela Agência Nacional de Mineração do Brasil, o estado de Minas Gerais possui 354 barragens. Destas, 43 possuem algum nível de alerta ou emergência. O Plano de Ação e Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM) tem por objetivo garantir uma maior efetividade nas ações a serem tomadas em caso de potenciais situações de emergência em uma barragem, sempre objetivando minimizar danos e perdas de vida. O presente trabalho visa analisar e definir o cenário ao qual o Quadrilátero Ferrífero, localizado no Estado de Minas Gerais, se encontra em relação às barragens de rejeito de minério de ferro existentes através de correlações das variáveis pelo método de Pearson e Spearman para responder aos questionamentos pertinentes levantados no processo de construção do mesmo.

Palavras-chave: PAEBM; Dano Potencial Associado; Pearson; Spearman; ANM; Alçamento.

ABSTRACT

In recent years in the Quadrilátero Ferrífero, two significant dam ruptures have occurred. The rupture of Fundão dam (Samarco) in 2015 and the rupture of the Brumadinho dam (Vale) in 2019, causing environmental, social damages and loss of lives. Of the 923 dams currently registered by the Brazilian National Mining Agency, the state of Minas Gerais has 354 dams. Of these, 43 have some level of alert or emergency. The Mining Dam Action and Emergency Plan (PAEBM) aims to guarantee greater effectiveness in the actions to be taken in case of potential emergency situations in a dam, always aiming to minimize damage and loss of life. This work aims to analyze and define the scenario in which the Quadrilátero Ferrífero, located in the state of Minas Gerais, is in relation to existing iron ore tailings dams through correlations of variables using the Pearson and Spearman methods to answer the relevant questions raised in the construction process.

Keywords: PAEBM; Associated Potential Damage; Pearson; Spearman; ANM; Dam Raising"

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VISTA AÉREA APÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM EM BRUMADINHO	14
FIGURA 2: VISTA AÉREA APÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM SAMARCO	15
FIGURA 3: VISTA AÉREA DA BARRAGEM CASA DE PEDRA EM CONGONHAS-MG	16
FIGURA 4: COMPONENTES DE UMA BARRAGEM	17
FIGURA 5: ESQUEMA ILUSTRATIVO DO MÉTODO DE ALTEAMENTO A MONTANTE	18
FIGURA 6:ESQUEMA ILUSTRATIVO DO MÉTODO DE ALTEAMENTO A JUSANTE	19
FIGURA 7: ESQUEMA ILUSTRATIVO DO MÉTODO DE ALTEAMENTO DE LINHA DE CENTRO	20
FIGURA 8: MAPA DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO NO BRASIL EM 2023	21
FIGURA 9: MAPA DE DELIMITAÇÃO DA ZONA DE AUTOSSALVAMENTO (ZAS) DA BARRAGEM FORQUILHA V	26
FIGURA 10: ESQUEMA DO FLUXO DE NOTIFICAÇÃO PARA NÍVEL DE EMERGÊNCIA 3.....	28
FIGURA 11: FLUXOGRAMA DE CONSTRUÇÃO DO TRABALHO.....	35
FIGURA 12: GRÁFICOS DO DANO POTENCIAL ASSOCIADO DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	43
FIGURA 13: GRÁFICOS DE FREQUÊNCIA DAS EMPRESAS RESPONSÁVEIS POR BARRAGENS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	44
FIGURA 14: GRÁFICOS DO MÉTODO CONSTRUTIVO DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	44
FIGURA 15: GRÁFICOS DA CLASSE DE RISCO DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.	45
FIGURA 16: GRÁFICOS DO TEMPO DE CHEGADA DA ONDA DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	45
FIGURA 17: GRÁFICOS DO NÍVEL DE EMERGÊNCIA DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	46
FIGURA 18: HISTOGRAMA DAS ALTURAS DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	47
FIGURA 19: HISTOGRAMA DOS COMPRIMENTOS DAS CRISTAS DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	47
FIGURA 20: HISTOGRAMA DOS VOLUMES DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	48
FIGURA 21: HISTOGRAMA DAS EXTENSÕES DE MANCHA DE INUNDAÇÃO DAS BARRAGENS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	48
FIGURA 22: MATRIZ DA CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS	49
FIGURA 23: MATRIZ DA CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESCALA DE FORÇA DE DEPENDÊNCIA SEGUNDO COHEN (1988).....	33
TABELA 2: TABELA DE CÓDIGOS PARA A VARIÁVEL DE DANO POTENCIAL ASSOCIADO	38
TABELA 3: TABELA DE CÓDIGOS PARA A VARIÁVEL DE CLASSE DE RISCO.....	38
TABELA 4: TABELA DE CÓDIGOS PARA A VARIÁVEL DE TEMPO DE CHEGADA DA ONDA	38
TABELA 5: TABELA DE CÓDIGOS PARA A VARIÁVEL DE MÉTODO CONSTRUTIVO.....	39
TABELA 6: TABELA DE CÓDIGOS PARA A VARIÁVEL NÍVEL DE EMERGÊNCIA	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 BARRAGEM DE REJEITO	15
4.2 MÉTODOS CONSTRUTIVOS	17
4.2.1 ALTEAMENTO A MONTANTE.....	17
4.2.2 ALTEAMENTO A JUSANTE.....	18
4.2.3 LINHA DE CENTRO	19
4.3 POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	20
4.3.1 CADASTRO NACIONAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO.....	20
4.3.2 CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS QUANTO A CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO	22
4.3.3 NÍVEL DE EMERGÊNCIA.....	22
4.4 PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO	23
4.5 ANÁLISE DESCRITIVA.....	29
4.5.1 TIPOS DE VARIÁVEIS	29
4.5.2 TENDÊNCIA CENTRAL PARA VARIÁVEL QUALITATIVA E QUANTITATIVA	29
4.5.3 MEDIDAS DE DISPERSÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA	31
4.6 ANÁLISE BIVARIADA	32
4.6.1 COVARIÂNCIA	32
4.6.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1 O BANCO DE DADOS	34
5.2 METODOLOGIA.....	35
5.2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO TEMA.....	35
5.2.2 COLETA DE INFORMAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS...36	
5.2.3 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS	36
5.2.4 CODIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	37
5.2.5 ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS.....	39
5.2.6 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	39
5.2.7EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES RELEVANTES	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6.1 ANÁLISE DESCRITIVA QUALITATIVA.....	41
6.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	48
6.3EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES RELEVANTES	51
7 CONCLUSÃO.....	55

1. INTRODUÇÃO

Uma barragem de rejeitos é uma estrutura utilizada pelas mineradoras para armazenar os resíduos gerados durante o beneficiamento mineral. O rejeito é um material que não possui valor viável para ser comercializado, ou seja, o custo de seu beneficiamento é maior que o lucro obtido pelo processo.

Essas estruturas geotécnicas são feitas de terra e têm a função de armazenar esse material. No interior, há uma separação em que a parte sólida se deposita no fundo, enquanto a água permanece na superfície para ser drenada, tratada e, possivelmente, reutilizada durante o processo de lavra.

No passado, esse tipo de resíduo era tratado mantendo os custos de logística tão baixos quanto possível. Esse tipo de disposição de rejeitos, aliado à falta de controles e fiscalizações, resultou em vários desastres ao longo dos anos. Como exemplo, tem-se as rupturas de Fundão que ocorreu em 2015 e Brumadinho que ocorreu em 2019, causando danos ambientais, sociais e perda de vidas. Como resultado, a preocupação com a estabilidade dessas estruturas aumentou. A avaliação das características geotécnicas e monitoramentos dessas estruturas passaram a ser realizados frequentemente. Simulações e treinamento das populações que possam ser impactadas e dos trabalhadores do empreendimento minerário acontecem regularmente, a fim de se obter, em caso de ruptura, o menor dano possível à vida e a menor perda de materiais e ativos em caso de ocorrência de ruptura.

Das 923 barragens atualmente cadastradas pela Agência Nacional de Mineração do Brasil, o estado de Minas Gerais possui 354 barragens. Destas, 43 possuem algum nível de alerta ou emergência (ANM,2022), colocando o estado como protagonista em passivos ambientais. Segundo o ambientalista Gustavo Gazzinelli (UFMG,2016), há muita mineração em pouco espaço territorial e existe a necessidade de se reduzir essa atividade minerária ao invés de aumentar, uma vez que os limites de recursos hídricos e suportabilidade do território já foram ultrapassados.

O Plano de Ação e Emergência de Barragens de Mineração (PAEBM) tem por objetivo garantir uma maior efetividade nas ações a serem tomadas em caso de potenciais situações de emergência em uma barragem, sempre objetivando minimizar danos e perdas de vida. Barragens com Dano Potencial Associado (DPA) alto obrigatoriamente devem possuir um PAEBM. Barragens com DPA médio, quando

possuírem outras características dentro de uma lista de critérios, também devem possuir um PAEBM.

Diante disso, este trabalho de conclusão de curso apresenta uma análise acerca das barragens de minério de ferro inseridas no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, trazendo comparações e correlações entre variáveis importantes dentro do cenário de segurança de barragens, para posteriormente ser possível estabelecer e prover informações úteis sobre o panorama real em que se encontram essas estruturas.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

Analisar e definir o cenário ao qual o Quadrilátero Ferrífero, se encontra em relação às barragens de rejeito de minério de ferro existentes nesta mesma região.

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos deverão ser logrados:

- Construir um banco de dados das barragens de minério de ferro localizadas no Quadrilátero Ferrífero com as seguintes variáveis: método construtivo, dano potencial associado, classe de risco, dimensões da estrutura, volume de reservatório, população das zonas de auto salvamento, extensão da mancha, entre outros;
- Realizar análise descritiva das variáveis do banco de dados.;
- Avaliar se há correlação entre as variáveis;
- Encontrar informação útil através dos resultados encontrados e sobre a eficácia do controle da ANM para se estabelecer o cenário das barragens de mineração do Quadrilátero Ferrífero.

3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Nos últimos anos, Quadrilátero Ferrífero, ocorreram duas expressivas rupturas de barragens. A ruptura da barragem de Fundão (Samarco) ocorreu em 2015 e a ruptura da barragem de Brumadinho (Vale) ocorreu em 2019, causando danos ambientais, sociais e perda de vidas. No caso da Ruptura em Brumadinho, a lama de rejeito percorreu mais de 300 km e atingiu aproximadamente 945 mil pessoas em 18 municípios, vitimando fatalmente centenas de pessoas e deixando mais de 600 mil pessoas com problema de acesso à água (ANDES, 2022). A Figura 1 apresenta a vista aérea da lama proveniente da barragem de Brumadinho onde é possível analisar o impacto nas cidades á jusante da estrutura.

Figura 1: Vista Aérea após rompimento da barragem em Brumadinho



Fonte: Correio Braziliense

Segundo o IBAMA (2020), a ruptura da barragem de Fundão foi o maior desastre socioambiental da mineração de todos os tempos no Brasil. Foram lançados aproximadamente 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos que percorreram 663,2 km de cursos d'água, destruindo 1469 hectares, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APPs). A figura 2 mostra o distrito de Bento Rodrigues, que se localizava à jusante da barragem de Fundão.

Figura 2: Vista aérea após rompimento da barragem Samarco



Fonte : EcoDebate

Diante disso, a elaboração deste trabalho visa compreender o cenário ao qual o Quadrilátero Ferrífero, localizado no Estado de Minas Gerais se encontra em relação às barragens de rejeito de minério de ferro existentes. Além disso, visa compreender como o PAEBM atua como um sistema preventivo de acidentes com barragens a fim de que se evite desastres como os mencionados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. BARRAGEM DE REJEITO

Geralmente construídas em um curso permanente ou temporário de água, em cavas exauridas com diques ou em talvegues, utilizando os rejeitos das próprias atividades das minas, as barragens de mineração são estruturas com finalidade de conter substâncias ou misturas de líquidos e sólidos provenientes do beneficiamento dos minérios (BRASIL,2020). A figura 3 apresenta a vista panorâmica da barragem Casa de Pedra em Congonhas, localizada bem próxima à cidade e com atual volume de rejeitos próximos a 21 milhões de metros cúbicos(CORREIO BRAZILIENSE,2019).

Figura 3: Vista aérea da barragem Casa de Pedra em Congonhas-MG



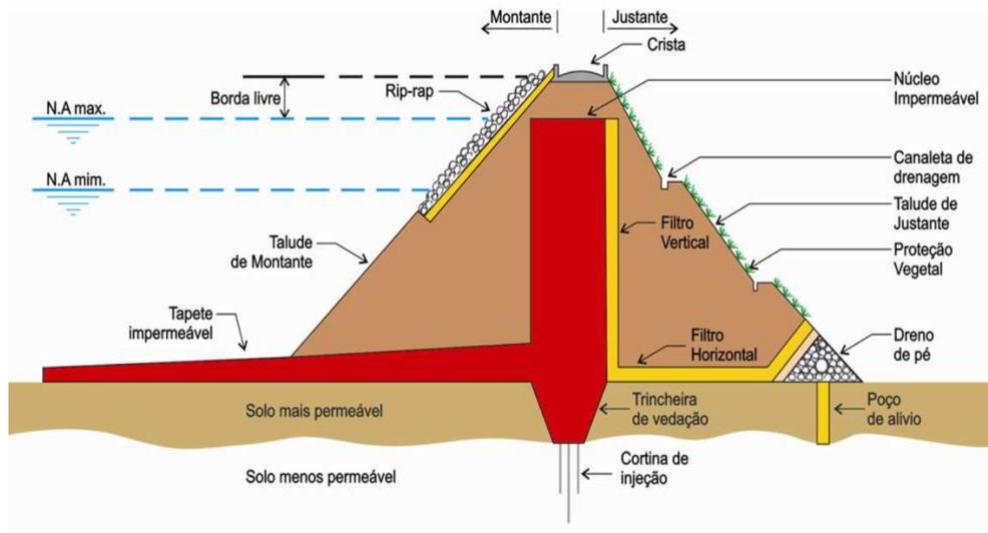
Fonte: G1 Globo

A Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002 (COPAM,2002), define que uma barragem é qualquer estrutura de contenção para formar um reservatório de água ou para conter rejeitos ou resíduos resultantes do processo de beneficiamento do minério. Deste modo, a barragem de rejeitos é uma estrutura com objetivo de conter e reter sólidos e/ou líquidos gerados pelas operações de usinas em minas e indústrias.

Existem muitas variações nos processos que envolvem o tratamento de minério, desde sua remoção na frente de lavra até seu beneficiamento nas usinas, gerando assim, grande variabilidade em seus rejeitos, refletindo nas grandes deficiências das especificações técnicas que existem na fase de concepção e construção de uma barragem com um baixo controle geotécnico nos processos de disposição desses rejeitos.

As barragens de rejeitos são geralmente construídas em etapas durante a fase de operação da mina, enquanto barragens convencionais são construídas em etapas prévias a fase de operação. Dentre as características componentes de uma barragem, destacam-se as ombreiras, fundação, drenos, estruturas extravasoras, zonas a jusante e montante da estrutura e o reservatório, ver figura 4.

Figura 4: Componentes de uma barragem



Fonte: PUC Goiás

Cruz (2004) afirma que a barragem de rejeito é uma estrutura criada de modo a armazenar todo resíduo proveniente da atividade minerária. A partir do dique de partida, ocorre o armazenamento dos rejeitos e a formação do depósito com uma zona denominada praia e outra zona denominada lagoa de decantação.

4.2. MÉTODOS CONSTRUTIVOS

4.2.1. ALTEAMENTO A MONTANTE

O método mais antigo para construções de barragens, menos oneroso, mais rápido e simples para ser finalizado é o método de alteamento a montante. O processo deste tipo de alteamento se inicia com o levantamento de um dique inicial de partida, podendo ser feito de um enrocamento compactado ou algum material argiloso. Após essa etapa, rejeitos são lançados hidráulmente por meio de canhões ou hidrociclones a partir do dique de partida para montante da linha de simetria deste dique inicial, o material origina a praia de deposição, que servirá de fundação e providenciará material para que os próximos alteamentos ocorram. O processo se repete em um ciclo até que como previsto no projeto inicial da estrutura, se atinja o limite da cota de alteamento (Araújo,2006). A construção dessas estruturas visa a diluição dos custos a longo prazo durante o processo da extração dos minérios, isso ocorre por meio de alteamentos sucessivos, ver figura 5.

Na contramão do baixo custo e rapidez no alteamento, tem-se uma menor segurança neste método, dada a alta capacidade de liquefação da massa de rejeitos saturada, pela linha freática ser muito próxima ao talude que se encontra à jusante e pela dificuldade de implantação de um sistema de drenagem eficiente (FILHO e ABRÃO,2015). O fenômeno mais provável de ocorrer é o *piping*, este fenômeno se caracteriza pela passagem de água por certas regiões do talude, aparecendo à montante da estrutura e enfraquecendo-a (Thomé & Passini, 2018).

Controlar o nível de água do reservatório por sistemas de drenagem, considerando o regime de chuvas, descartar o método de alteamento em regiões de intensa vibração como zona de limites de placas tectônicas ou de alto uso de explosivos, evitar a erosão dos taludes a jusante pelas chuvas adotando o uso de canaletas e caixas de passagem e usar cobertura vegetal são alguns dos meios elencados por Soares (2010) para evitar riscos nas estruturas.

Figura 5: Esquema ilustrativo do método de alteamento a montante



Fonte: Araújo, 2006

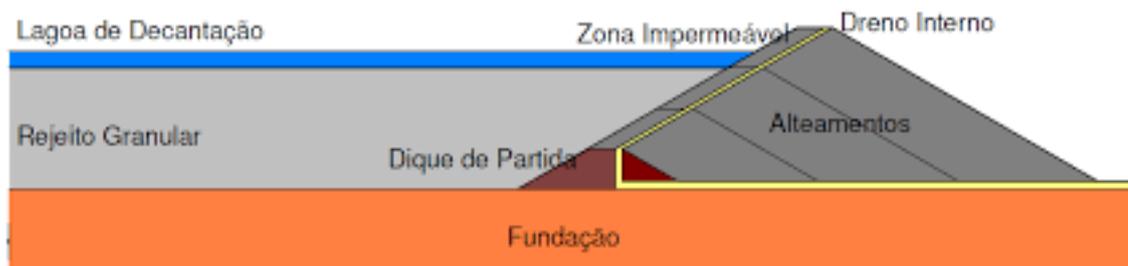
4.2.2. ALTEAMENTO A JUSANTE

Assim chamado uma vez que os alteamentos no eixo da barragem se deslocam à jusante da estrutura, neste método faz-se necessário que haja um dique de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante) e também que o talude de montante seja impermeabilizado utilizando argila e materiais sintéticos. O controle de lançamento e compactação dos rejeitos, seguindo as regras convencionais de construção, é uma vantagem do método citada por Klohn (1981). Deste modo, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a construção da barragem e ainda podem ser prolongados à medida que os alteamentos sucessivos ocorrem, e nenhum alteamento

ocorre acima do rejeito previamente depositado, garantindo melhor segurança, ver figura 6.

Como o projeto ocorre por alteamentos seguidos, a barragem pode sempre manter a resistência necessária ou desejada, podendo ter resistência a atividades sísmicas, desde que projetadas para tal, uma vez que há possibilidade de atendimento total das especificações de projeto. É considerado o método mais seguro, com menor probabilidade de ruptura, já que sua forma independe do rejeito e sua base consiste em uma área a jusante do dique de partida, reduzindo os riscos de liquefação. No quesito custo, este método se caracteriza por ser mais oneroso, uma vez que mais volume de material para construção é necessário, uma maior área é ocupada para contenção de rejeito e existe alto custo associado ao processo de ciclonagem de material (Campos, 1986).

Figura 6:Esquema ilustrativo do método de alteamento a jusante



Fonte: Araújo, 2006

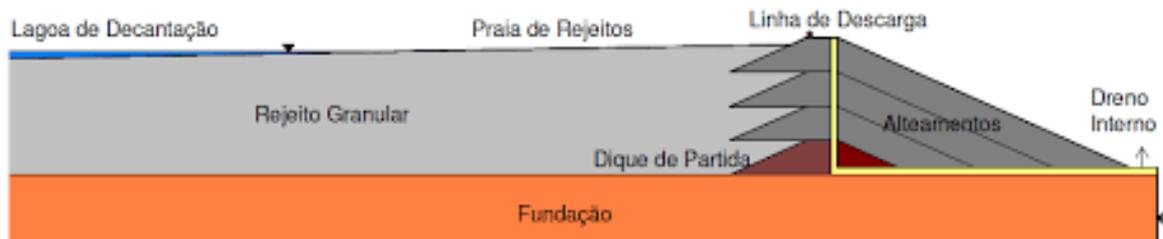
4.2.3. LINHA DE CENTRO

O método de linha de centro ocorre ponderando a segurança da estrutura do método jusante com os custos e velocidade do método de montante. Com a finalidade de manter o alinhamento do eixo em relação ao dique inicial, as construções ocorrem de forma intercalada sobre a praia formada pela deposição dos rejeitos e sobre o talude a jusante do alteamento anterior. Campos (1986) afirma que o método possui como desvantagem a difícil implantação de sistema de drenagem, possibilitando a ocorrência de fissuras no corpo estrutura levando a uma possível ruptura, ver figura 7.

Em relação ao método de jusante, não há necessidade de grande volume de material compactado para construir o corpo da barragem, porém esse método apresenta

ângulos muito inclinados na face montante. Erosão e aumento de poropressão são problemas causados pela erosão quando a parte superior do talude perde eventualmente o confinamento (TRANCOSO,1997 e ARAUJO,2006).

Figura 7: Esquema ilustrativo do método de alteamento de linha de centro



Fonte: Araújo, 2006

4.3. POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

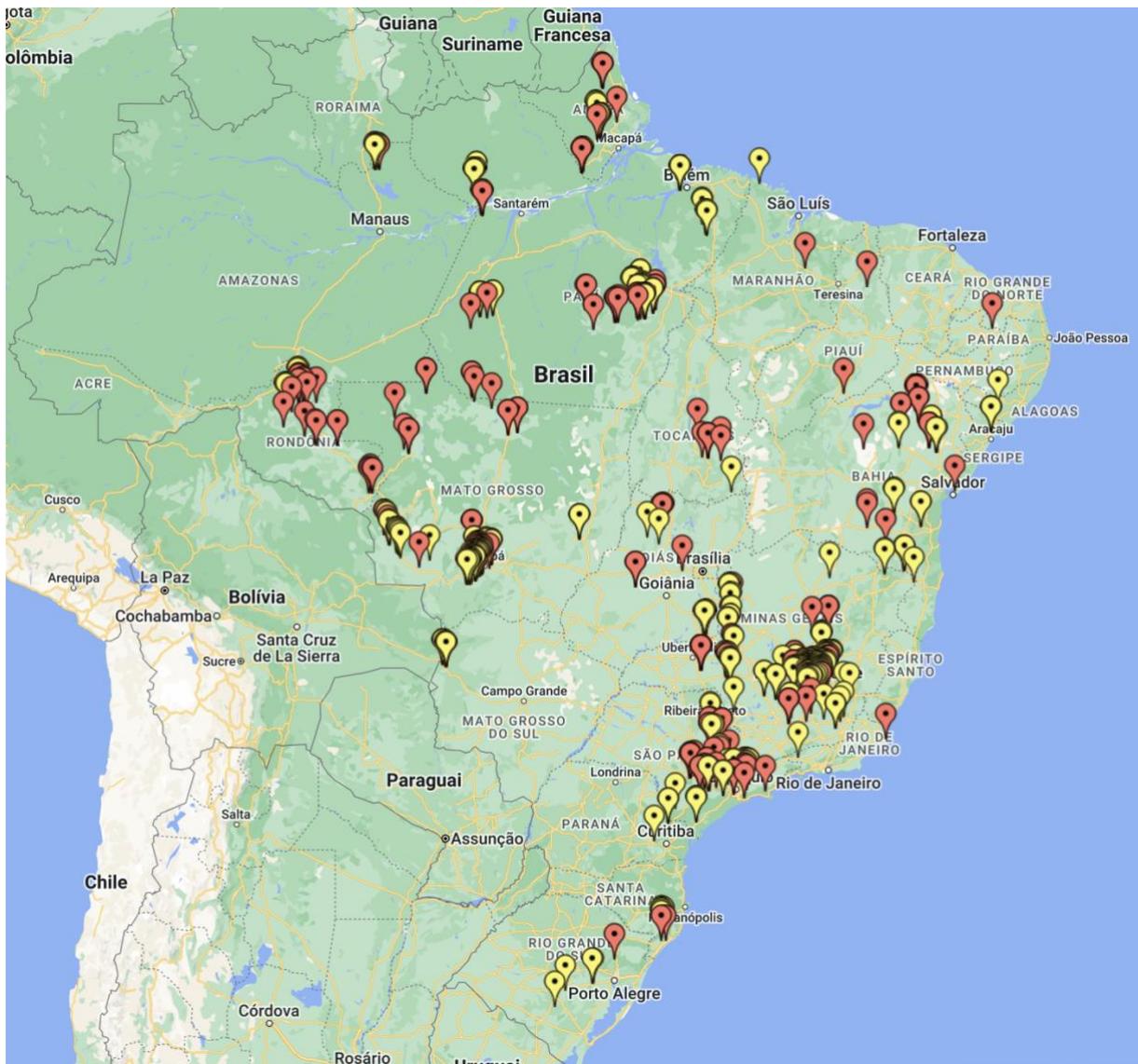
A Lei 12.344 de 20 de Setembro de 2010 (BRASIL, 2010) instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), destinada à disposição final ou por tempo indefinido de rejeitos, à acumulação de resíduos industriais e à acumulação de água para usos diversos, desde que possuam pelo menos uma das características à seguir: capacidade do reservatório maior ou igual a três milhões de metros cúbicos; conter resíduos perigosos conforme as normas técnicas definem; possuir altura da estrutura maior ou igual a quinze metros, contando do ponto mais baixo da fundação; ou categoria de Dano Potencial Associado (DPA) médio ou alto em termos sociais, econômicos, materiais ou perda de vidas humanas (BRASIL,2010).

4.3.1. CADASTRO NACIONAL DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, em seus artigos 16º e 17º, dispõe sobre as obrigações das empresas e das autoridades fiscalizadoras. Uma das atribuições das autoridades competentes é manter o cadastro das barragens no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), sistema que tem como função coletar, armazenar, processar, gerenciar e disponibilizar à sociedade informações relacionadas à segurança das barragens em todo o país (BRASIL, 2010).

O Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM) é administrado pela Agência Nacional de Mineração (ANM) por meio do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), que permite o acompanhamento remoto das informações que os empreendedores tem a responsabilidade de cadastrar e atualizar. O sistema permite obter uma visão geral em tempo real do desenvolvimento das estruturas de armazenamento de sedimentos e rejeitos de mineração em todo o país. No início de 2023, o SIGBM tem 927 barragens de mineração cadastradas, das quais 460 (49,62%) estavam incluídas na PNSB, conforme apresentado na figura 8.

Figura 8: Mapa das barragens de mineração no Brasil em 2023



Fonte: ANM,2023

4.3.2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS QUANTO A CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

As barragens brasileiras que estão inseridas na PNSB são classificadas quanto a categoria de risco e ao seu dano potencial. As barragens são categorizadas quanto ao Risco (CRI) em três grupos, a saber: alto, médio e baixo. A categorização leva em consideração fatores relacionados às características técnicas da barragem, a sua conservação e ao atendimento ao Plano de Segurança de Barragem (PSB) (ANM,2022). O Dano Potencial Associado (DPA) de uma barragem pode ser alto, médio ou baixo. A classificação do dano considera o impacto caso ocorra rompimento, vazamentos, percolação nos solos ou funcionamento indevido da barragem. A classificação é definida por quatro variáveis: existência de população a jusante da barragem, impacto ambiental, impacto socioeconômico e o volume do reservatório. O DPA tende a medir o potencial de perdas de vidas, impactos ambientais, econômicos e sociais que o rompimento de uma barragem pode ocasionar sem levar em conta a probabilidade do evento ocorrer (ANM,2022).

A classe de risco é representada pela união entre a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA), essa classe servirá para especificar cada estrutura em relação a sua abrangência e qual será a constância das ações de segurança a serem tomadas (ANM,2019). Segundo definição da Portaria N° 70.389 da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2017), as barragens são enquadradas em 5 classes, sendo elas: A, B, C, D e E, sendo o grau de criticidade A o mais alto, descendo gradativamente até o grau E, mais baixo.

4.3.3. NÍVEL DE EMERGÊNCIA

Sempre que declarada uma situação de emergência em uma estrutura, gera-se uma classificação por níveis de emergência, que deve ser anunciada por responsabilidade do empreendedor. Esta tem por objetivo graduar as situações de emergência em potencial, as quais comprometem a segurança da barragem. A Resolução N° 95 de 7 de Fevereiro de 2022 (ANM, 2022) classifica a emergência em três diferentes níveis: I, II, III. Sendo I o mais baixo e III o mais alto.

O Nível de emergência I é definido quando a CRI é Alta; ou quando o Fator de Segurança (FS) da estrutura, em condição drenada, está entre 1,3 e 1,5; ou quando o FS

da estrutura, em condição não drenada, está entre 1,2 e 1,3. O Nível de emergência II é definido quando a anomalia que elevou a estrutura ao Nível I não for controlada ou extinta; ou quando o FS da estrutura, em condição drenada, está entre 1,1 e 1,3; ou o FS em condição não drenada está entre 1,0 e 1,2. O Nível de emergência III é definido quando a ruptura é inevitável ou já está acontecendo; ou o FS da estrutura, em condição drenada, está entre 1,0 e 1,1; ou o FS em condição não drenada é menor que 1,0.

4.4. PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO

O Plano de Ação de Emergência para Barragem de Mineração (PAEBM) é obrigatório aos empreendedores que se enquadrarem nos pré-requisitos da Lei 12.334 de 12 de Setembro de 2010 (BRASIL, 2010), a saber, 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; categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas; categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

O PAEBM caracteriza-se por ser um documento técnico, com força legal, de fácil entendimento, que apresenta todos os dados da barragem publicamente.

Neste documento devem ser identificadas as situações de emergência e anomalias que uma barragem pode apresentar, bem como todas as ações que devem ser tomadas caso uma anomalia seja detectada. O documento ainda apresenta um fluxo de notificação de agentes internos e externos para cada nível de emergência que possa ser identificado. O PAEBM tem a principal função de definir ações para mitigar os impactos à jusante da estrutura, sejam eles, perda de vida humana e de animais, impactos às propriedades e às comunidades (NEVES, 2018).

Ele contém um conjunto sistematizado de ações a serem tomadas para cada nível de emergência, atribuindo responsáveis para cada ação em caso de ruptura iminente de barragem. Ainda no conteúdo do documento, todos os procedimentos de segurança estão previstos, desde o planejamento até a desativação da estrutura, caso necessário, para que se evite maiores danos à população atingida em caso de rompimento (DNPM,2017).

Existem requisitos básicos que devem estar presentes no documento PAEBM, são eles:

-Empreendedor da barragem: é a pessoa ou agente governamental que explora a barragem para seu benefício ou em benefício da coletividade. Em caso de situação de emergência, ele é o responsável por declarar a atual situação e executar os procedimentos previstos no Plano. O empreendedor deve seguir o fluxo de notificação dos agentes internos e externos, bem como os fluxogramas de ação; notificar a defesa civil estadual, federal e municipal, as prefeituras dos municípios abrangidos na mancha de inundação; os órgãos ambientais; e ao fim do ocorrido, emitir a declaração de encerramento da emergência conforme o modelo emitido pela Portaria 70.389, de 17 de Maio de 2017 (BRASIL,2017).

-Coordenador do PAEBM: a este é demandada a responsabilidade dos equipamentos, materiais e mão-de-obra necessários nas ações preventivas, corretivas ou emergenciais. O coordenador deve ter todo o treinamento e capacitação para exercer essas atividades, além de conhecer plenamente todo o Plano de Ação. É de sua responsabilidade comunicar o empreendedor sobre a situação de emergência, seguido de sua classificação e nível.

-Agentes internos: estes são os responsáveis designados para atuar em situações emergenciais. Dentre os agentes estão: geotecnia, operação e manutenção, jurídico, meio ambiente, segurança, comunicação e recursos humanos.

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelece a responsabilidade por fiscalizar as barragens de rejeitos de mineração Agência Nacional de Mineração (ANM) e ao Ministério de Minas e Energia. O artigo 9º da Lei 12.334 de 20 de Setembro de 2010 (BRASIL,2010) destaca a periodicidade nas inspeções de segurança regular, a qualificação de toda a equipe responsável, o nível de detalhamento técnico esperado no documento quanto à categoria de risco e o dano potencial associado da estrutura. A ANM determina que uma situação de emergência é iniciada quando se observa uma característica que comprometa a segurança da barragem a qualquer momento, caso seja observado um mau funcionamento em dispositivos que possam causar inundação na área a jusante da barragem ou que haja alguma anomalia na matriz de estado de conservação referente à categoria de risco de barragem que seja maior ou igual a 10 pontos.

A Zona de Autossalvamento (ZAS) deve ser determinada no documento PAEBM. A Portaria 70.389 de 17 de Maio de 2017 (BRASIL,2017) a define como a região a jusante da barragem onde não se considera ter tempo suficiente para que as

autoridades intervenham em caso de ruptura da estrutura. Nesta área, o empreendedor é o responsável por informar essa situação a todos os habitantes para que se minimize as perdas de vidas. O empreendedor é o único e exclusivo responsável por essa medida (NEVES,2018). A Portaria ainda define o limite da zona de autossalvamento como o critério que seja atingido primeiro, 10 quilômetros de extensão da mancha ou a área atingida no tempo de 30 minutos, conforme figura 9.

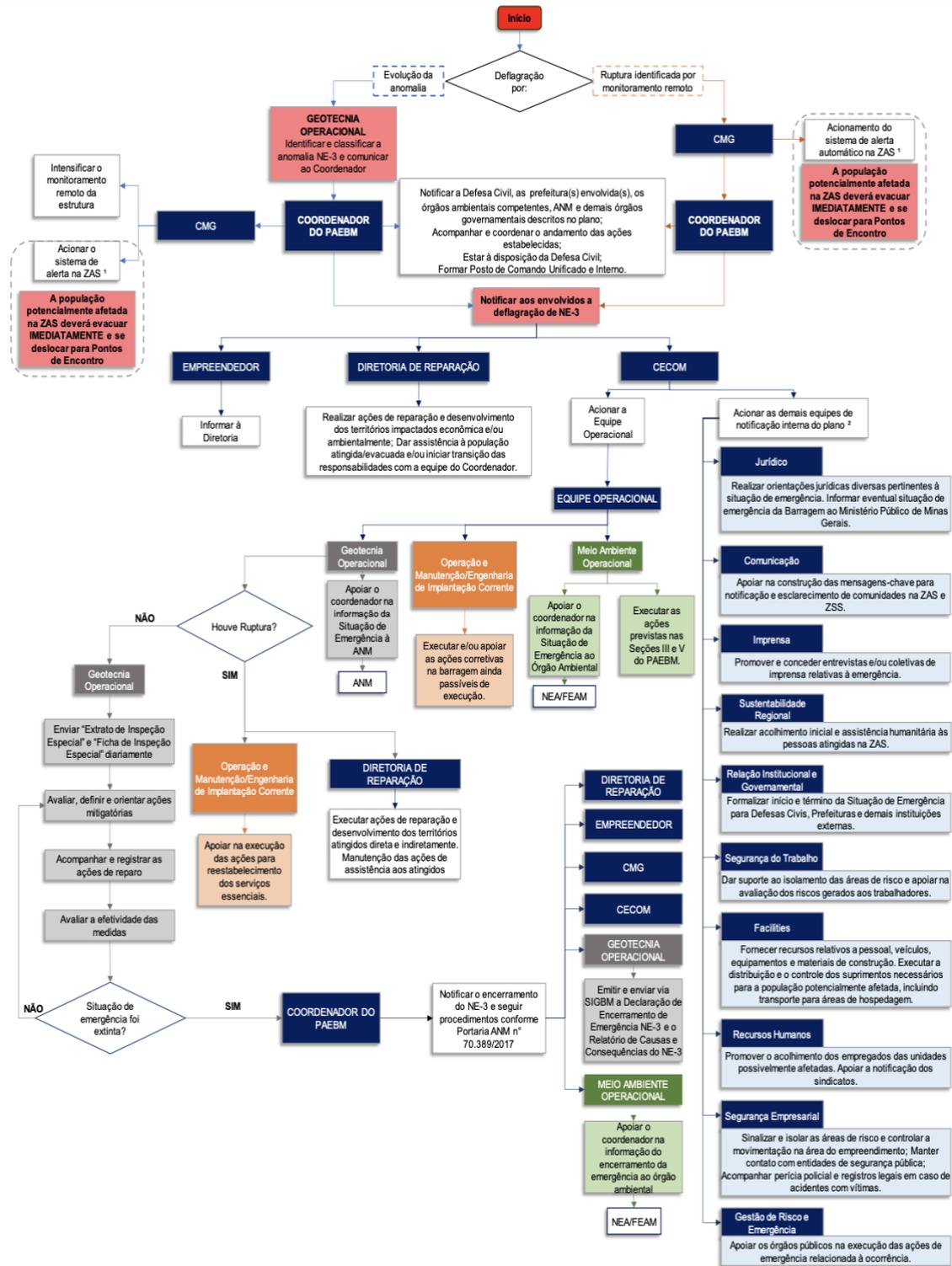
Dentro de uma mancha de inundação de uma barragem, tem-se duas áreas: a Zona de Autossalvamento (ZAS) e a Zona Secundária de Salvamento (ZSS), delimitada após 10 km de extensão da mancha ou após a área atingida no tempo de 30 minutos. Nesta área, existe tempo de ação dos agentes competentes para atuarem nos procedimentos de salvamento próprios e de terceiros, como as populações contempladas nesta área. Pontos de encontro são previamente definidos e sinalizados dentro das minas e cidades. Esses pontos são locais seguros fora da área de risco para onde todos devem se dirigir o mais rápido possível ao ser anunciada uma emergência. Simulados de rompimento de barragens devem ocorrer periodicamente com a finalidade de promover a capacitação necessária de ação em situações reais. A partir dos simulados se avalia a eficácia dos planos de emergência e se traçam novas estratégias.

O fluxograma de notificação proposto por Lima (2016) define uma forma hierárquica de notificação, resumindo os procedimentos a serem executados em cada condição emergencial. O fluxograma deverá contar com o responsável a ser comunicado seguido de suas ações de intervenção, não deixando de ser interpretado facilmente, com linguagem clara e objetiva a modo de facilitar a comunicação interna e externa para todos os componentes do fluxo. No desenrolar do fluxograma é esperado que se considere as peculiaridades de cada barragem, localidades, dentre outros requisitos que possam contribuir para notificar os responsáveis e alertar a população que está na zona de risco.

As notificações se iniciam por telefone. Caso o contato não se conclua, é recomendado que se faça a ligação para o suplente do responsável e em último caso deixar um recado para o responsável entrar em contato com o empreendedor o mais rápido possível. Após o contato, os notificados devem se dirigir à barragem no menor tempo possível para avaliar a situação. A figura 10 mostra detalhadamente o esquema do fluxo de notificação para uma emergência de nível III.

A ANM deverá avaliar as causas da ruptura ou levantar as ações a serem seguidas para que não haja avanço no estágio atual, caso seja uma ruptura em potencial. Os corpos de bombeiros e defesas civis municipais auxiliarão a população à jusante da barragem e avaliarão a necessidade de se acionar as esferas estaduais e nacionais.

Figura 10: Esquema do fluxo de notificação para nível de emergência 3



Fonte: Vale

O documento completo do PAEBM é dividido por seções, e todo documento deve

obrigatoriamente conter:

-Estudo de inundação: este estudo prevê cenários em eventuais rupturas de barragens. Os métodos de cada estudo são apresentados de forma explícita dentro do PAEBM.

- Mapas de inundações: estes mapas advêm dos estudos de inundação, onde são georreferenciadas as áreas impactadas juntamente com os possíveis cenários associados. Estes mapas possibilitam uma evacuação eficiente caso necessário. No mapa deve conter as áreas passíveis de inundação, tempo de chegada das ondas de inundação e inundações em locais críticos.

- Matriz de CRI e DPA: essa matriz objetiva definir a abrangência do PSBN e a periodicidade da Revisão de Segurança da Barragem.

4.5. ANÁLISE DESCRITIVA

4.5.1. TIPOS DE VARIÁVEIS

As variáveis podem ser subdivididas em variáveis quantitativas e qualitativas. As variáveis qualitativas são aquelas que os valores são categorizados e não são numéricos. As mesmas podem ser classificadas como nominais e ordinais. As variáveis qualitativas nominais não podem ser ordenadas, como exemplo as variáveis cidades de abrangência da mancha de inundação, empresa responsável pela operação e método construtivo da barragem. No caso das variáveis quantitativas ordinais, é possível se obter uma ordenação, como exemplo: classe de risco, dano potencial associado e categoria de risco.

As variáveis quantitativas são aquelas que valores são expressos numericamente. As mesmas podem ser classificadas como discretas e contínuas. A distinção entre variáveis quantitativas e qualitativas é importante porque influencia a escolha de técnicas de análise estatística apropriadas para cada tipo de dado. A escolha das técnicas corretas pode ajudar a extrair informações valiosas e insights a partir dos dados (MARTINS, 2009)

4.5.2. TENDÊNCIA CENTRAL PARA VARIÁVEL QUALITATIVA E QUANTITATIVA

As medidas de tendência central podem ser definidas como aquelas informam o

centro da distribuição dos dados. As medidas de tendência central mais comumente utilizadas são: Média Aritmética, Moda e Mediana. Estas medidas fornecem um único valor que representa todo o conjunto de dados.

A média aritmética (Me) é o valor que pode ser obtido quando se somam todos os elementos amostrais e se divide esse valor obtido pelo total da amostra. A mesma pode ser aplicada somente em variáveis quantitativas. A equação 1 apresenta a formulação matemática de Me.

$$Me(X) = \frac{\sum X_i}{n} \quad (1)$$

Onde Me (X) é a média aritmética da variável X, X_i é o valor de X do i-ésimo elemento amostral e n é o total da amostra.

A mediana (MD) é uma medida de tendência central que pode ser utilizada em variáveis quantitativas. Ela é calculada encontrando o valor central de um conjunto de dados ordenados em ordem crescente ou decrescente. A mediana divide o conjunto de dados em duas partes iguais, ou seja, metade dos dados fica abaixo da mediana e a outra metade fica acima dela.

A mediana pode ser utilizada em variáveis contínuas ou discretas, mas é mais comumente utilizada em variáveis com distribuição simétrica ou aproximadamente simétrica, como a distribuição normal. Ela é especialmente útil quando os dados apresentam valores extremos ou outliers, que podem afetar a média aritmética e distorcer sua representatividade como medida de tendência central.

A moda (Mo) é uma medida de tendência central que pode ser utilizada em variáveis categóricas (qualitativas) ou numéricas discretas (quantitativas). Ela representa o valor mais frequente em um conjunto de dados, ou seja, aquele que aparece com maior frequência. A moda é especialmente útil quando se deseja identificar o valor mais comum em uma distribuição de dados. É importante notar que a moda nem sempre é uma medida de tendência central apropriada para descrever um conjunto de dados, principalmente quando há empate de frequência entre dois ou mais valores. Nesses casos, outras medidas de tendência central, como a mediana ou a média, podem ser mais adequadas. A escolha da medida de tendência central mais apropriada dependerá da distribuição dos dados e do objetivo da análise estatística.

4.5.3. MEDIDAS DE DISPERSÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA

As medidas de dispersão aparecem para auxiliar no entendimento da variabilidade dos valores de uma determinada variável. Normalmente, apenas a medida de tendência central não é suficiente para compreensão da distribuição de uma determinada amostra. Toledo (1985) recomenda que sempre as medidas de tendência central sejam avaliadas juntamente com medidas de dispersão.

A variância é uma medida de dispersão que representa a média dos quadrados das diferenças entre cada valor e a média dos valores. Quanto maior a variância, maior a dispersão dos valores em relação à média. No entanto, a variância não é uma medida de fácil interpretação, já que é expressa em unidades ao quadrado.

O desvio padrão é a raiz quadrada da variância e é uma medida de dispersão mais comumente utilizada. Ele é expresso na mesma unidade de medida dos dados originais e indica o quanto os valores estão afastados da média. Um desvio padrão alto indica uma grande dispersão dos valores em relação à média, enquanto um desvio padrão baixo indica que os valores estão mais próximos da média.

As equações 2 e 3 apresentam respectivamente a formulação matemática para o cálculo da variância e do desvio padrão.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (2)$$

Onde :

n : numero de dados observados

X_i : valor na posição i na serie X

\bar{X} : média da variável X;

$$s = \sqrt{s^2} \quad (3)$$

Onde:

s² : variância

4.6. ANÁLISE BIVARIADA

4.6.1. COVARIÂNCIA

A covariância é uma medida estatística que descreve o grau de associação linear entre duas variáveis aleatórias. Ela indica a medida em que duas variáveis mudam juntas, isto é, se elas tendem a variar na mesma direção ou em direções opostas.

Se o resultado da covariância for positivo, isso indica que as variáveis tendem a variar juntas na mesma direção, ou seja, quando uma aumenta, a outra também tende a aumentar o seu valor. Se a covariância for negativa, as variáveis tendem a variar em direções opostas, ou seja, quando uma aumenta, a outra tende a diminuir. Por fim, se a covariância for zero, não há uma associação linear entre as duas variáveis. A equação 4 proposta por DeGroot e Schervish (2011) apresenta a formulação matemática da covariância.

$$COV_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (4)$$

Onde:

\bar{X} : média da variável X;

\bar{Y} : média da variável Y;

n : número de dados observados

X_i : dado da serie X no instante i

Y_i : dado da serie Y no instante i

É importante destacar que a covariância é afetada pela escala das variáveis, ou seja, ela pode ser influenciada pela unidade de medida em que as variáveis são expressas. Por essa razão, é comum utilizar uma medida de associação padronizada chamada coeficiente de correlação, que é dado pela covariância dividida pelo produto dos desvios padrão das duas variáveis. O coeficiente de correlação varia entre -1 e 1 e permite uma interpretação mais intuitiva sobre a força e a direção da associação linear entre as variáveis.

4.6.2. CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre duas variáveis quantitativas. O seu resultado é apresentado entre -1 e 1. O sinal indica uma relação positiva ou negativa entre as variáveis. O sinal positivo nos mostra um crescimento proporcional entre as variáveis, quando o sinal é negativo, temos um crescimento inversamente proporcional entre as variáveis observadas. Se o valor for igual a zero, não há nenhuma correlação.

Cohen (1988) nos traz uma escala de força de dependência entre variáveis observadas, conforme a tabela 1. Quanto mais próximo de 1 ou -1, maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

Tabela 1: Escala de força de dependência segundo Cohen (1988)

Escala de força de dependência entre variáveis	
0,1 a 0,29	Pouca dependência
0,3 a 0,49	Media dependência
0,5 a 1,0	Alta dependência

O coeficiente de correlação de Pearson pode ser representado pela equação 5.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{n=i}^n \left(\frac{xi-\bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{yi-\bar{Y}}{S_y} \right) \quad (5)$$

Na qual:

n : número de amostras;

S_x : desvio padrão da variável X;

S_y : desvio padrão da variável Y;

\bar{X} : média da variável X;

\bar{Y} : média da variável Y;

4.6.3. CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

É o coeficiente mais conhecido para mensurar a correlação entre variáveis qualitativas em nível ordinal, representado pela letra “rho” (ρ). É uma medida que exige duas variáveis com escalas ordinais de mensuração e que os elementos formem duas series ordenadas.

O coeficiente de correlação de Spearman é dado através da equação 6.

$$\rho = 1 - \left(\frac{6 \sum_{n=i}^n d^2}{n(n^2-1)} \right) \quad (6)$$

Onde:

d : Diferença entre cada posto de valor correspondente a x e y;

n : Número de pares de valores

Para Lira (2004), o coeficiente não apresenta tendência linear, mas sim de monotonicidade entre as variáveis, nos mostrando se as variáveis tendem a se mover em uma mesma direção, constantemente ou não. Caso seja maior que zero, quando o valor de x aumenta, o valor de y aumenta. Para casos que o coeficiente de correção é negativo, para maiores valores de x, tem-se menores valores de y.

A classificação de correlação em fraca, média, forte entre as variáveis pode ser feita de forma igual ao coeficiente de Pearson, definido da mesma maneira por Cohen (1988).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. O BANCO DE DADOS

O banco de dados do presente trabalho foi criado com o objetivo de armazenar e organizar informações relevantes sobre as barragens presentes no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. Este foi construído utilizando primeiramente informações contidas no *website* da Agência Nacional de Mineração (ANM), onde é possível fácil acesso a informações e traz de maneira objetiva dados confiáveis para determinar quais barragens devem possuir o documento de PAEBM para posterior pesquisa e utilização dos dados buscados.

Além de informações obtidas via *website* da ANM, também foram extraídas informações dos documentos de PAEBM que puderam ser consultados. Ele inclui informações como: Nome das barragens, empresa responsável, método construtivo, dano potencial associado (DPA), classe de risco, dimensões da estrutura, capacidade de volume de contenção, municípios atingidos com possível rompimento, tempo de chegada da onda de inundação, extensão da mancha de inundação e nível de emergência.

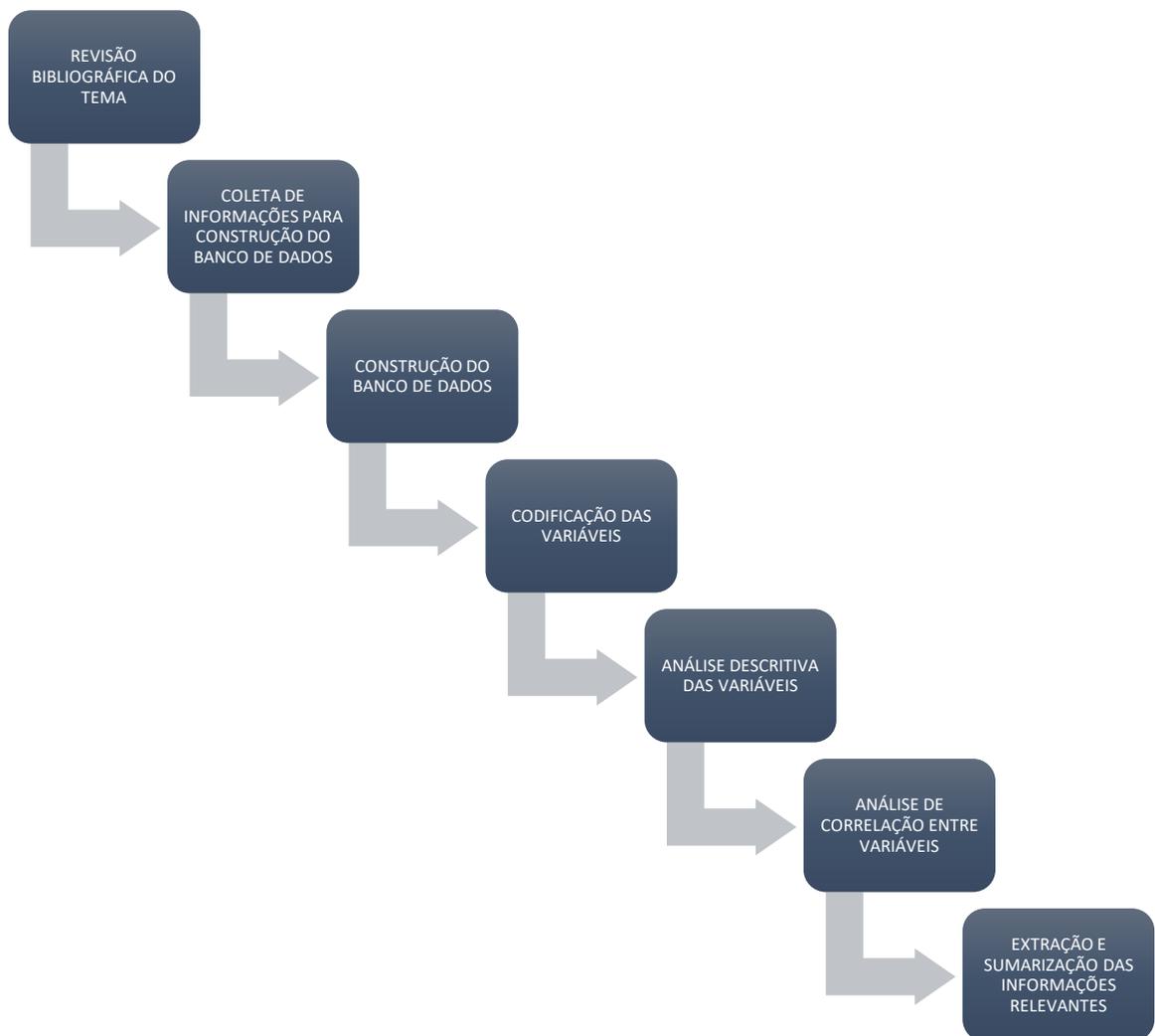
Com este banco de dados, foi possível realizar uma análise dados coletados e gerar gráficos e tabelas para melhor visualização dos resultados, com objetivo final de

extrair informações úteis para determinação de um panorama geral das barragens do Quadrilátero Ferrífero. O banco de dados está disponível para consulta e utilização no Apêndice 1. Ele é fundamental para o sucesso do presente trabalho e foi uma ferramenta valiosa para a análise dos dados.

5.2. METODOLOGIA

O fluxograma apresentado na figura 11 mostra, em ordem cronológica, o processo de elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Figura 11: Fluxograma de construção do trabalho



Fonte: Autor

5.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO TEMA

Foi realizada revisão bibliográfica a fim de se obter os conceitos necessários para

realização deste trabalho. Foram consultados websites, artigos nas plataformas das universidades, livros e monografias. Além disso, por meio da revisão bibliográfica foi possível a construção do banco de dados analisado no Apêndice 1.

5.2.2. COLETA DE INFORMAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

O processo de coleta de dados para a criação do banco se deu primeiramente pela delimitação da região da abordagem, onde definiu-se a região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. As cidades que possuem um maior número de barragens dentro desta demarcação, estas são: Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Congonhas, Ibitaré, Itabira, Itabirito, João Monlevade, Mariana, Mário Campos, Nova Lima, Ouro Branco, Ouro Preto, Raposos, Rio Acima, Sabará e Santa Bárbara.

Definidas as cidades que seriam abrangidas pela pesquisa, deu-se início ao processo de busca das barragens contidas nessa região através do banco de dados da ANM. Filtros foram aplicados a fim de se obter o banco mais objetivo de acordo com as especificações pré-definidas, sendo elas, barragens de minério de ferro, localizadas no quadrilátero ferrífero, inseridas na PNSB e que necessitam de PAEBM.

Um relatório contendo 95 estruturas foi gerado seguindo as predefinições. As barragens pertencem à Vale S.A., Gerdau Açominas, Herculano Mineração, Mineração Geral do Brasil, Emicon Mineração, Minérios Nacional, CSN Mineração, SAFM Mineração, Ferro+ Mineração, Vallourec Tubos do Brasil, Samarco Mineração, Mineração Comisa e AVG Empreendimentos Minerários.

5.2.3. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

Após a geração do relatório citado no item anterior, iniciou-se o processo de busca pelas informações desejadas para construção do banco de dados, através de consulta pelos portais das empresas e download dos materiais de PAEBM, por meio do qual o banco foi construído. O PAEBM é dividido em seções, e isto visa facilitar seu entendimento e a consulta rápida aos requisitos desejados.

Para a obtenção das características estruturais como dimensões, volume e método

construtivo, a seção 1 foi consultada, na categoria de características da barragem. O site da ANM também nos mostra essas características caso não esteja claro no documento do PAEBM.

As informações quanto à abrangência da inundação, municípios atingidos, tempo de chegada da mancha de inundação, extensão da mancha são possíveis se obter tanto na seção 1 do PAEBM, na categoria de estudo da mancha de inundação, ou também na seção 2, consultando diretamente o mapa da mancha de inundação com os tempos respectivos de chegada em cada ponto de referência.

Tendo então todas as variáveis definidas, descritas e organizadas, a construção do banco de dados foi realizada, o banco de dados construído conta com 95 barragens para o qual foi definido para cada uma delas a empresa responsável, o método construtivo, o Dano Potencial Associado (DPA), a classe de risco, altura, comprimento da crista, volume do reservatório, municípios atingidos, tempo de chegada da onda de inundação, extensão da mancha de inundação e nível de emergência. O Apêndice 1 apresenta o banco de dados construído nesta etapa do trabalho.

5.2.4. CODIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A codificação de variáveis qualitativas ordinais foi realizada para análise desse tipo de variável. A mesma consiste em transformar dados categóricos em números para facilitar a análise. Esses dados categorizados possuem uma ordem específica, como, por exemplo, escala de opinião (muito satisfeito, satisfeito, neutro, insatisfeito, muito insatisfeito).

A codificação consiste em atribuir números a cada categoria, levando em consideração a ordem específica das categorias. Por exemplo, a categoria "muito satisfeito" pode ser codificada como "5", enquanto "muito insatisfeito" pode ser codificada como "1". Dessa forma, as informações sobre a ordem das categorias são mantidas, permitindo análises estatísticas mais precisas.

No entanto, é importante lembrar que a codificação de variáveis qualitativas ordinais não deve ser confundida com a codificação de variáveis qualitativas nominais, que não possuem uma ordem específica. Neste caso, a codificação é realizada de forma diferente, geralmente atribuindo números únicos para cada categoria.

Em resumo, a codificação de variáveis qualitativas ordinais é uma técnica

importante em análise de dados, que permite transformar dados categorizados em números mantendo a ordem específica das categorias, facilitando a análise estatística e evitando problemas com interpretação incorreta dos dados.

As tabelas de 1 a 5 apresentam como as variáveis qualitativas ordinais foram codificadas. Onde o valor igual a 1 se relaciona a melhor condição.

Tabela 2: Tabela de códigos para a variável de dano potencial associado

DPA (Dano Potencial Associado)	
Alto	3
Médio	2
Baixo	1

Fonte: Autor

Tabela 3: Tabela de códigos para a variável de classe de risco

Classe de Risco	
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Autor

Tabela 4: Tabela de códigos para a variável de tempo de chegada da onda

Tempo de Chegada da Onda	
> 30 min	1
< 30 min	2

Fonte : Autor

Tabela 5: Tabela de códigos para a variável de método construtivo

Método Construtivo	
Montante	4
Linha de Centro	3
Jusante	2
Etapa Única	1

Fonte : Autor

Tabela 6: Tabela de códigos para a variável nível de emergência

Nível de Emergência	
Nível 3	4
Nível 2	3
Nível 1	2
Em Alerta	1
Sem Emergência	0

Fonte : Autor

5.2.5. ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS

A análise descritiva foi realizada com objetivo de explorar e descrever as características de uma amostra de dados, o que permitiu obter informações relevantes sobre a distribuição dos dados, tendências, outliers e assimetrias. Através da utilização de diferentes tipos de gráficos, como histogramas, boxplots, entre outros, foi possível visualizar de forma clara e objetiva as informações contidas nos dados e tirar conclusões importantes para a análise. É importante destacar que a análise descritiva é uma etapa crucial na análise de dados e fornece uma base sólida para a realização de análises mais avançadas.

5.2.6. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

Nesta etapa do trabalho foi calculada a correlação de Pearson e Spearman entre variáveis com objetivo de se estabelecer a relação linear entre as variáveis e extrair

informação útil. Sabe-se que a correlação de Pearson é uma medida de associação linear entre duas variáveis quantitativas. Ele varia de -1 a 1, onde um valor de 1 significa uma forte correlação positiva, -1 significa uma forte correlação negativa e um valor de 0 significa nenhuma correlação linear. A correlação de Spearman é uma medida de correlação não linear que avalia a força e a direção da relação monotônica (não necessariamente linear) entre duas variáveis. Ela também varia de -1 a 1, onde -1 indica uma correlação negativa, 0 indica ausência de correlação e 1 indica uma correlação positiva.

Para realização 5.2.3 a 5.2.6 foi utilizados os programas computacionais Excel (Microsoft, 2019) e R (R Core Team, 2020).

5.2.7. EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES RELEVANTES

Esse trabalho de conclusão de curso, por meio das análises citadas anteriormente, busca discutir e responder às perguntas apresentadas.

- 1- Existe relação entre o Dano Potencial Associado e o nível de emergência de uma barragem?
- 2- Como o DPA da barragem se relaciona com o método construtivo?
- 3- O tempo de chegada da onda de inundação é um fator decisivo para o DPA?
- 4- O número de barragens com alto DPA na região do Quadrilátero Ferrífero coloca essa região em observação quanto a susceptibilidade de que ocorram mais desastres?
- 5- O método construtivo de uma barragem tem ligação com suas dimensões?
- 6- O nível de emergência de uma barragem está relacionado ao método construtivo, uma vez que métodos considerados menos seguros tendem a ser os que ocasionam mais desastres?
- 7- A altura de uma barragem está relacionada ao comprimento da sua crista, ou seja, se uma barragem for muito alta, necessariamente deverá ser mais comprida?
- 8- A altura de uma barragem influencia no volume do reservatório da mesma?
- 9- Por ser teoricamente de domínio público, o documento de PAEBM é encontrado com facilidade por todos que querem ter acesso?
- 10- Caso não consiga ter acesso ao documento do PAEBM de uma barragem, onde

- é possível extrair informações relevantes sobre ela?
- 11- Empresas com maiores números de barragem na região estudada são mais prejudicadas no âmbito social ?
 - 12- As empresas possuem maiores tendências por um método construtivo do que para os outros?
 - 13- O PAEBM além de ser um documento escrito, possui alguma aplicação prática para que em caso de emergência seja colocado em prática ?
 - 14- O tempo de chegada da mancha de inundação tem relação com a extensão da mancha?
 - 15- O volume do reservatório da barragem tem relação com a extensão da mancha de inundação?
 - 16- A forma como a ANM avalia as barragens é efetiva?
 - 17- Classe de risco e DPA são variáveis que caminham independentes ?
 - 18- A classe de risco e as dimensões de uma barragem são variáveis que se relacionam?
 - 19- O fator de segurança de uma barragem se relaciona a quais variáveis apresentadas?

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. ANÁLISE DESCRITIVA QUALITATIVA

As figuras de 12 a 17 trazem gráficos contendo as frequências absolutas e relativas sobre as variáveis definidas das barragens do Quadrilátero Ferrífero, após a coleta de dados. A frequência absoluta é o número de vezes que o mesmo resultado aparece. A frequência absoluta é essencial para a organização dos resultados obtidos, o que facilita a análise futura desses dados.

A frequência absoluta é fundamental para determinar outra frequência, conhecida como frequência relativa. Para calcular a frequência relativa, dividimos entre a frequência absoluta e a soma dos resultados obtido, esta é representada em números decimais ou porcentagem e nos mostra a relação que aquele valor tem em comparação ao conjunto de valores totais.

De acordo com os resultados obtidos, a empresa Vale é a que mais possui barragens no território observado com 71 barragens, correspondendo a 75% do total. Deste modo a empresa se torna também a empresa com maiores probabilidades de

ocasionar desastres provenientes de rupturas de barragens, colocando-a como principal alvo em fiscalizações. Em segundo lugar se encontra a empresa EMICON com 4 % e em terceiro lugar com 3% se encontram as empresas SAFM e CSN.

Quanto ao tipo de alteamento, o predominante é o método de linha de centro (40%), seguido do método à jusante (34%). Estes números tendem a ser cada vez mais discrepantes em relação ao método de montante (25%), uma vez que fora proibida a construção de barragens desta maneira. Na visão da ANM, este é o método mais suscetível a ruptura.

Os gráficos de dano potencial associado deixam uma reflexão quanto ao impacto que essas barragens poderão ocasionar em caso de rompimento , uma vez que 68 estruturas (75% do total) são classificadas com um dano potencial alto.

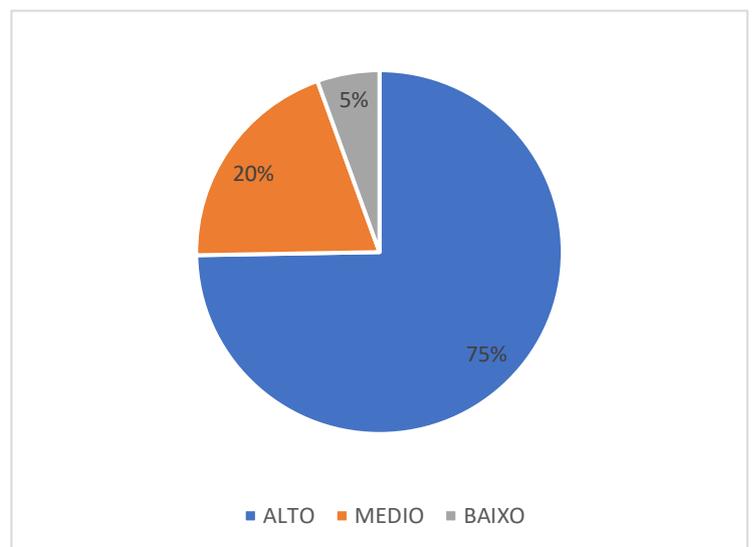
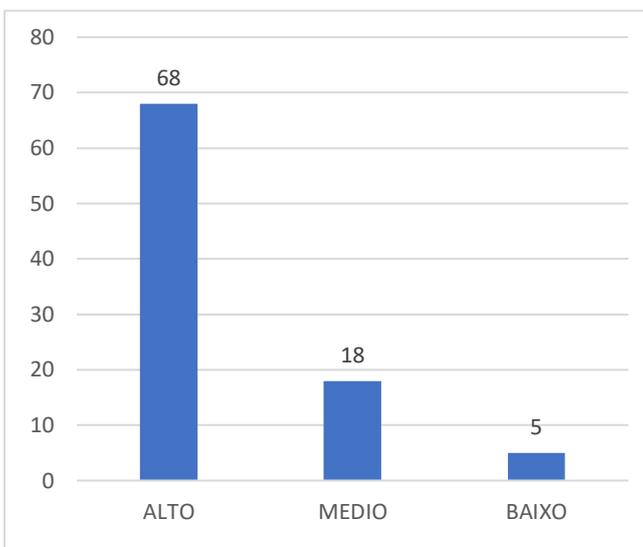
O gráfico 14 apresenta as frequências das classes de risco. Uma vez que ela depende do DPA, tem-se como esperado, uma maior concentração de barragens com classe de risco A e B, representando taxas mais altas do que 77% do total.

Um resultado importante encontrado é o apresentado na figura 15, pois este é um fator fundamental quanto à segurança da barragem. O tempo de chegada da onda de inundação é o que define o tempo de resposta da população e ação a serem tomadas em um rompimento de uma barragem. 96% das barragens de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero apresentam tempo inferior a 30 minutos para a chegada da onda. Essa informação é preocupante e demonstra a importância de constante revisão dos treinamentos de evacuação, gerando a necessidade de periodicidade dos mesmos, a fim de se evitarem grandes perdas.

A figura 16 apresenta informação preocupante, em que é constatado que 25% das barragens da área de estudo apresentam alerta de emergência (8% nível I, 2% nível II e 2% nível III), o que retrata que a fiscalização, o acompanhamento e as medidas preventivas possam não estar sendo eficazes e eficientes.

Figura 12: Gráficos do dano potencial associado das barragens do Quadrilátero Ferrífero.

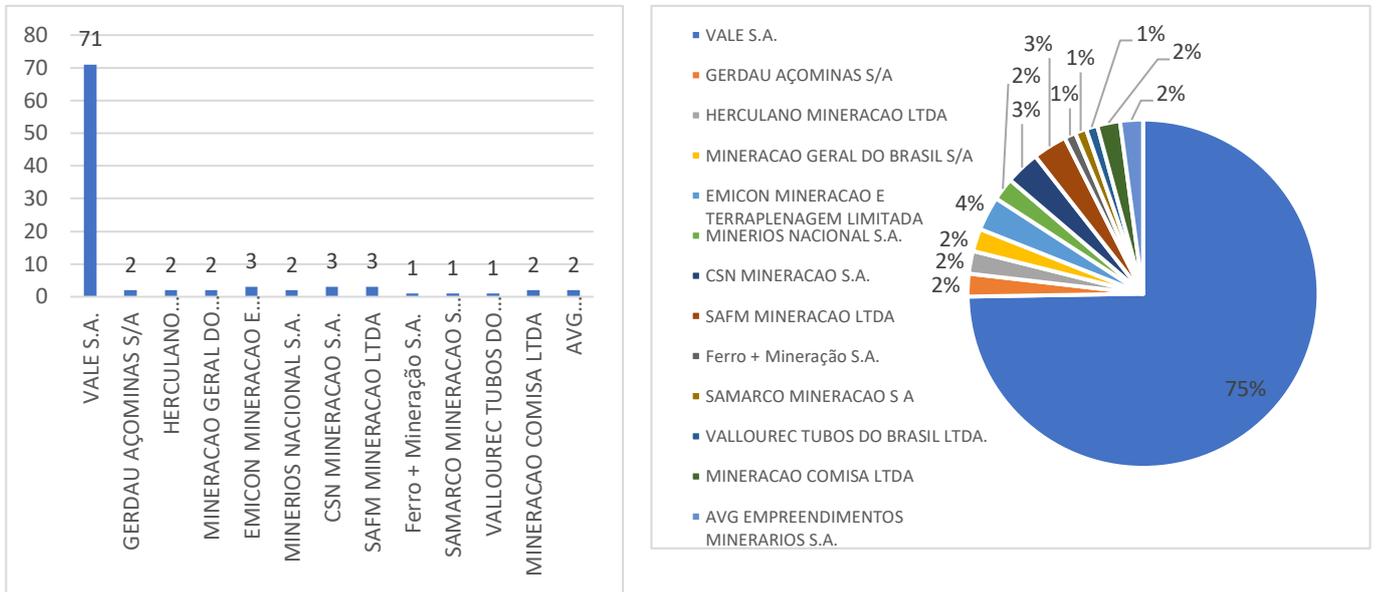
(a) Frequência Absoluta (b) Frequência Relativa



Fonte: Autor

Figura 13: Gráficos de frequência das empresas responsáveis por barragens no quadrilátero ferrífero.

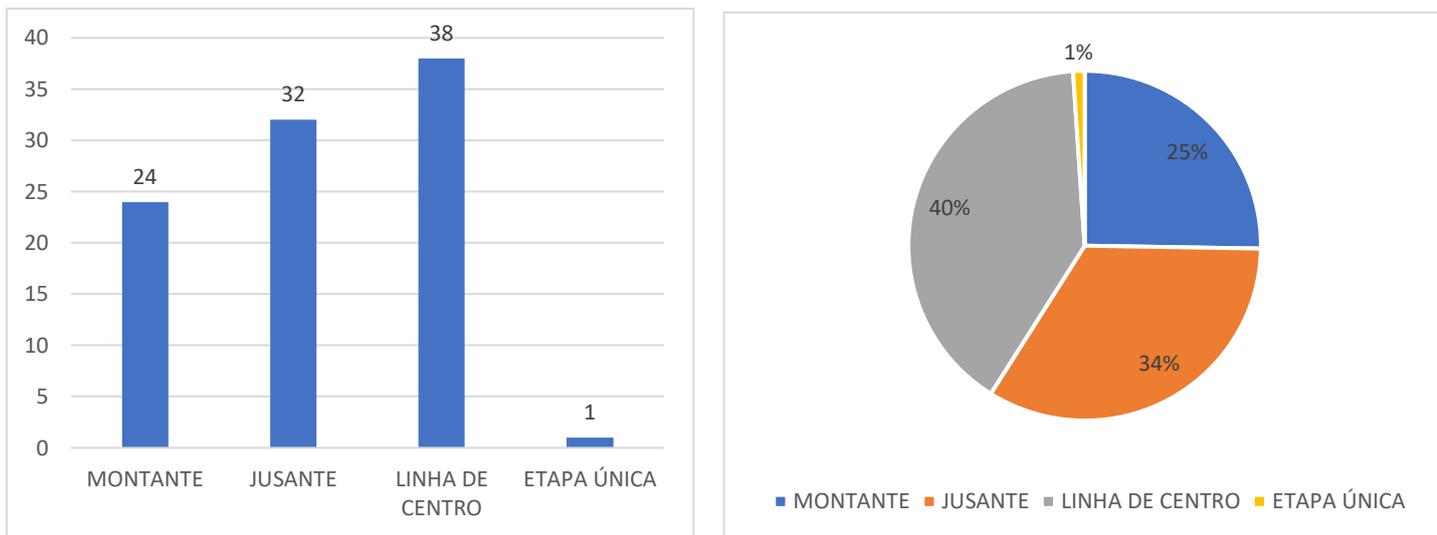
(a) Frequência absoluta (b) Frequência relativa



Fonte: Autor

Figura 14: Gráficos do método construtivo das barragens do Quadrilátero Ferrífero.

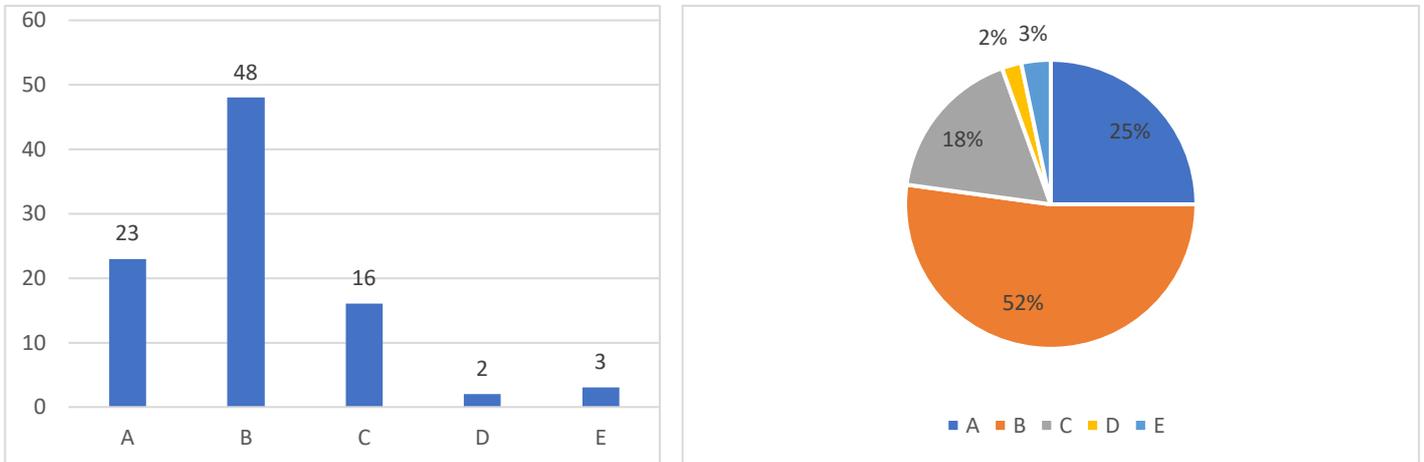
(a) Frequência Absoluta (b) Frequência Relativa



Fonte: Autor

Figura 15: Gráficos da classe de risco das barragens do Quadrilátero Ferrífero.

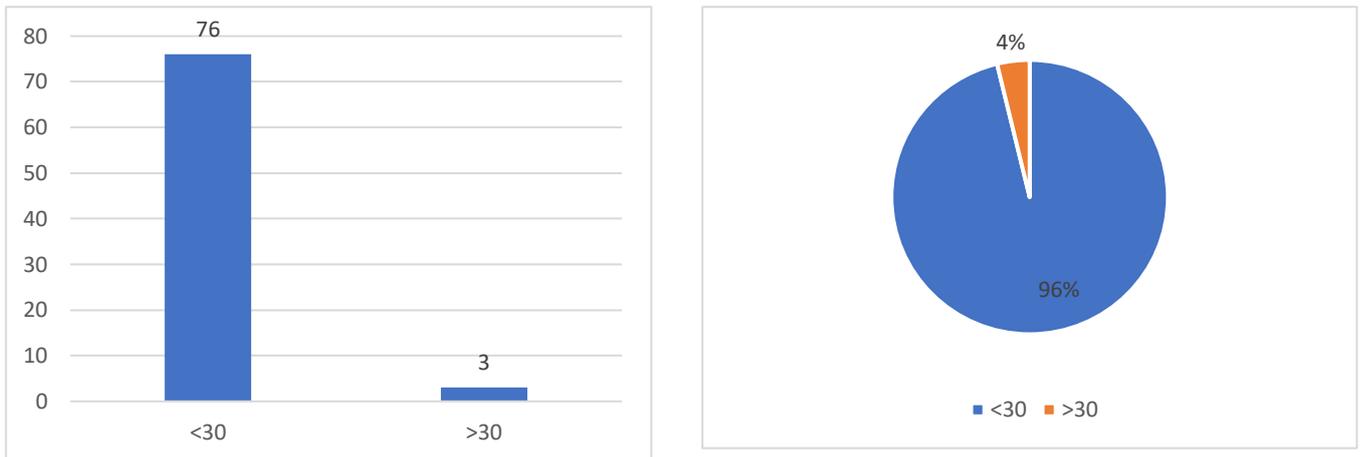
(a) Frequência absoluta (b) Frequência relativa



Fonte: Autor

Figura 16: Gráficos do tempo de chegada da onda das barragens do Quadrilátero Ferrífero.

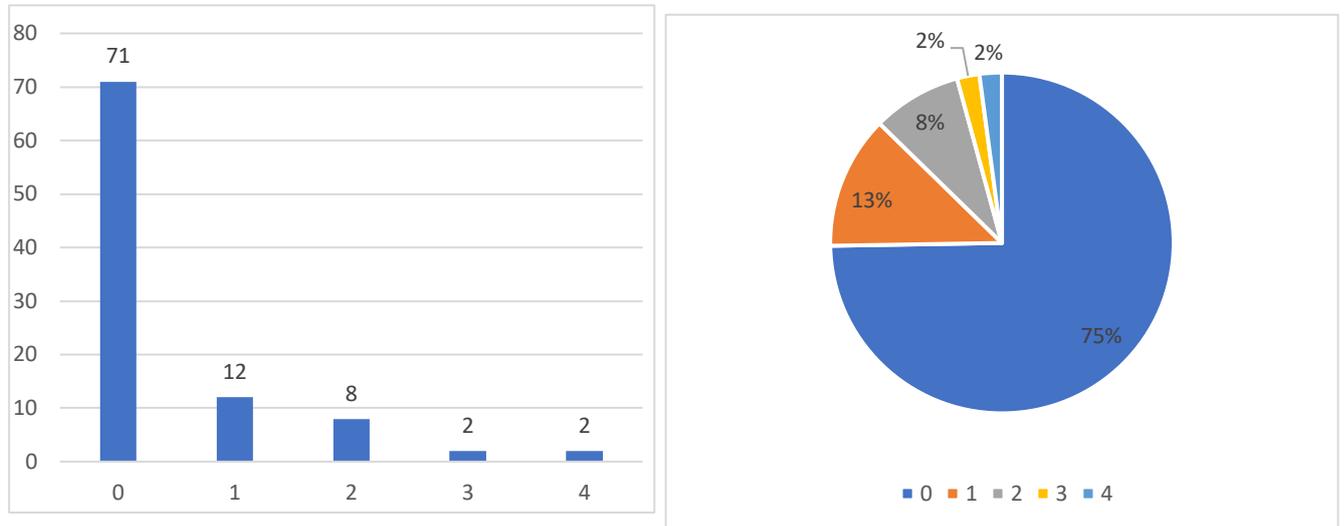
(a) Frequência Absoluta (b) Frequência Relativa



Fonte : Autor

Figura 17: Gráficos do nível de emergência das barragens do Quadrilátero Ferrífero.

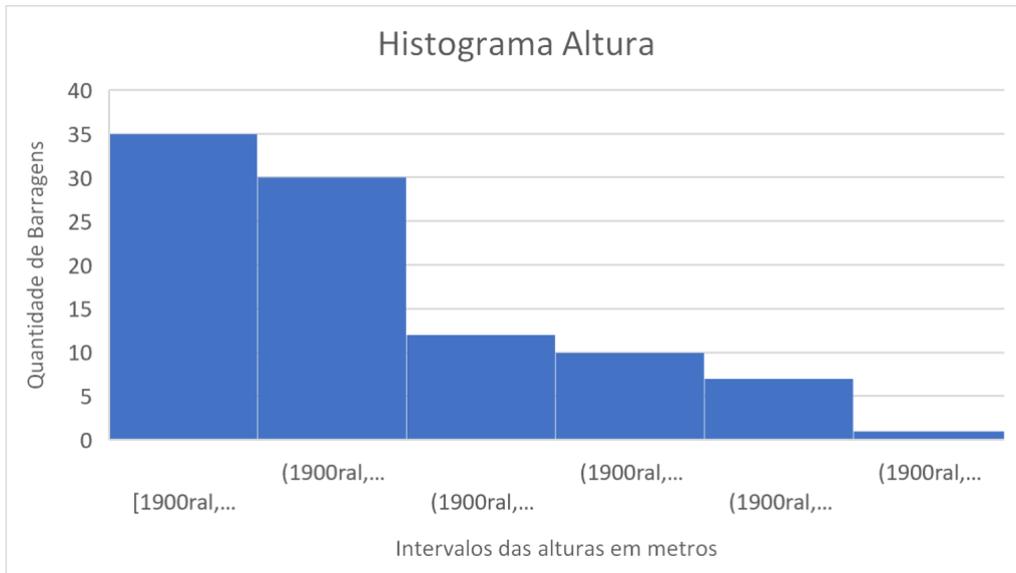
(a) Frequência Absoluta (b) Frequência Relativa



Fonte: Autor

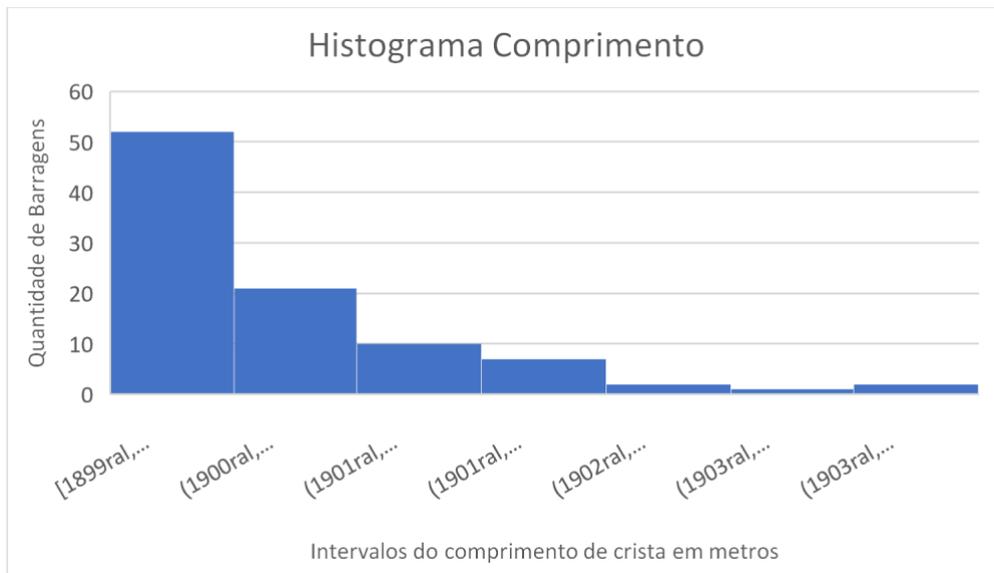
Um histograma é um tipo de gráfico de barras que mostra a distribuição de frequências. Em um histograma, a base de cada barra representa um intervalo e a altura representa a quantidade ou frequência com que cada valor de intervalo ocorre. As figuras de 18 a 21 apresentam os histogramas das variáveis altura, comprimento, volume das barragens e extensões da mancha de inundações temos resultados muito semelhantes, onde a maior concentração das variáveis está próxima ao eixo, as alturas em sua maioria não passam de 24 metros, enquanto os comprimentos ficam mais entre 0 e 240 metros, os volumes e extensões de mancha de inundação assim como as dimensões anteriormente citadas, também ficam com sua maioria no primeiro intervalo indo de 0 a 23 milhões de metros cúbicos e entre 0 e 52 quilômetros respectivamente, ou seja, as maiores colunas estão representando intervalos de valores menores, indicando valores conservadores para a maioria das estruturas, seja talvez por menores estruturas estarem condicionadas à uma maior segurança e menos custos de manutenção e prevenção de riscos.

Figura 18: Histograma das alturas das barragens do Quadrilátero Ferrífero



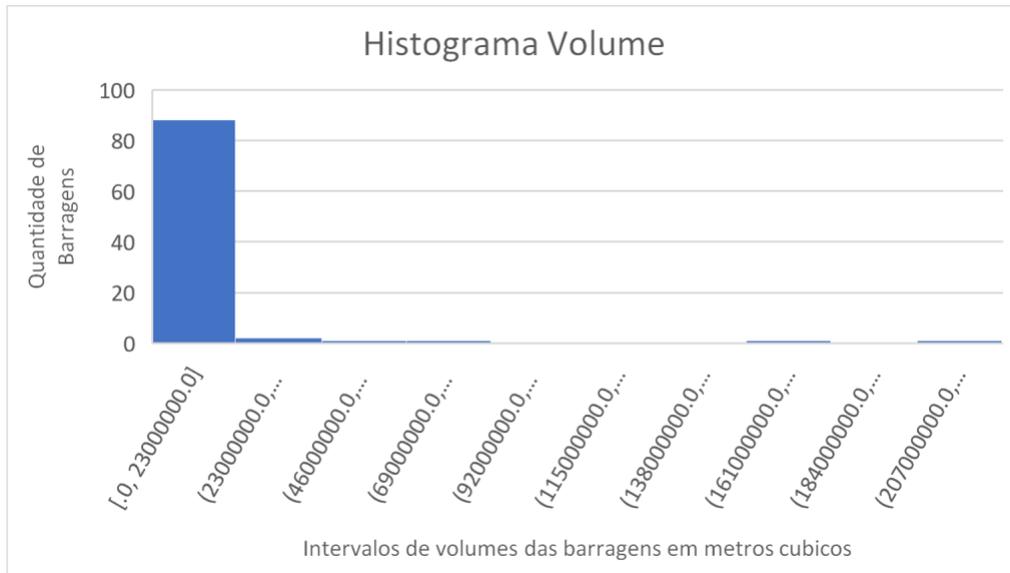
Fonte : Autor

Figura 19: Histograma dos comprimentos das cristas das barragens do Quadrilátero Ferrífero



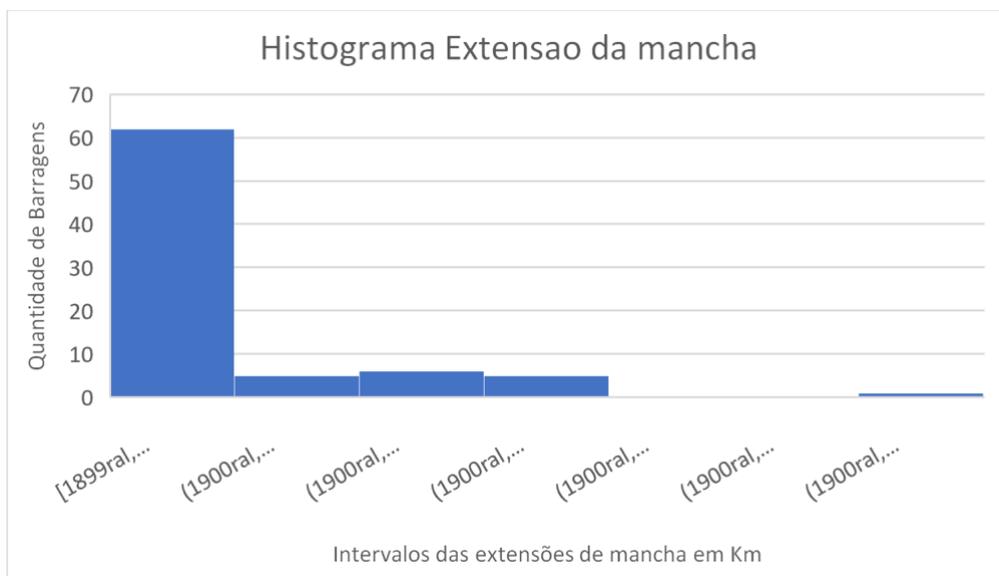
Fonte : Autor

Figura 20: Histograma dos volumes das barragens do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Autor

Figura 21: Histograma das extensões de mancha de inundação das barragens do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Autor

6.2. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

A Figura 21 apresenta a matriz de correlação de Pearson das variáveis quantitativas contidas no banco de dados. São apresentadas as correlações entre as variáveis ,altura, comprimento de crista, volume do reservatório e extensão da mancha

de inundação.

Figura 22: Matriz da correlação de Pearson para as variáveis analisadas

	<i>altura (m)</i>	<i>comprimento da crista (m)</i>	<i>Volume do reservatório (m3)</i>	<i>extensão da mancha (km)</i>
<i>altura (m)</i>	1			
<i>comprimento da crista (m)</i>	0,592233878	1		
<i>Volume do reservatório (m3)</i>	0,389216357	0,426782738	1	
<i>extensão da mancha (km)</i>	0,45562774	0,434954394	0,606065733	1

Fonte : Autor

Foram identificados valores de correlação de Pearson iguais a 0,38; 0,42; 0,43; 0,45; 0,59 e 0,6; que mostram diferentes níveis de correlação positiva entre as variáveis. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que as correlações iguais a 0,38, 0,42, 0,43 e 0,45 são moderadas, enquanto correlações iguais a 0,59 e 0,60 são fortes.

Os valores encontrados relacionando a extensão da mancha com as dimensões da barragem são de se esperar, uma vez que maiores dimensões tenderiam a aumentar a mancha de inundação , porem não se levou em conta o tipo de superfície onde as barragens foram construídas.

O alto valor encontrado relacionando o volume do reservatório com a extensão da mancha era de se esperar, já que quanto maior a quantidade de detritos acumulada , maior será sua abrangência em caso de rompimento, e esse fator pode ser ainda mais agravado caso haja algum curso fluvial na área da mancha.

O resultado de 0,59 relacionando altura da estrutura com o comprimento da crista retrata que as barragens do quadrilátero tendem a crescer as dimensões proporcionalmente, porem o relevo é um fator que pode interferir nesse numero, por exemplo em caso de se construir uma barragem entre dois picos, a altura crescerá em uma taxa maior do que o comprimento da crista.

É importante lembrar que correlação não implica dependência, ou seja, não podemos dizer que variação em uma variável causa variação na outra. A correlação apenas indica a existência de uma relação entre as variáveis e a direção e força dessa relação.

Além disso, é importante lembrar que a correlação de Pearson só pode ser usada para avaliar relações lineares. Se houver uma relação não linear entre as variáveis, a correlação de Pearson pode não ser a medida mais adequada para avaliar essa relação.

Nesse caso, outras medidas como correlação de Spearman ou análise de regressão não linear podem ser mais apropriadas.

A Figura 22 apresenta a matriz de correlação de Spearman das variáveis contidas no banco de dados. São apresentadas as correlações entre as variáveis Dano Potencial Associado, classe de risco ,altura, comprimento de crista, volume do reservatório, tempo de chegada da onda, extensão da mancha de inundação e nível de emergência.

Figura 23: Matriz da correlação de Spearman para as variáveis analisadas

	Dano Potencial Associado	Classe de Risco	Altura	Comprimento da crista	Volume do reservatório	Tempo de chegada da	Extensão da mancha	Nível de emergência
Dano Potencial Associado	1							
Classe de Risco	0,759	1						
Altura	0,356	0,469	1					
Comprimento da crista	0,317	0,44	0,615	1				
Volume do reservatório	0,472	0,535	0,732	0,767	1			
Tempo de chegada da onda	-0,013	-0,175	-0,158	-0,011	-0,217	1		
Extensão da mancha	0,596	0,493	0,516	0,492	0,649	-0,087	1	
Nível de emergência	0,211	0,586	0,24	0,259	0,227	-0,23	0,13	1

Fonte : Autor

Foram encontrados valores negativos, quase nulos, de pouca, média e alta dependência entre as variáveis . Observa-se que o tempo de chegada da onda de inundação possui relação de dependência inversa com todas as outras variáveis, ou seja, à medida que uma das variáveis mudam, não há influencia no tempo de chegada da onda. Valores de 0 até 0,1 são considerados de nula dependência segundo Cohen (1998).

Os valores de baixa dependência encontrados foram de : 0,130; 0,221; 0,227; 0,240 e 0,259, isso significa que a mudança de uma variável faz com que a outra mude também, porém em escala bem menor.

Foram definidos também os valores de 0,317; 0,356; 0,440; 0,469; 0,472; 0,492 e 0,493, indicando que a mudança de uma variável interfere de maneira razoável na outra. Valores de alta dependência indicando que a mudança de uma variável faz com que a outra também mude também foram encontrados, tais como: 0,516; 0,535; 0,586; 0,596; 0,615; 0,649; 0,732; 0,759 e 0,767.

6.3. EXTRAÇÃO E SUMARIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES RELEVANTES

Com relação ao questionamento 1 levantado na metodologia, é possível constatar que segundo o observado pela correlação de Spearman, o valor de 0,211 traz que existe baixa dependência entre as duas variáveis. O que era esperado, o nível de emergência da barragem é definido pela condição que a barragem se encontra em determinado momento, das suas condições estruturais. O DPA é definido com base no potencial de perdas de vidas, impactos ambientais, econômicos e sociais que o rompimento de uma barragem pode ocasionar.

A indagação 2 mostra que as variáveis são distintas, o método construtivo de uma barragem depende da sua finalidade, de quanto ela deverá armazenar, das dimensões pretendidas ao longo do tempo e também do custo que implicará em sua construção. Uma vez que o DPA mede o potencial de impacto de uma barragem, fica incoerente colocá-lo lado a lado com o método construtivo.

Acerca do questionamento 3 tem-se que tempo de chegada da onda de inundação não é um fator decisivo para o Dano Potencial Associado (DPA) de uma barragem, comprovado pelo método de Spearman com valor negativo de 0,013. Porém pode influenciar na magnitude da inundação e, conseqüentemente, no DPA. O DPA é determinado pela combinação entre a magnitude da inundação e a vulnerabilidade da população e das atividades econômicas que podem ser afetadas. O tempo de chegada da onda de inundação pode afetar a magnitude da inundação, dependendo da distância entre a barragem e a área a ser inundada, da topografia do terreno e de outros fatores que possam influenciar na velocidade de propagação da onda. Quanto menor o tempo de chegada da onda de inundação, maior pode ser a magnitude da inundação e, conseqüentemente, maior pode ser o DPA.

Quanto ao item 4 levantado na metodologia, o número de barragens com alto Dano Potencial Associado (DPA) na região do Quadrilátero Ferrífero não indica uma maior susceptibilidade à ocorrência de desastres relacionados a barragens. A susceptibilidade de ocorrência de desastres mais se relaciona com problemas estruturais, operacionais ou de manutenção bem como a qualidade da gestão de segurança da barragem.

Respondendo o questionamento 5, o método construtivo de uma barragem pode ter relação com suas dimensões, mas isso não é uma regra. Barragens construídas com o

mesmo método podem ter dimensões diferentes, dependendo da finalidade da estrutura, do volume de água a ser armazenado e das características geológicas e hidrológicas da região. Por exemplo, uma barragem construída com concreto pode ter dimensões diferentes se for destinada à irrigação ou à geração de energia elétrica. Além disso, a escolha do método construtivo deve levar em consideração diversos fatores, como a disponibilidade de materiais, o custo, a segurança estrutural, entre outros.

Na pergunta sobre o nível de emergência e o método construtivo chegou-se à conclusão de que o nível de emergência de uma barragem não está diretamente relacionado ao seu método construtivo, existem diversos métodos construtivos seguros que podem ser utilizados para a construção de barragens. O nível de emergência de uma barragem se dá pelo momento em que ela se encontra, se há alerta ou não, se está com problemas estruturais ou não. Não existe um método mais seguro que outro, existe a falta de gestão e manutenção das estruturas.

Sobre a indagação 7, a altura de uma barragem se relaciona fortemente com o seu comprimento de crista, o valor de 0,615 encontrado pelo método de Spearman comprova isto. No entanto, outros fatores, como a topografia da região, o tipo de solo, a largura do vale e o perfil hidráulico da barragem também podem influenciar no comprimento da crista, independentemente da altura da estrutura.

Em virtude do questionamento 8 proposto na metodologia, é factível afirmar que altura de uma barragem tem grande correlação com o volume do reservatório. Isso ocorre porque a altura da barragem determina a profundidade da lâmina d'água e, portanto, o volume de água que pode ser armazenado. No entanto, outros fatores, como a geometria da bacia hidrográfica e a disponibilidade de água na região também podem influenciar no volume do reservatório.

Ao se avaliar o nono questionamento da metodologia, pode-se verificar que o Plano de Ação de Emergência de Barragens (PAEBM) é um documento público e, teoricamente, está disponível para consulta de qualquer pessoa interessada. No entanto, a disponibilidade desse documento pode variar de acordo com a política de transparência e acesso à informação adotada pelo órgão responsável pela fiscalização e gestão da segurança das barragens. Em alguns casos, é necessário solicitar o acesso ao documento por meio de canais específicos ou de pedidos de acesso à informação.

Tendo em vista o questionamento 10 levantado na metodologia, é possível concluir que caso não seja possível ter acesso ao documento do PAEBM de uma

barragem, outras fontes de informação relevantes incluem relatórios e estudos realizados por órgãos governamentais responsáveis pela fiscalização e gestão da segurança das barragens, por exemplo o site da Agência Nacional de Mineração (ANM), bem como por organizações não governamentais e especialistas em engenharia e segurança de barragens.

A respeito do questionamento 11 levantado na metodologia, é possível observar que o número de barragens de uma empresa na região não define sua reputação socialmente, mas pode ser um fator importante a ser considerado, porém outros fatores, como a qualidade da gestão e manutenção das barragens, a eficácia das medidas de segurança adotadas e o impacto socioeconômico das operações da empresa também podem influenciar na percepção e na relação da empresa com as comunidades locais.

Com relação ao questionamento 12 levantado na metodologia, é possível constatar que o método construtivo de uma barragem pode depender de vários fatores, como a topografia da região, o tipo de solo, as condições climáticas, as características hidrológicas do local, entre outros. Portanto, não necessariamente as empresas possuem tendências por um método construtivo em relação a outros. No entanto, é possível que algumas empresas tenham preferências ou experiências mais consolidadas com determinados métodos construtivos em função de suas características e histórico de projetos de barragens. Vale ressaltar que barragens a montante deverão ser descaracterizadas até 2027.

Em resposta à pergunta de número 13, o PAEBM é um documento que possui aplicação prática em situações de emergência, pois contém informações importantes sobre os procedimentos a serem adotados em caso de risco iminente ou ocorrência de acidentes, incluindo a definição das responsabilidades das equipes de emergência, a comunicação com as autoridades e a população afetada, as rotas de fuga e a evacuação das áreas de risco, entre outros aspectos. Empresas adotam o sistema de simulados de situações de emergência visando sempre a maior eficácia das ações tomadas em casos reais de danos com as barragens.

Quanto ao item 14 levantado na metodologia, o tempo de chegada da mancha de inundação não se relaciona com a extensão desta, a viscosidade do material armazenado e seu volume são muito mais influentes nesse caso, como comprova a correlação de Spearman nos valores acima de 0,5 encontrados.

Nos resultados do teste de correlação de Spearman, o valor mais alto encontrado foi

o que relaciona estas duas variáveis, com valor de 0,767. Indicando que a extensão da mancha é fortemente dependente do volume de material armazenado em uma barragem, o que é de se esperar. Quanto maior o volume de material em uma barragem, maior o espaço atingido quando esse material for derramado, respondendo à pergunta 15 da metodologia.

Sobre a pergunta 16 da metodologia acerca da eficácia da avaliação das barragens pela ANM, nota-se que esta utiliza uma abordagem baseada em análise de risco para avaliar a segurança das barragens. Isso significa que a agência considera diversos fatores, como o potencial de dano humano e ambiental em caso de rompimento da barragem, a qualidade do projeto e construção da estrutura, a frequência e qualidade das inspeções realizadas e o histórico de eventos passados, para avaliar o nível de dano associado a cada barragem. Embora essa abordagem seja amplamente reconhecida como uma metodologia efetiva para avaliar a segurança de barragens, existem desafios na sua implementação, um dos principais desafios é a falta de informações atualizadas sobre as barragens, que pode dificultar a avaliação de risco precisa. Além disso, a ANM enfrenta desafios na fiscalização e cumprimento das normas de segurança, especialmente em relação às barragens operadas por empresas com recursos financeiros limitados ou baixa cultura de segurança.

Em virtude do questionamento 17 proposto, conclui-se que Classe de risco e Dano Potencial Associado são variáveis que caminham juntas e possuem alto grau de dependência segundo os testes de correlação de Spearman, o que era de se esperar, uma vez que a Categoria de Risco (CRI) é o valor encontrado através das duas outras variáveis. Quando maior o DPA, maior a Classe de Risco de uma barragem.

Respondendo o item 19, através do método de Spearman as dimensões de uma estrutura como altura, comprimento de crista e volume são dependentes da Classe de Risco de maneira significativa com valores de 0,440 a 0,535.

Por último, mas não menos importante respondendo à pergunta 20 da metodologia checkou-se que o fator de segurança da barragem está diretamente relacionado com a classe de risco e nível de emergência. O nível de emergência se dá pelo CRI da barragem que por sua vez é definido pela classe de risco, ou pelo fator de segurança desta levando em consideração a existência de anomalias e a condição de drenagem do material.

7. CONCLUSÃO

Dentro da região analisada, há uma maior concentração de barragens se comparada ao restante do país, trazendo assim, maiores preocupações acerca da segurança dos ativos e passivos circundantes dos locais.

Através da análise, tem-se que a empresa Vale S.A é a maior detentora de barragens de rejeito na região. Esse fator, não necessariamente deve definir sua credibilidade perante a sociedade dos entornos das barragens, desde que a empresa garanta qualidade da gestão e manutenção das barragens, a eficácia das medidas de segurança adotadas e o impacto socioeconômico das operações da empresa também podem influenciar na percepção da sociedade.

O documento de PAEBM de algumas estruturas não foi possível ser obtido cerca de 14,73% do total de 95 barragens, ainda que este que deveria ser de domínio público e de acesso fácil para todos que desejassem realizar consultas. Algumas informações que foram extraídas dos documentos de PAEBM divergem das informações apresentadas no banco de dados da Agencia Nacional de Mineração. No entanto, este resultado é de se esperar, uma vez que os documentos são atualizados em períodos menores ao de atualização do portal da ANM e esses devem ser submetidos a análises até entrarem no banco de dados da Agencia Nacional de Mineração. Visto isso, quando houve divergência, o valor utilizado foi o obtido no PAEBM. A falta de padronização dentro dos documentos de PAEBM de uma empresa para outra é um fator prejudicial que em situações de emergência, o que pode causar atrasos nas tomadas de decisão.

As variáveis estudadas não puderam ser totalmente completadas e analisadas por falta de informações nos documentos de PAEBM. É importante ressaltar que quanto maior o número de informações, maior é a representatividade das análises, melhorando a confiabilidade dos resultados.

Os órgãos fiscalizadores devem ser mais rigorosos quanto as informações disponibilizadas ao público, muitas estruturas não possuem dados tanto nos documentos de PAEBM quanto no website da ANM, fato esse que impossibilitou a melhor avaliação dos métodos utilizados para chegar aos resultados.

Uma vez que a ANM é responsável pelas informações das barragens, sugere-se que esta disponibilize os documentos de PAEBM de todas as estruturas em seu portal. Garantindo assim acesso por todos de maneira fácil e com alto grau de confiança dos dados ali presentes.

O fato de se comprovar a independência do tempo de chegada da onda para classificar o DPA de uma estrutura revela que deve haver uma revisão nos critérios avaliativos para o dano potencial, uma vez que o tempo de resposta de quem está a jusante da estrutura é esperado que seja rápido, visto que o DPA se baseia no impacto que a estrutura pode causar, o tempo de resposta deve sim entrar em consideração.

A frequência em que os dados são atualizados pela ANM em seu portal é um fator preocupante, visto que o presente trabalho foi concluído ao fim do primeiro trimestre do ano de 2023 e até a presente data, os dados ainda seguem desatualizados.

Ressalta-se que os dados obtidos são atualizados em curtos prazos de tempo, sendo assim, para que sejam feitos novos estudos comparativos, deve-se atualizar o banco de dados com as versões mais recentes dos dados.

8. REFERÊNCIAS

ANDES. **Três anos após o rompimento da barragem de Brumadinho (MG), atingidos ainda cobram justiça.** Disponível em: <<https://www.andes.org.br/conteudos/noticia/tres-anos-apos-o-rompimento-da-barragem-de-brumadinho-mG-atingidos-ainda-cobram-justica1>>. Acesso em 6 de Novembro de 2022

ANM (2022). **Resolução ANM nº 95, de 25 de janeiro de 2022.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 de janeiro de 2022. Seção 1, p. 7-13. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>>. Acesso em 20 de Novembro de 2022

ARAÚJO, C. B. V. (2006). **Contribuição ao estudo de barragens de rejeito de mineração de ferro.** Tese de Mestrado. COPPE/RJ, RJ, 133 p.

ASCOM/IBAMA. **Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/cites-e-comercio-exterior/cites?id=117> >. Acesso em 6 de Novembro de 2022

AVG EMPREENDIMENTOS MINERARIOS S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Pilha 01, 2022.** Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

AVG EMPREENDIMENTOS MINERARIOS S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Pilha 02, 2022.** Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

BRASIL (2010). **Lei nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em 15 de Novembro de 2022

BRASIL (2017). **Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de maio de 2017.** Disponível em : <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017> >. Acesso em 10 de Dezembro de 2022

BRASIL (2019). **Resolução ANM nº 4, de 15 de Fevereiro de 2019 .** Disponível em : <https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Res_4_19.htm >. Acesso em 10 de Dezembro de 2022

BRASIL. **Lei No 14.066, De 30 De Setembro De 2020.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm>. Acesso em 15 de Novembro de 2022

CAMPOS, T. M. P. (1986). **Geotecnia e Meio Ambiente: Relato do Estado da Arte.** In VIII COBRAMSEF. Porto Alegre, p. 123 – 157.

COHEN, JACOB. (1988). **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum. Congress of Environmental Geotechnics – ICEG pp. 1405-1423.

COPAM. **Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 62, de 17 de dezembro de 2002.** Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5008#_ftn3. Acesso em 16 de Novembro de 2022

CORREIO BRAZILIENSE. (2019). **Veja como ficaria Congonhas (MG) em caso de rompimento das barragens.** Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/02/11/interna-brasil,736670/veja-como-ficaria-congonhas-mg-em-caso-de-rompimento-das-barragens-l.shtml>. Acesso em 4 de Março de 2023

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras. 2a edição. Oficina de Textos, São Paulo 2004.** CSN MINERACAO S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B4, 2022.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

CSN MINERACAO S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem Casa de Pedra, 2022.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

CSN MINERACAO S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem do Vigia, 2022.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

DEGROOT, M. H., & SCHERVISH, M. J. (2011). **Probability and statistics**. Pearson.

EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B1A Ipê, 2022.** Disponível em: <https://www.ipeminerao.com.br/empreendimento/barragens/>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Dique B3 Ipê, 2022.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

FERRO + MINERAÇÃO S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem de Contenção de Sedimentos do Josino, 2022.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

FILHO, W. L. O.; ABRÃO, P. C. **Disposição de Rejeitos de Mineração.** In: ZUQUETTE, L.V. (Org.) Geotecnia Ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. Cap. 9.

GAZZINELLI, G., RIBEIRO, G., & GENEROSO, P. (2021). **Minerodutos: um cheque em branco para o desenvolvimento do país.** [Entrevista realizada por] Conflitos Ambientais Minas Gerais. Disponível em : <<https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/noticias/minerodutos-um-cheque-em-branco-para-o-desenvolvimento-do-pais-entrevista-especial-com-gustavo-gazzinelli-gabriel-ribeiro-e-patricia-generoso-2/>>. Acesso em 4 de Março de 2023

GERDAU AÇOMINAS S/A; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Alemães,** 2022. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/certificados-de-qualidade-e-documentos/>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

GERDAU AÇOMINAS S/A; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Baías da UTM II,** 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

HERCULANO MINERACAO LTDA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B1,** 2022. Disponível em: <<https://herculanomineracao.com.br/barragens/>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

HERCULANO MINERACAO LTDA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B4,** 2022. Disponível em: <<https://herculanomineracao.com.br/barragens/>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos recursos Naturais Renováveis. Laudo Técnico Preliminar.** Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf>. Acesso em 15 de Novembro de 2022

INVENTÁRIO DE BARRAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte: **Fundação Estadual do Meio Ambiente,** 2018. Disponível em <http://www.feam.br/images/stories/2016/RESIDUOS_MINERA%C3%87%C3%83O/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2015_Final_V01.pdf>. Acesso em 15 de Novembro de 2022

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

LIMA, C. S. **Desenvolvimento de um plano de ação emergencial para barragens ou diques com dano potencial associado alto alicerçado na legislação específica do Departamento Nacional de Produção Mineral com foco na região carbonífera Sul Catarinense.** Revista de Mineração, São Paulo, v.1, n.5, 2016.

LIMA, L.M.K. (2006). **Retroanálise da formação de um depósito de rejeitos finos de mineração construído pelo método subaéreo**. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 125 p.

LIRA, S. A. **Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com Aplicações**. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Estatística, UFPR.

MARTINS, G. A.; THEÓFILO, C. R. **Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2009.

MEDEIROS, C. A. **Estatística aplicada à educação**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

COPAM. **Deliberação Normativa COPAM nº 62**, de 3 de dezembro de 2002. Disponível em : <<https://www.ceivap.org.br/barragem/Normativa-COPAM-MG-62-2002.pdf>>. Acesso em 4 de Março de 2023

MINERACAO COMISA LTDA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Dique 01**, 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

MINERACAO COMISA LTDA; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Dique 02**, 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

MINERACAO GERAL DO BRASIL S/A; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B1**, 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

MINERACAO GERAL DO BRASIL S/A; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem B2**, 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

MINERIOS NACIONAL S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: BARRAGEM B2 AUXILIAR**, 2022. Disponível em: <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

MOTA, K. R. R. **Rompimento e Delimitação da Área de Inundação da Barragem Salto Moraes em Ituiutaba/MG**. Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Uberlândia, MG, Brasil. 171 f. Maio, 2017.

NEVES, L. P. **Segurança de Barragens – Legislação Federal Brasileira em Segurança de Barragens Comentada 2018**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/>>. Acesso em 15 de Novembro de 2022

PEARSON, KARL; FISHER, RONALD & INMAN, HENRY F. (1994), “**Karl Pearson and R. A. Fisher on Statistical Tests: A 1935 Exchange from Nature**”. The American Statistician, 48,1: 2-11

PORTAL DA EDUCAÇÃO, 2013. **Quartil e Percentil**. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/administracao/quartil-e-percentil/30565>>. Acesso em 18 de Dezembro de 2022

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 9 de Março de 2023

SAFM MINERACAO LTDA. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem Central**, 2022. Disponível em: <http://safm.com.br/?page_id=888>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

SAFM MINERACAO LTDA. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem da Grota**, 2022. Disponível em: <http://safm.com.br/?page_id=888>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

SAFM MINERACAO LTDA. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem de Aredes**, 2022. Disponível em: <http://safm.com.br/?page_id=888>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

SAMARCO MINERACAO S A. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barragem Eixo 1**, 2022. Disponível em: <<https://www.samarco.com/estruturas-disposicao-rejeitos/#planos>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

SOARES, L. (2010) **Barragem de Rejeitos**. In: **Tratamento de minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Cap. 19, p. 829-896.

THOMÉ, ROMEU; PASSINI M. L. (2018). **Barragens de Rejeitos em mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. Ciências Sociais Aplicadas em Revista, UNIOESTE.

TRONCOSO, J.H. (1997). “**Geotechnics of Tailings dams and sediments**” – International

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: 5 (MAC)**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: 5 (Mutuca)**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: 7B**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Alcindo Vieira**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Área IX**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: B3**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: B3/B4**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: B6**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: B7**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Baixo João Pereira**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Barnabé**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: BARRAGEM SERRINHA**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Borrachudo**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração:**

Borrachudo II, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cambucal I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cambucal II**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Campo Grande**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Capão da Serra**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Capim Branco**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Capitão do Mato**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cemig I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cemig II**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cianita 1**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Conceição**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Didão**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Didão Leste**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de

Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Diogo**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Dique de Pedra**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Dique PDE 3**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Doutor**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Elefante**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Forquilha I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Forquilha II**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Forquilha III**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Forquilha IV**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Forquilha V**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Freitas**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Galego**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Grupo**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Itabiruçu**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Maravilhas I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Maravilhas II**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Menezes I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Menezes II**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Monjolo**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Mosquito**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Norte Laranjeiras***, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Paracatu**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: PDE Fosforoso**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: PDE Permanente I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: PDE Permanente II – Fase I**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Peneirinha**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Piabas**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Pocilga**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Pontal**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Porteirinha**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Principal**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Quinzinho**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Rio do Peixe**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Santana**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Sul (Córrego do Canal)**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Sul Inferior**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Sul**

Superior, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Taquaras**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Timbopeba**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Torto**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Vargem Grande**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: VI**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: VII**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALE S.A.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Xingu**, 2022. Disponível em: <<https://www.vale.com/pt/paebm>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

VALLOUREC TUBOS DO BRASIL LTDA.; **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração: Cachoeirinha**, 2022. Disponível em: <<https://mineracaovallourecemdia.com.br/cachoeirinha/>>. Acesso em: 15 de Novembro de 2022

APÊNDICES

BARRAGEM	EMPRESA RESPONSÁVEL	METODO CONSTRUTIVO	DPA (dano potencial associado)	classe de risco	altura (m)	comprimento da crista (m)	Volume do reservatório (m3)	municípios atingidos	tempo de chegada da onda	extensão da mancha (km)	Nível de emergência
5 (MAC)	VALE S.A.	4	3	5	78	650	15.553.688	Nova Lima, Raposos, Sabará, Belo Horizonte, Santa Luzia e Lagoa Santa.	2	76	0
5 (Mutuca)	VALE S.A.	2	3	5	55	610	10.924.076	Barão de Cocais, Bom Jesus do Amparo e São Gonçalo do Rio Abaixo.	2	79	1
7B	VALE S.A.	1	3	4	31	110	98.294	Nova Lima	1	8,73	0
Alcindo Vieira	VALE S.A.	2	1	1	24	221	770.600	Itabira	1	3	0
Alemães	GERDAU AÇOMINAS S/A	4	3	4	57	273	3.415.000	Ouro Preto; Itabirito e Rio Acima	2	53	0
Área IX	VALE S.A.	4	3	5	27,24	416	639.854	Ouro Preto e Itabirito	1	17,9	2
B3	VALE S.A.	1	3	4	19,5	180	37.000	São Gonçalo do Rio Abaixo	2	1,2	0
B3/B4	VALE S.A.	4	3	5	60,67	210	2.168.916	Nova Lima	1	8,3	2
B6	VALE S.A.	1	2	3	20	102	173.849	Nova Lima	1	7,5	0
B7	VALE S.A.	2	2	3	24	126	69.808	Nova Lima	1	7,1	0
Baias da UTM II	GERDAU AÇOMINAS S/A	1	2	3	57	200	26.000	N/A	N/A	N/A	0
Baixo João Pereira	VALE S.A.	4	2	3	17,9	144	64.451	Congonhas	1	7,2	0
Barnabé	VALE S.A.	2	3	4	28	221,39	202.958	Congonhas	2	22,3	0
Barnabé 1	VALE S.A.	1	3	4	33	210	409.990	Congonhas	2	17,9	4
Barragem B1	HERCULANO MINERACAO LTDA	1	2	3	22	1100	1.209.300	Itabirito	2	8,87	0
Barragem B1	MINERACAO GERAL DO BRASIL S/A	4	1	2	47	200	412.000	N/A	N/A	N/A	0
Barragem B1 A Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	3	3	5	37	176	22.460	Brumadinho	2	12	1
Barragem B2	MINERACAO GERAL DO BRASIL S/A	4	1	2	25,5	240	424.000	N/A	N/A	N/A	0
BARRAGEM B2	MINERIOS NACIONAL S.A.	4	3	4	40	390	2.616.466	N/A	N/A	N/A	0
BARRAGEM B2 AUXILIAR	MINERIOS NACIONAL S.A.	4	3	5	33	650	4.500.000	N/A	N/A	N/A	2
Barragem B4	CSN MINERACAO S.A.	4	3	4	65	605	13.001.821	N/A	N/A	N/A	0
Barragem B4	HERCULANO MINERACAO LTDA	2	2	3	43	326,5	1.300.400	Itabirito	2	6,24	0
Barragem Casa de Pedra	CSN MINERACAO S.A.	2	3	4	84	1500	65.374.575	N/A	N/A	N/A	0
Barragem Central	SAFM MINERACAO LTDA	4	2	3	25	182	385.171	Itabirito	N/A	N/A	0
Barragem da Grota	SAFM MINERACAO LTDA	1	3	4	13,5	70	109.565	Itabirito	2	0,29	0
Barragem de Aredes	SAFM MINERACAO LTDA	4	2	3	17	365	385.339	N/A	N/A	N/A	0
Barragem de Contenção de Sedimentos do Josino	Ferro + Mineração S.A.	2	2	3	9,4	125	24.062	N/A	N/A	N/A	0
Barragem do Vigia	CSN MINERACAO S.A.	4	3	4	11,3	399	812.901	N/A	N/A	N/A	0
Barragem Eixo 1	SAMARCO MINERACAO S A	1	3	4	41	322	818.337	Mariana e Barra Longa	1	N/A	0

BARRAGEM	EMPRESA RESPONSÁVEL	METODO CONSTRUTIVO	DPA (dano potencial associado)	classe de risco	altura (m)	comprimento da crista (m)	Volume do reservatório (m3)	municípios atingidos	tempo de chegada da onda	extensão da mancha (km)	Nível de emergência
BARRAGEM SERRINHA	VALE S.A.	1	2	3	4	115	30.000	Brumadinho	1	10	0
Borrachudo	VALE S.A.	1	3	4	6	62	190.000	Itabira	2	15,7	0
Borrachudo II	VALE S.A.	1	3	4	20	126	525.009	Itabira	2	19,6	0
Cachoeirinha	VALLOUREC TUBOS DO BRASIL LTDA.	2	3	4	48	1273	2.850.834	N/A	2	3,41	0
Cambucal I	VALE S.A.	2	3	4	15,4	250	220.841	Itabira	2	8,99	0
Cambucal II	VALE S.A.	2	3	4	21,3	210	115.700	Itabira	2	8,94	0
Campo Grande	VALE S.A.	4	3	5	98,14	1544	22.978.889	Mariana; Ouro Preto; Alvinópolis; Bela Vista de Minas; João Monlevade; Nova Era; Rio Piracicaba; Santa Bárbara	2	128,4	1
Capão da Serra	VALE S.A.	2	3	4	55	239	4.373.048	Nova Lima	2	10	0
Capim Branco	VALE S.A.	2	3	4	27	233,77	105.254	Brumadinho	2	17,1	0
Capitão do Mato	VALE S.A.	1	3	5	38,31	240	1.819.650	Rio Acima, Itabirito, Nova Lima, Raposos, Sabará, Belo Horizonte, Santa Luzia, Lagoa Santa, Jaboticatubas e Taquaraçu de Minas	1	164	1
Cemig I	VALE S.A.	2	3	4	35,2	190	12.633.508	Santa Maria de Itabira, Ferros, Dolores de Guanhões, Joanésia, Braúnas, Açucena, Mesquita, Belo Oriente	2	14,5	0
Cemig II	VALE S.A.	2	3	4	26,08	134	791.669	Itabira	2	6,43	0
Cianita 1	VALE S.A.	1	3	4	23,05	700	525.000	Nova Lima e Rio Acima	2	30	0
Conceição	VALE S.A.	2	3	4	50,7	390	31.792.702	Itabira, Nova Era, Antônio Dias, Jaguaruçu, Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Caratinga, Bom Jesus Itabira, Nova Era, Antônio Dias, Jaguaruçu, Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Caratinga, Bom Jesus do Galho, Santana do Paraíso	2	149	0
Dicão	VALE S.A.	2	3	4	30,4	355	109.000	São Gonçalo do Rio Abaixo	2	21	0
Dicão Leste	VALE S.A.	1	3	5	16,5	126,4	504.801	Mariana e Catas Altas	1	12	1
Diogo	VALE S.A.	2	3	4	38,8	121,7	640.682	Rio Piracicaba, João Monlevade, Bela Vista de Minas e Nova Era	2	49	0
Dique 01	MINERACAO COMISA LTDA	1	2	4	15	475	124.500	N/A	N/A	N/A	1
Dique 02	MINERACAO COMISA LTDA	1	2	4	20	246,58	212.940	N/A	N/A	N/A	2
Dique B3 Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	2	3	4	23,5	68	15.431	N/A	N/A	N/A	4
Dique B4 Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	2	3	4	25	52,7	6.053	N/A	N/A	N/A	1
Dique de Pedra	VALE S.A.	1	3		19,6	94		Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	2
Dique PDE 3	VALE S.A.	1	2	4	25,5	162	32.000	São Gonçalo do Rio Abaixo	2	3,1	0

BARRAGEM	EMPRESA RESPONSÁVEL	METODO CONSTRUTIVO	DPA (dano potencial associado)	classe de risco	altura (m)	comprimento da crista (m)	Volume do reservatório (m3)	municípios atingidos	tempo de chegada da onda	extensão da mancha (km)	Nível de emergência
Doutor	VALE S.A.	4	3	5	84	1100	35.000.000	Ouro Preto; Mariana; Barra Longa; Belo Oriente; Bom Jesus do Galho; Bugre; Caratinga; Corrego Novo; Dionísio; Iapu; Ipaba; Ipatinga; Marliéria; Pingo D'Água; Ponte Nova; Raul Soares; Rio Casca; Rio Doce; Santa Cruz do Escalvado; Santana do Paraíso; São Domingos do Prata; São José do Goiabal; São Pedro do Ferros; Sem Peixe; Timóteo	N/A	N/A	1
Elefante	VALE S.A.	1	2	3	18,6	97	24.168	Rio Piracicaba	2	0,15	0
Forquilha I	VALE S.A.	4	3	5	96,83	420	12.763.177	Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	2
Forquilha II	VALE S.A.	4	3	5	90,87	480	22.778.398	Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	2
Forquilha III	VALE S.A.	4	3	5	77	770	19.476.113	Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	3
Forquilha IV	VALE S.A.	3	3	4	105	448	3.748.233	Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	0
Forquilha V	VALE S.A.	1	3	4	100	393,94	1.423.389	Ouro Preto e Itabirito	1	54,8	0
Freitas	VALE S.A.	1	2	3	9	205	36.005	Ouro Preto	2	1,2	0
Galego	VALE S.A.	2	3	4	37,28	127,3	1.675.116	Sabará, Santa Luzia e Belo Horizonte (MG)	2	12,5	0
Grupo	VALE S.A.	4	3	5	41,41	246	1.961.714	Ouro Preto e Itabirito	1	12,2	0
Itabiruçu	VALE S.A.	2	3	4	71	810	166.955.292	Itabira, Nova Era, Antônio Dias, Jaguaraçu, Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Caratinga, Bom Jesus do Itabira, Nova Era, Antônio Dias, Jaguaraçu, Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Caratinga, Bom Jesus do Galho, Santana do Paraíso, Ipaba, Belo Oriente, Bugre, Iapu, Naque, Açucena.	2	200,56	0
Maravilhas I	VALE S.A.	2	2	3	38,55	350	2.920.000	Itabirito	1	10	0
Maravilhas II	VALE S.A.	2	3	5	97,92	790	90.122.658	Nova Lima, Itabirito, Rio Acima, Raposos, Sabará, Belo Horizonte, Santa Luzia, Lagoa Santa, Vespasiano, Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Baldim, Funilândia, Jequitibá, Cordisburgo e Santana do Pirapama.	1	353	0
Menezes I	VALE S.A.	1	1	1	16,37	91	18.093	Brumadinho	2	1,2	0
Menezes II	VALE S.A.	1	3	4	21	202	287.502	Brumadinho	1	10,38	0
Monjolo	VALE S.A.	2	3	4	23,2	129,6	73.000	Santa Barbara e Rio Piracicaba	2	10	0
Mosquito	VALE S.A.	2	3	4	11,9	235	222.500	Catas Altas e Santa Bárbara	00m00s	26	0
Norte Laranjeiras*	VALE S.A.	1	3	5	58,8	544	1.742.900	Barão de Cocais, São Gonçalo do Rio Abaixo, Bom Jesus do Amparo	2	47,4	1
Paracatu	VALE S.A.	1	2	4	22,17	80	2.321	Catas Altas	2	1,4	0
PDE Fosforoso	VALE S.A.	1	1	1	21	74	20.000	Mariana	2	0,5	0
PDE Permanente I	VALE S.A.	1	3	4	8,6	110,9	62.149	Mariana	2	3,9	0
PDE Permanente II - Fase I	VALE S.A.	1	2	3	7	15	15.000	Mariana	2	3,97	0

BARRAGEM	EMPRESA RESPONSÁVEL	METODO CONSTRUTIVO	DPA (dano potencial associado)	classe de risco	altura (m)	comprimento da crista (m)	Volume do reservatório (m3)	municípios atingidos	tempo de chegada da onda	extensão da mancha (km)	Nível de emergência
Peneirinha	VALE S.A.	2	2	4	40	279,9	953.000	Nova Lima	1	10	1
Piabas	VALE S.A.	2	3	4	29	154	2.088.639	Itabira, Santa Maria de Itabira, Ferros, Joanésia, Dolores de Guanhães e Braúnas	1	129,85	0
Pilha 01	AVG EMPREENDIMENTOS MINERARIOS S.A.	4	2	3	95	0	38.770	N/A	N/A	N/A	0
Pilha 02	AVG EMPREENDIMENTOS MINERARIOS S.A.	4	3	4	40	567	863.785	N/A	N/A	N/A	0
Pocilga	VALE S.A.	1	N/A	N/A	9	100	9.917	Santa Bárbara	N/A	N/A	0
Pontal	VALE S.A.	2	3	5	68	790	209.801.640	Itabira, Nova Era, Antônio Dias, Jaquaraçu, Timóteo, Coronel Fabriciano Ipatinga, Caratinga, Santana do Paraíso, Ipaba, Belo Oriente, Bugre, Iapu, Naque e Açucena.	1	185	1
Porteirinha	VALE S.A.	2	3	5	28,9	179	156.427	Santa Barbara e Rio Piracicaba	2	20	0
Principal	VALE S.A.	2	3	4	24	280	210.298	Santa Bárbara e Barão de Cocais	1	46,4	0
Quinzinho	VALE S.A.	1	3	4	16	130	219.616	Itabira	1	9,05	0
Rio do Peixe	VALE S.A.	1	3	4	31	210	14.144.168	Itabira, Nova Era, Antônio Dias	1	83,88	0
Santana	VALE S.A.	2	3	5	51,72	153	14.068.108	Açucena, Belo Oriente, Braúnas, Bugre, Ferros, Iapu, Joanésia, Mesquita, Naque, Santa Açucena, Belo Oriente, Braúnas, Bugre, Ferros, Iapu, Joanésia, Mesquita, Naque, Santa Maria de Itabira	1	188,79	0
Sul (Córrego do Canal)	VALE S.A.	2	3	4	83	804	2.335.600	São Gonçalo do Rio Abaixo, Barão de Cocais, João Monlevade, Itabira, Bela Vista de Minas e Nova Era	2	123,8	0
Sul Inferior	VALE S.A.	1	3	5	35	200	595.348	Barão de Cocais e Santa Barbara	1	7,7	0
Sul Superior	VALE S.A.	4	3	5	85	714	5.950.974	Barão de Cocais e Santa Barbara	1	7,7	3
Taquaras	VALE S.A.	1	3	4	25	95	151.972	Nova Lima	1	18,1	0
Timbopeba	VALE S.A.	1	3	4	64,9	580	1.075.248	Ouro Preto; Mariana; Barra Longa, Ponte Nova; Rio Doce; Santa Cruz do Escalvado	2	137	0
Torto	VALE S.A.	1	3	N/A	54,4	535	16.400.000	Barão de Cocais, São Gonçalo do Rio Abaixo, Bom Jesus do Amparo, João Monlevade, Itabira, Bela Vista de Minas, Nova Era, Antônio Dias.	2	129	0
Vargem Grande	VALE S.A.	4	3	5	35	884	8.500.000	Nova Lima, Rio Acima, Itabirito Raposos, Sabará, Belo Horizonte, Santa Luzia, Vespasiano, Lagoa santa, Jaboticatubas e Pedro Leopoldo.	2	180	1
VI	VALE S.A.	1	3	4	45,15	323,12	502.671	Brumadinho	1	25,06	0
VII	VALE S.A.	1	2	3	22,5	91	11.394	Brumadinho	2	1,3	0
Xingu	VALE S.A.	4	3	5	70	838	N/A	Mariana e Ouro Preto	2	3,7	2