

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

HECTOR AUSBERTO ZABALA YUJRA

ESTUDO DE ROTAS DE FUGA NA CIDADE DE ITABIRA-MG EM DECORRÊNCIA
DO RISCO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM

Joinville

2022

HECTOR AUSBERTO ZABALA YUJRA

ESTUDO DE ROTAS DE FUGA NA CIDADE DE ITABIRA-MG EM DECORRÊNCIA
DO RISCO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestruturas do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Andrea Holz Pfützenreuter

Joinville

2022

HECTOR AUSBERTO ZABALA YUJRA

ESTUDO DE ROTAS DE FUGA NA CIDADE DE ITABIRA-MG EM DECORRÊNCIA
DO RISCO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia civil, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 18 de março de 2022.

Banca Examinadora:

Prof.^a. Dra. Andrea Holz Pfützenreuter
Orientadora
Presidente

Prof.^a. Dra. Simone Malutta
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Msc. Engenheira Thamires Ferreira Schubert
Membro
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

“À minha querida mãe Celia Yujra Chacolla (in memoriam), cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Brasil, à Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, a todos os servidores públicos e prestadores (as) de serviços das empresas que trabalham no Centro Tecnológico de Joinville.

Também agradeço à professora Dra. Andrea Holz Pfützenreuter, por ter me orientado na realização deste trabalho, a minha família e amigos como Vinicius de Souza Carneiro, Juan C. da Costa, Marcos V. Mafra, Américo Wandscheer e família, Mario H. de Oliveira e família e ao senhor Valdir Antônio Voz, que de alguma forma me apoiaram durante esta longa caminhada longe da minha terra natal.

RESUMO

Acidentes/desastres recentes envolvendo rompimento de barragens de rejeitos de minérios tem causado grandes impactos econômicos, ambientais e sociais no Brasil. A ruptura desse tipo de estrutura é rara, porém, dependendo de sua localização e da ocupação do solo à jusante, seu dano potencial associado faz com que seja necessário o estudo referente às zonas inundáveis em consequência do seu rompimento hipotético, para auxiliar no planejamento e na prevenção destas áreas daqui em diante denominadas de Zonas de Auto Salvamento (ZAS). O presente trabalho tem como objetivo o estudo e reconhecimento das zonas de resgate mais populosas e com risco a inundação de lama de rejeitos decorrentes da ruptura hipotética de Barragens localizadas na cidade de Itabira, no estado de Minas Gerais, assim como, o estudo de implantação de rotas de fuga nessas zonas. É realizado a identificação e o reconhecimento de barragens em níveis de emergência, é realizado um estudo minucioso, dos Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Após a identificação das zonas mais populosas e vulneráveis, é realizada uma análise das rotas de fuga e das placas de sinalização dispostas na região, para depois apresentar uma alternativa de sinalização, onde se destacam sinalizações do tipo horizontal, vertical e conceitos de *Wayfinding*.

Palavras-chave: Rompimento de Barragens. Rotas de fuga. Evacuação. Acidentes/desastres. Inundações. *Wayfinding*.

ABSTRACT

Recent accidents/disasters involving the rupture of ore tailings dams have caused major economic, environmental and social impacts in Brazil. The rupture of this type of structure is rare, however, depending on its location and the occupation of the soil downstream, its associated potential damage makes it necessary to study the floodable areas as a result of their hypothetical rupture, to assist in the planning and in the prevention of these areas hereinafter called self-rescue zones. The present work aims at the study and recognition of the most populated rescue zones and at risk of the flooding of tailings mud resulting from the hypothetical rupture of dams located in the city of Itabira, in the state of Minas Gerais, as well as the implementation study of escape routes in these areas. The identification and recognition of dams at emergency levels is carried out, a detailed study of the Emergency Action Plans for Mining Dams is carried out. After identifying the most populated and vulnerable areas, an analysis is carried out of the escape routes and the signposts arranged in the region, to then present an alternative signage, where horizontal and vertical signs and Wayfinding concepts stand out.

Keywords: Break Dams. Escape routes. Evacuation. Accidents. Floods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização de barragens no Brasil.....	19
Figura 2: Barragens em níveis de emergência em Janeiro de 2022.....	20
Figura 3: Desastre brumadinho2019.....	22
Figura 4: Hipsometria da região do Complexo Itabira.....	34
Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo da região do Complexo Itabira.....	35
Figura 6: Barragens próximas do perímetro urbano de Itabira.....	36
Figura 7: Complexo Minerador de Itabira (MG) e a localização das barragens.....	37
Figura 8: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem Borrachudo II.....	41
Figura 9: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem de Santana.....	43
Figura 10: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem.....	45
Figura 11: Localização das edificações que podem ser atingidas.....	47
Figura 12: Área de inundação no bairro Praia-Itabira.....	48
Figura 13: Ponto de encontro 73 e rotas de fuga.....	50
Figura 14: Ponto de encontro 74 e rotas de fuga.....	51
Figura 15: Rota de fuga em trecho intransitável.....	52
Figura 16: Rota de fuga mal definida.....	52
Figura 17: Rotas de fuga ponto do de encontro 74.....	53
Figura 18: Placas de sinalização Rua Bom Jesus.....	54
Figura 19: Placas de sinalização Rua Serro.....	55
Figura 20: Placas de sinalização Rua Caetés.....	55
Figura 21: Placas de sinalização Rua Piracicaba.....	55
Figura 22: Placas de sinalização Rua Joao Camilo.....	56
Figura 23: Placas de sinalização da Rua Conceição.....	56
Figura 24: Sistema de alarme.....	56
Figura 25: Sinalização mista de uma rota de fuga.....	57
Figura 26: Novo sistema de rotas de fuga sugeridas.....	59
Figura 27: Placa de sinalização de ponto de encontro 73.....	60
Figura 28: Área do ponto de encontro definido no novo sistema de rotas de fuga....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de barragens em nível de emergência em Janeiro de 2022.....	21
Quadro 2: Classificação de sinalizadores.	29
Quadro 3: Princípios a seguir nas sinalizações.	31
Quadro 4: Dados Gerais da Barragem Borrachudo II.	40
Quadro 5: Dados barragem de Santana.	42
Quadro 6: Dados barragem de Pontal.....	44
Quadro 7: Quantitativo de ativos e possíveis consequências.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios para definição do porte da barragem e do porte do reservatório. 39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de Aguas

ANM – Agencia Nacional de Minas

ATAs – Acidentes de trabalho ampliados

ATs – Acidentes de trabalho

CRI – Categoria de Risco

COTRAN – Conselho Nacional do Transito

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais

DPA – Dano Potencial Associado

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GSBM – Gerência de Segurança de Barragens de Mineração

MG – Minas Gerais

NBRs – Normas Brasileiras

PAEBM – Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração

PLANCON – Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil

RASBM – Relatório Anual de Segurança de Barragens de Mineração

RPs – Rotas principais

S.A. – Sociedade Anônima

SEDEC – Secretaria Nacional de Defesa Civil

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

ZSS – Zona de Segurança Secundária

ZAS – Zonas de Auto Salvamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. BARRAGENS.....	16
2.2. PLANOS DE CONTINGENCIA E EMERGENCIA.....	24
2.3. ORIENTAÇÃO E SINALIZAÇÃO EM ESPAÇOS PUBLICOS.....	26
2.4. SINALIZAÇÃO EM VIAS PUBLICA.....	29
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO.....	32
3. METODOLOGIA.....	33
3.1. AREA DE ESTUDO.....	33
3.2. PAEBM DAS BARRAGENS DE ITABIRA.....	37
4. CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS EM NIVEIS DE EMERGENCIA.....	39
4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS AREAS POPULOSAS DE MAIOR RISCO E VULNERABILIDADE.....	46
4.2. ANALISE DAS ROTAS DE FUGA.....	52
4.3. ANALISE DAS PLACAS DE SINALIZAÇÃO.....	53
4.4. ALTERAÇÕES SUGERIDAS NAS PLACAS E NA SINALIZAÇÃO DAS ROTAS DE FUGA.....	57
5. CONCLUSÃO.....	61
5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

Segundo Castro (1998), desastre é definido como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, chamados tecnológicos, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais, ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. O termo “adverso” significa hostil, inimigo, contrário, aquele que traz infortúnio e infelicidade. Os desastres são normalmente súbitos e inesperados, de uma gravidade e magnitude capaz de produzir danos e prejuízos diversos, resultando em mortos e feridos. Portanto, exigem ações preventivas e restauradoras em áreas passíveis a serem afetadas, por parte dos setores governamentais e privados.

Os desastres tecnológicos têm sua origem em uma das diferentes etapas do processo produtivo. A produção industrial segmentada em suas diferentes etapas (extração, produção, transporte e armazenamento) resultam em eventos com impactos negativos locais e regionais sobre o meio ambiente, atingindo populações, por vezes distantes geograficamente desses empreendimentos. Um dos impactos imediatos observados é o aumento na frequência e magnitude de eventos envolvendo o setor extrativo de mineração. No Brasil, entre os anos de 2001 e 2019 foram registrados dez casos de rompimento de barragens, sendo quatro deles ocorridos no estado de Minas Gerais (MADEIRO, 2019). Ao terem origem nos processos produtivos relacionados à mineração e à disposição dos seus rejeitos, constituem-se primariamente como acidentes de trabalho (ATs) combinados com impactos que se ampliam no espaço (centenas de quilômetros além do local de origem) e no tempo (alterações ecológicas e contaminações cujos efeitos podem se prolongar por anos e décadas), denominados por alguns de acidentes de trabalho ampliados (ATAs). No AT/desastre da Samarco (uma subsidiária da Vale S.A.) em 2015, foram 19 óbitos, dos quais 14 (74%) foram de trabalhadores, envolvendo 50 milhões de m³ de lama de rejeitos, atingindo 36 municípios em uma extensão de 650 km ao longo do Rio Doce. O AT/desastre da Vale S.A., em 2019, entre desaparecidos (que dificilmente serão encontrados com vida após um mês de buscas) e óbitos, totaliza mais de 300 vítimas. Destas, 131 (42%) eram trabalhadores diretos da Vale e os outros 177 classificados conjuntamente como terceirizados/comunitários. Além de vítimas, esse evento envolveu 13 milhões de m³ de lama de rejeitos, atingindo, ao menos, 18 municípios em uma extensão de 250 quilômetros (FREITAS, 2019).

Segundo o relatório anual da Agência Nacional de Águas (ANA) de 2019, mais de 3,5 milhões de pessoas moram em cidades localizadas perto de barragens de rejeitos. É nesse

contexto que o estudo e identificação da vulnerabilidade das áreas na jusante de barragens são essenciais para serem traçadas políticas públicas urbanas de caráter preventivo, com objetivo de redução de perdas humanas (ANAZAWA, 2012).

A evacuação é uma ação complexa que exige um planejamento consolidado para que atinja o seu principal fim, que é de salvar vidas. Como parte do planejamento da evacuação, está a identificação da vulnerabilidade, traçando um perfil da população e da área a ser evacuada, auxiliando na orientação de ações prévias que irão consolidar as rotas de fuga e outras ações a serem tomadas (JAFARI et al., 2003).

No Brasil, o apoio à pesquisa nestas áreas é mínima, empresas envolvidas nas catástrofes tem disponibilizado pouco conteúdo técnico científico sobre advertência e prevenção de perigos iminentes ou do impacto que os seus empreendimentos podem causar. Após os eventos catastróficos, as entidades envolvidas, como governos, estados, prefeituras, empresas, e instituições de ensino e pesquisa, comecem a desenvolver pesquisas e documentos sobre planos e programas de prevenção, para evitar perdas materiais e de vidas humanas. No Brasil, um desses documentos são os PAEBMs, o qual todo empreendimento devesse apresentar anualmente para a autorização do seu funcionamento à Agência Nacional de Mineração (ANM), órgão fiscalizador do governo federal, o mesmo tem também a obrigação de publicar mensalmente, relatórios da situação das barragens como realizar o acompanhamento das mesmas. Outros avanços permitiram implementar uma série de iniciativas nas áreas de risco a inundações, em países com alta exposição a tsunamis, como: sistemas de alerta precoce, mapas ameaça, instalação de alto-falantes para transmitir mensagens de alerta, colocação de sinalização indicando rotas de evacuação e construção de infraestrutura pesada, como grandes quebra-mares, especialmente para proteger instalações críticas (SATAKE, 2014; SHUTO e FUJIMA, 2009).

Desta forma, no presente trabalho pretende realizar uma pesquisa bibliográfica em artigos e publicações relacionados com inundações, e implantação de rotas de fuga, para seguidamente identificar zonas de risco iminente e realizar um estudo de implantação de rotas de fuga usando conceitos de *wayfinding*, utilizado na orientação e sinalização de espaços públicos internos como hospitais, prédios, residências, instituições de ensino e similares.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Reconhecer e identificar a ZAS mais populosa da cidade de Itabira – MG que atualmente sofre risco de inundação em decorrência do rompimento de uma barragem de rejeitos e realizar o estudo das rotas de fuga no local.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar barragens próximas ao perímetro urbano da cidade de Itabira – MG que estejam em níveis de emergência;
- Estudar os Planos de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) das barragens em níveis de emergência;
- Identificar áreas mais populosas que seriam atingidas pela mancha de inundações decorrentes do possível rompimento de uma barragem em Itabira;
- Estudar e analisar as rotas de fuga implantadas pela Vale S.A. e avaliar o estado das placas de sinalização;
- Sugerir alterações no sistema de evacuação com base na pesquisa bibliográfica em ZAS mais populosa/critica;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BARRAGENS

Segundo a Agência Nacional das Águas (2020), uma barragem é uma estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. Em geral, dividem-se em barragens convencionais, que são construídas previamente à fase de operação, e barragens de rejeitos, construídas em etapas durante a fase de operação. Os principais componentes de uma barragem convencional são a estrutura de retenção ou barramento, fundação, ombreiras, a zona vizinha à jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório.

2.1.1 Barragens de rejeitos

Barragem de rejeito é uma estrutura construída com a finalidade de armazenar os resíduos de mineração (CRUZ, 2004). A partir de uma estrutura inicial de contenção denominada dique de partida, os rejeitos são lançados para armazenamento, formando um depósito com uma zona denominada praia e outra denominada lagoa de decantação. Este tipo de barragem rejeitos tornou-se uma preocupação nacional após os desastres ocorridos em Brumadinho e Mariana, cidades situadas no estado Minas Gerais, alertando às catástrofes ambientais e sociais irreparáveis.

Segundo ICOLD (2001), a maior parte das falhas em barragens está relacionada com a falta ou ineficiência do controle hidrológico. O crescente aumento da carga sobre os drenos abaixo da barragem, principalmente quando são realizados os alteamentos, pode prejudicar a drenagem adequada.

Uma das possíveis causas de rompimento de barragens de terra chama-se galgamento e ocorre quando o vertedouro não possui capacidade suficiente, fazendo com que a água verta sobre a crista da barragem, assim, inicia-se uma erosão no talude de jusante podendo resultar na formação de uma brecha de ruptura de forma regressiva ocasionando a ruptura global do barramento (Souza et al., (2019), apud PEREIRA, 2009).

A infiltração, conhecida também como “*piping*”, pode levar a estrutura ao colapso, e ocorre pelo mal dimensionamento dos filtros, fazendo com que o solo se rompa na parte

interna da barragem ocasionando a percolação de água seguida de uma grande ação erosiva no maciço, e a passagem de água com partículas por um solo com erosão subterrânea, originando assim a formação de canais dentro da massa de solo. O aparecimento desses canais, por onde a água acaba circulando dentro da estrutura de contenção, danificam e comprometem toda a estrutura, favorecendo o seu rompimento (PEREIRA, 2009).

A liquefação é um fenômeno que ocorre em solos granulares saturados quando submetidos a carregamentos suficientemente rápidos para produzir um grande acréscimo das poro-pressões com a consequente redução das tensões efetivas e da resistência ao cisalhamento (FREIRE NETO, 2009).

A falha por liquefação ocorre devido à falta de drenagem e causa a redução da resistência ao cisalhamento. Essas falhas podem ser desencadeadas por abalos sísmicos ou outras vibrações, dispersão da fundação, ou alguma forma de colapso do talude. Estes episódios ocorrem instantaneamente sem sinais prévios. (SMITH, 1979).

Por último tem-se o fator relevante que pode influenciar no rompimento de uma barragem que é a questão da falha humana.

Cabe ao empreendedor da barragem prover os recursos necessários à garantia de sua segurança e, por se tratar de um projeto de alto risco deve-se manter o serviço especializado em segurança de barragem conforme o Plano de Segurança das Barragens. Dentre as possíveis causas humanas que acarretam ruptura de barragens destacam-se as falhas tanto no projeto, operação inadequada no reservatório e monitoramento inadequado das estruturas (PEREIRA, 2009).

2.1.2 Barragens de rejeitos no Brasil

Em 2010 foi criada a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelecida pela Lei Federal nº 12.334/2010, com os objetivos de garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências; criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança; coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos; e fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos, entre outros.

A PNSB não se aplica a todas as barragens existentes, somente àquelas que apresentem ao menos uma destas características: altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros); capacidade total do

reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos); reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas; ou categoria de risco alto, a critério do fiscalizador (conforme alteração dada pela Lei Federal nº 14.066/2020). (ANA, 2021).

Em 2020 a Gerência de Segurança de Barragens de Mineração (GSBM) publicou no âmbito da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) o primeiro Relatório Anual de Segurança de Barragens de Mineração (RASBM). Em 2021, publicaram o RASBM correspondente ao ano 2020, para apresentar as atividades desenvolvidas nesse ano, dando sequência ao informe das ações realizadas pela ANM no que tange a segurança das barragens de mineração. (ANM, 2020).

A elaboração destes Relatórios teve como principal objetivo disponibilizar e apresentar ao público as ações realizadas pela equipe da GSBM a cada ano apresentando os procedimentos de fiscalização das barragens de mineração e nos resultados obtidos, para o aperfeiçoamento da legislação e na atuação técnica, almejando a transparência necessária ao trabalho desenvolvido no setor.

Por um longo período, a construção de barragens de rejeitos no Brasil foi realizada com o uso de técnicas empíricas, as quais foram desenvolvidas a partir da década de 30, sem a utilização de conhecimentos da engenharia de barragens. Para a construção dessas estruturas, empregavam-se equipamentos de lavra, com orientação técnica dos engenheiros de minas, e o material estéril era lançado transversalmente aos vales para a construção dos aterros (PIMENTA DE ÁVILA, 2011).

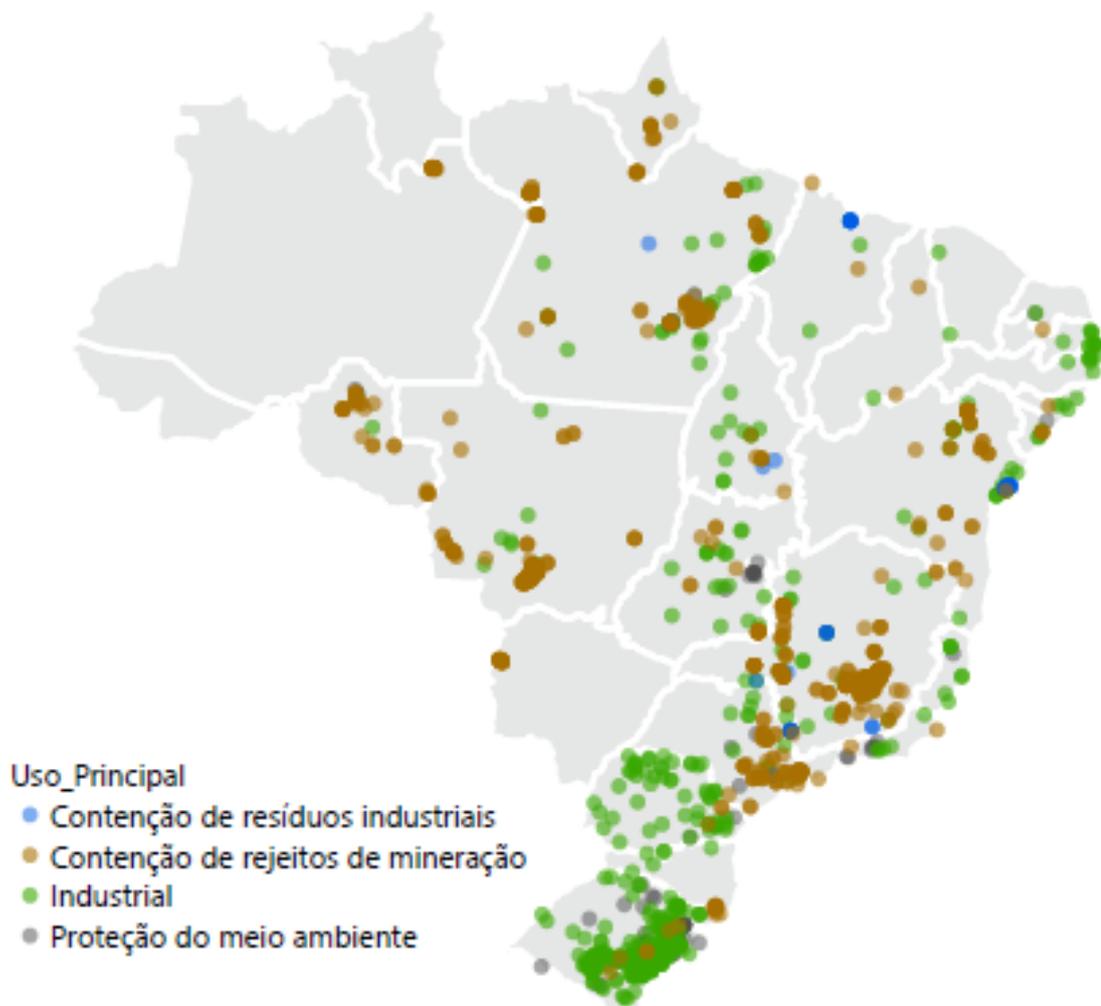
Devido ao aumento na escala de operações e o progresso das atividades de mineração, houve aumento significativo no volume de rejeitos armazenados e problemas relacionados à estrutura das barragens passaram a oferecer riscos de falhas e rupturas significativas começaram a ocorrer.

A expansão da extração mineral que ocorreu nos últimos anos, impulsionada pela valorização das commodities, pode estar relacionado com o aumento do risco de rupturas de barragens, pelo crescimento dos volumes de rejeitos produzidos; no aumento da altura das barragens e aumento do volume do reservatório. Esses fatores resultam em um maior risco de ruptura e em maior potencial de dano (MARTINS, 2016).

2.1.3 Cadastro Nacional de Barragens de Mineração no Brasil

O Cadastro Nacional de Barragens de Mineração – CNBM, é gerenciado pela ANM por meio do Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM, que permite o acompanhamento remoto das informações que os empreendedores são obrigados a cadastrar e manter atualizadas. O sistema possibilita a obtenção em tempo real um panorama sobre a evolução das estruturas de armazenamento de sedimentos e rejeitos de mineração existentes em todo o país.

Figura 1: Localização de barragens no Brasil.



Fonte: Agência Nacional das Águas, 2021.

No início de 2021 o SIGBM contava com 877 barragens de mineração cadastradas, das quais 436 (49,7%) estavam inseridas na PNSB. Já no final do ano, o sistema computava 906 barragens cadastradas, das quais 455 (50,2%) se enquadravam nos critérios da PNSB.

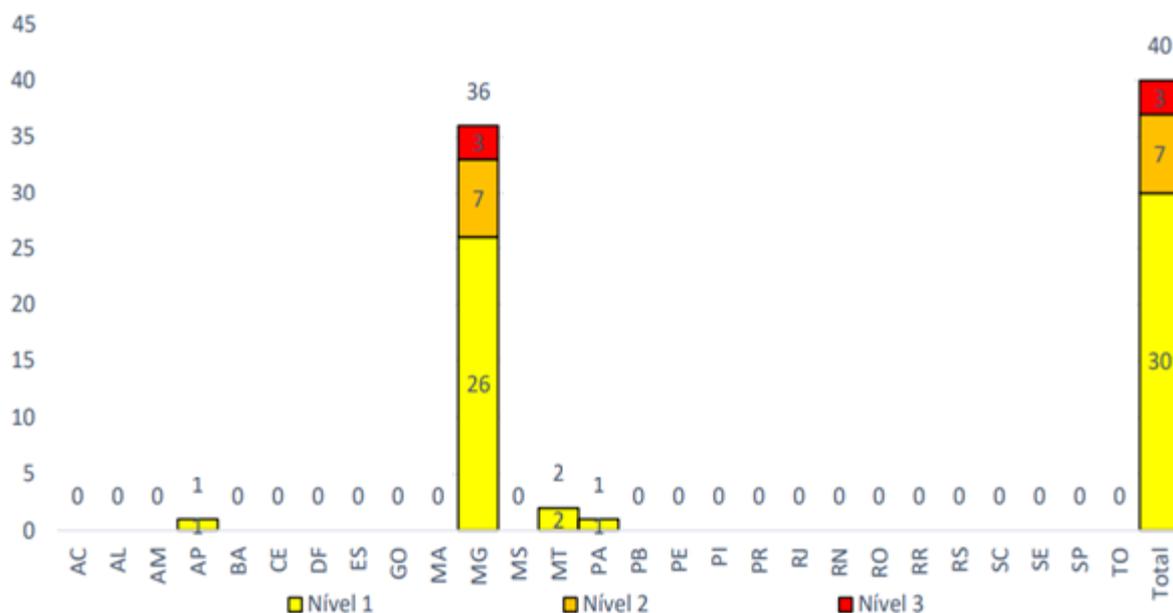
De acordo com a Lei as barragens incluídas na PNSB são classificadas quanto a Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA). No final de 2021 o cadastro apresentava os seguintes percentuais de estruturas CRI Alto (10%), Médio (13 %) e Baixo (77 %) (Figura 5 a), e DPA Alto (56 %), Médio (34 %) e Baixo (10 %).

Segundo a ANM, barragens de mineração que apresentam anomalias capazes de colocar em risco sua segurança, ou que não possuem estabilidade declarada, deverão ter seu nível de emergência acionado, que a depender da gravidade da situação são classificados em:

- Nível 1 – Quando detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos em qualquer coluna do Quadro de Classificação de CRI relativa ao estado de conservação, quando a estrutura não tiver DCE positiva, ou para qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura;
- Nível 2 – Quando o resultado das ações adotadas na anomalia for classificado como não controlada;
- Nível 3 – A ruptura é iminente ou está ocorrendo.

Os dados do relatório mensal da ANM, publicados na primeira semana de fevereiro 2022, havia 905 barragens de mineração cadastradas no SIGBM, das quais 454 estão enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Atualmente existem 40 barragens em situação de emergência declarada, distribuídas de acordo com o quadro 1.

Figura 2: Barragens em níveis de emergência em Janeiro de 2022.



Fonte: Adaptado de ANM, 2022.

Quadro 1: Lista de barragens em nível de emergência em Janeiro de 2022.

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF	Nível de Emergência
B3/B4	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 3
Forquilha III	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 3
Sul Superior	VALE S.A.	BARÃO DE COCAIS	MG	Nível 3
BARRAGEM B2 AUXILIAR	Minérios Nacional S.A.	RIO ACIMA	MG	Nível 2
Barragem de Rejeitos	ARCELORMITTAL BRASIL S.A.	ITATIAIUÇU	MG	Nível 2
Capitão do Mato	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 2
Forquilha I	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 2
Forquilha II	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 2
Grupo	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 2
Xingu	VALE S.A.	MARIANA	MG	Nível 2
5 (MAC)	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
5 (Mutuca)	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
6	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
7a	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
Água Fria	Topazio Imperial Mineração Comercio e Industria Ltda	OURO PRETO	MG	Nível 1
Área IX	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 2
B	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
Barragem B1A Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	BRUMADINHO	MG	Nível 1
Barragem de Mineração- CPM	NORMA ARGES OLIVA	POCONÉ	MT	Nível 1
Barragem do Serginho	SERGIO DA SILVA	SRA. DO LIVRAMENTO	MT	Nível 1
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG	Nível 1
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG	Nível 1
Barragem Quéias	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	BRUMADINHO	MG	Nível 1
Borrachudo II	VALE S.A.	ITABIRA	MG	Nível 1
Campo Grande	VALE S.A.	MARIANA	MG	Nível 1
Dicão Leste	VALE S.A.	MARIANA	MG	Nível 1
Dique de Pedra	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 1
Dique do Grotão	BURITIRAMA MINERACAO S.A.	MARABÁ	PA	Nível 1
Doutor	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 1
Forquilha IV	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	Nível 1
Maravilhas II	VALE S.A.	ITABIRITO	MG	Nível 1
Marés I	VALE S.A.	BELO VALE	MG	Nível 1
Marés II	VALE S.A.	BELO VALE	MG	Nível 1
Mario Cruz	DEV MINERACAO S.A	PEDRA BRANCA DO AMAPARI	AP	Nível 1

Norte/Laranjeiras	VALE S.A.	BARÃO DE COCAIS	MG	Nível 1
Paracatu	VALE S.A.	CATAS ALTAS	MG	Nível 1
PDE 3	VALE S.A.	SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	MG	Nível 1
Peneirinha	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
Pontal	VALE S.A.	ITABIRA	MG	Nível 1
Santa Bárbara	VALLOUREC TUBOS DO BRASIL LTDA.	BRUMADINHO	MG	Nível 1
Santana	VALE S.A.	ITABIRA	MG	Nível 1
Sul Inferior	VALE S.A.	BARÃO DE COCAIS	MG	Nível 1
Vargem Grande	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	Nível 1
Barragem B2	MINÉRIOS NACIONAL S.A.	RIO ACIMA	MG	Nível 1
DIQUE LISA	VOLLOUREC TUBOS BR LTDA	NOVA LIMA	MG	Nível 2

Fonte: Agencia Nacional de Minas, 2022.

Segundo a ANM, embora não tenha sido registrado rompimento de barragem de mineração ou acidentes envolvendo vítimas em 2021, algumas ações emergenciais da equipe de segurança de barragens foram necessárias para averiguar incidentes e interferir em situações que, caso não observadas, poderia evoluir para uma situação mais grave e ocasionalmente transformar-se em um acidente.

2.1.4 Enchentes envolvendo barragens de rejeitos

Os principais incidentes com barragens de rejeitos no Brasil ocorreram em Itabirito, no ano de 1986; em Macacos, no ano de 2001; em Mirai, nos anos de 2006 e 2007; em Itabirito, 2014 e os mais recentes em Mariana 2015, sendo este o incidente de maior impacto sócio ambiental da história brasileira e o de Brumadinho em 2019.

Figura 3: Desastre brumadinho2019.



Fonte: CNN Brasil, 2022.

As maiores ocorrências de acidentes em barragens de rejeitos têm como principais causas a liquefação e o *piping*, causando mortes, impactos ambientais de grandes proporções e prejuízos para as mineradoras. A barragem rompida em 2015 na cidade de Mariana, em Minas Gerais, denominada como Barragem de Fundão, foi a estrutura que causou o maior desastre ambiental do Brasil relacionada à mineração. A estrutura pertencente à mineradora Samarco, controlada pela Vale e pela BHP Billiton, tinha em torno de 56,6 milhões de m³ de lama proveniente dos rejeitos de minério, de onde 43,7 milhões de m³ vazaram atingindo os afluentes e o próprio Rio Doce, dizimando o pequeno vilarejo chamado de Bento Rodrigues e deixando destroços por todas as regiões próximas, como também, privando milhares de municípios a água potável e trabalho (GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A, 2019b). Os danos causados não foram apenas ambientais, mas também de infraestrutura, culturais, econômicos e familiares (como as centenas de crianças que ficaram órfãs), (FREITAS, 2019).

Os rejeitos de mineração de ferro na região do quadrilátero ferrífero apresentam alto potencial de contaminação dos meios físico e biótico, do curto ao longo prazo, devido ao seu conteúdo de minério fino e presença de metais pesados. Ao atingir as partes baixas do relevo, o escoamento de rejeitos contaminou os recursos hídricos locais, bem como o rio Paraopeba. A drenagem dos rejeitos dizimou a ictiofauna e outros animais aquáticos, provavelmente por asfixia via aumento exacerbado da carga de sedimentos (LOPES, 2016).

Embora a Vale tenha declarado na época que a barragem possuía todos os certificados de estabilidade e seguranças nacionais e internacionais, e que a barragem estava dentro do limite de risco, os laudos de 2017 e 2018 indicam que a empresa sabia do risco de rompimento da barragem Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho. A mineradora tem um documento interno do ano de 2017, e naquela época já constava a chance de colapso da barragem, que já era duas vezes maior que o nível máximo de risco individual tolerável. Outro documento, do ano de 2018 indica que a barragem estava em uma zona de atenção, por estar situada e uma área próxima a um núcleo urbano (LOPES, 2016).

Tanto a Barragem em Brumadinho, quanto a barragem em Mariana, foram feitas com alteamento a montante, que é o método de alteamento de menor custo e também o mais instável. Após os acidentes este método construtivo foi proibido. Cabe ressaltar a preocupação que se deve ter com os municípios do quadrilátero do ferro localizados no estado de Minas Gerais, pois muitos deles estão localizados debaixo de barragens de rejeitos em estado CRI.

2.2. PLANOS DE CONTINGENCIA E EMERGENCIA

A elaboração de planos como os de emergência e contingência está diretamente relacionada à possível ocorrência de eventos imprevisíveis, que tragam riscos para a organização de um modo geral. Além de estar relacionado a problemas financeiros ou físicos e buscam preparar uma empresa para enfrentar qualquer situação adversa, como exposto em OSHA (2013).

Para McConnel e Drennan (2006), o planejamento e a preparação para uma situação de crise são ferramentas políticas e institucionais. Esses autores consideram que o conceito de cada plano está vinculado aos riscos de difícil previsão e que são capazes de afetar um grande contingente de pessoas.

Na Política Nacional de Defesa Civil, o conceito de risco é visto como sendo a relação entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou de acidente aconteça e o grau de vulnerabilidade do sistema que irá receber seus efeitos (BRASIL, 2007).

O plano de contingência estabelece medidas e procedimentos de recuperação das operações vitais para a empresa, buscando restabelecer as atividades para a manutenção do seu funcionamento, através de ações imediatas diante dos cenários de acidentes que coloquem em risco as instalações e/ou negócio da empresa de modo geral (CERTITECNA, 2013).

Portanto, o plano de contingência é abrangente e o plano de emergência mais específico. Um plano contingencial relaciona diversos aspectos de uma empresa, ou até mesmo de uma instituição governamental, considerando os riscos capazes de afetar a sobrevivência dos negócios de uma instituição. O plano de emergência trabalha na gestão operacional do desastre.

A Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) determina como deve ser a elaboração do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PLANCON), que é o planejamento de contingências válido para todos os estados do Brasil. Ele deve contemplar os objetivos como:

- Identificar a responsabilidade de organizações e indivíduos que desenvolvam ações específicas em emergências.
- Descrever as linhas de autoridade e relacionamento entre os órgãos envolvidos, mostrando como as ações serão coordenadas.
- Descrever como as pessoas, o meio ambiente e as propriedades serão protegidas durante a resposta ao desastre.

- Identificar pessoas, equipamentos, instalações, suprimentos e os outros recursos disponíveis para a resposta ao desastre, além de determinar o modo como serão mobilizados.
- Identificar as ações que devem ser implementadas antes, durante e depois da resposta ao desastre.

Um plano de emergência visa coibir os sinistros, limitar os seus danos por meios próprios, estruturando um conjunto de processos que envolvam os vários elementos da comunidade e de instituições. Além disso, trata de um plano de ações específicas, que descreve detalhadamente as atividades que devem ser tomadas para uma dada situação de risco, dando enfoque à necessidade de cada emergência (UNHCR, 2007).

De acordo com Viseu (2006), dentre as diversas formatações existentes, um plano de ações emergenciais pode ser dividido em três seções basilares:

- a) I – caracterização da região e dos riscos e vulnerabilidades correspondentes a cenários plausíveis de acidente.
- b) II – plano de ação com a definição de ligações hierárquicas e funcionais dos principais intervenientes, fixando as respectivas missões para dar resposta a situações de emergência; indicando os meios e recursos disponíveis; definição dos planos de aviso e de evacuação da população.
- c) III – treinamentos, atualização, revisão e disseminação do plano. Consiste em procedimentos para melhoria, atualização e eficácia do plano de emergência, divulgação pública, treinamento dos agentes de defesa civil e da população para obtenção de respostas eficazes em caso de acidentes.

O plano de evacuação deve ser considerado no contexto do plano de emergência, que, por sua vez, precisa ser contemplado pelo plano de contingência. Em consequência do grau de detalhamento e das análises de riscos que uma instituição ou uma comunidade podem estar suscetíveis, tanto a elaboração quanto a execução desses planos são bastante complexas.

2.2.1 Plano de evacuação

Evacuação é uma estratégia comum na gestão de emergência. Em muitos eventos de risco, a melhor opção é realocar a população ameaçada para áreas mais seguras. Durante uma situação de emergência, a evacuação bem sucedida de determinada área conta decisivamente com um planejamento para uma utilização eficiente dos meios disponíveis como infraestrutura e transporte.

Para Apte (2009, apud CAMPOS et al., 2012), um plano de evacuação tem por objetivo organizar as ações a serem tomadas para o deslocamento seguro das pessoas, deixando a comunidade mais preparada.

Conforme Kovács e Spens (2007), a preparação e o planejamento de evacuação de emergência, dependendo do tipo de desastre, permitem tempo suficiente para que toda a população seja deslocada, minimizando a sua exposição ao risco. Esses autores afirmam que, na formulação do plano é preciso realizar o estudo e a análise de cada tipo de emergência, entendendo: o número de pessoas a serem evacuadas, locais para onde deverão ir, como os abrigos e as rotas de saídas a serem utilizadas.

Na elaboração do plano, as rotas, os pontos de encontro e os abrigos devem ser previamente definidos. Durante o processo de evacuação, é necessário que haja constante supervisão da polícia e das autoridades competentes (AN et al., 2013).

A escolha dos pontos de encontro prioriza locais com fácil acesso para chegada e saída de um contingente de pessoas. Eles precisam ser espaços abertos, como praças, igrejas, campos de futebol, entre outros. Os abrigos precisam ter fácil acesso, estando localizados em vias apropriadas com espaço para o desembarque das pessoas, além de área para descarga de mantimentos. A divulgação de onde estão situados esses locais deve ser ampla e clara à população. As rotas de fuga serão estabelecidas para cada cenário de risco e devem indicar o caminho mais seguro entre as áreas de risco ocupadas pela população e os pontos de encontro e/ou abrigos (SEDEC, 2018).

2.3. ORIENTAÇÃO E SINALIZAÇÃO EM ESPAÇOS PÚBLICOS

Orientação espacial ou *wayfinding* é um processo inerente aos seres humanos para compreendermos e nos deslocarmos no espaço, é necessário saber onde estamos qual o caminho a seguir para chegar ao local desejado e então retornar. No alcance de um destino, são envolvidos processos perceptuais, cognitivos e comportamentais do usuário (ARTHUR e PASSINI, 2002). A orientação espacial pode ser materializada por meio da utilização de artefatos gráficos informacionais (como mapas, placas, folders, totens etc.), os quais podem constituir um sistema de *wayfinding*.

Segundo Mollerup (2009), sistemas de *wayfinding* deficientes podem levar a dificuldades de localização dos usuários nos ambientes, resultando em maior esforço cognitivo e podendo levar ao insucesso na tarefa de localização. Em ambientes complexos, tais dificuldades de localização e orientação acentuam-se devido a fatores como: (a) a

dificuldade que os usuários encontram em entender a sinalização, neste caso devido a falhas projetuais, questões ergonômicas, representações gráficas e textuais entre outras; (b) o abalo psicológico e estresse a que estão submetidos os. Esses fatores acabam prejudicando ainda mais a orientação espacial, uma vez que alteram a percepção e a cognição dos usuários, tornando a busca por um local específico ainda mais angustiante.

A compreensão do ambiente (orientação) para a ação de deslocamento em si (navegação) contam com alguns auxílios como: indicadores de localização, de circulação, sinalização de emergência, arquitetura, pontos de referência etc. (PADOVANI e MOURA, 2008 apud SMYTHE e SPINILLO, 2015). Alguns desses auxílios podem ser materializados em artefatos visuais. Esses compõem os sistemas de *wayfinding*, a partir da apresentação das informações necessárias à orientação espacial, como placas de sinalização, totens, folhetos e marcos referenciais (elementos arquitetônicos, ambientais naturais ou artificiais). Diante da diversidade de artefatos gráficos possíveis em sistemas de *wayfinding*, é importantes constar: legibilidade, estudo cromático, formas de representação dos símbolos, posicionamento da sinalização, mapas de rota e você estão aqui, placas e totens (SMYTHE e SPINILLO, 2015).

Andrade (2016) relata que “orientar-se espacialmente depende não só da legibilidade do ambiente e das informações adicionais nele disponíveis, como também da habilidade do indivíduo em percebê-las e tratá-las cognitivamente.”. Em outras palavras, a Orientação Espacial trata da união destes dois conceitos, sendo um fenômeno estático e dinâmico ao mesmo tempo. O indivíduo, portanto, cria o mapa cognitivo a partir de suas memórias e/ou as informações adicionais e, por fim, toma a decisão de deslocar-se pelo ambiente, utilizando aquilo que o pertence.

O processo de orientação espacial exige do indivíduo, cognitivamente, o cumprimento de três etapas. Conforme explica Andrade (2016), as três etapas são: o processamento da informação, a tomada da decisão e a execução da decisão.

Muitos dos processos de comunicação informacional não se adaptam a modelos lineares, o olho é a maior fonte de informações do corpo humano, ele é capaz de receber inúmeras informações ao mesmo tempo e assimilá-las rapidamente, por isso, a forma de como as informações são apresentadas perante a percepção dos olhos deve ser adequada, a informação pode ser interpretada de forma diferente da que a ‘fonte’ passou, não sendo interpretada de forma correta pelo seu usuário. Por isso é importante pensar em todos os significados possíveis que a sinalização pode trazer, e não somente o significado pela qual foi criada. (SIBELE, 2017).

Para Moraes (2002) a recepção das mensagens surge como um processo que compreende alguns fenômenos tais como a atenção, a percepção, a compreensão e a memorização. Toda informação é consequência de uma ação e através dos vários estágios de processamento informacional a ação pode se tornar consequência da informação. O processo de comunicação não tem início nem fim, mas relações mútuas entre partes para dar significado a todo um conjunto;

A cor é o primeiro elemento a ser percebido pelo usuário, devendo estar de acordo com o projeto dando espaço a legibilidade. A cor não tem existência material, e seu elemento determinante é a luz ou mais precisamente, a sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão (SIBELE, 2017).

De acordo com Fraser e Banks (2007), uma, das melhores formas para definir quais cores trabalham em harmonia juntas, é através do círculo cromático. A relação mais básica e de funcionalidade se dá entre as cores análogas, que são aquelas que estão lado a lado no círculo cromático; as que estão em lados opostos são as cores complementares, possuindo uma boa funcionalidade juntas; há também o uso de cores monocromáticas, que é aquele com apenas um matiz com variação de saturação e brilho.

Muitas áreas do espaço urbano não oferecerem condições adequadas para o deslocamento, apresentando estruturas labirínticas e, tornam a navegação uma tarefa árdua até mesmo para quem já está familiarizado com o ambiente. A sensação de desorientação vem acompanhada de sensações de ansiedade e desconforto. Além disso, a desorientação pode acarretar na perda de tempo, insegurança, e a vontade de abandonar ou evitar determinado trajeto (PASSINI, 1996; PASSINI; PROULX, 1998).

Segundo Dischinger (2006), as pessoas que possuem a visão, assim como as com deficiência visual, precisam criar representações mentais dos espaços. Tais representações conectam diferentes partes sequenciais das informações do ambiente, através de processos perceptivos, cognitivos, de ação e memorização. Segundo a autora, “o que importa é que uma pessoa cega possa reconhecer uma rua dentre outras, identificando os espaços públicos através de suas funções e identidade, utilizando-se de referências não visuais a orientação espacial ocorre de forma independente, e acaba facilitando a representação mental do espaço”.

Segundo Silva et al. (2015), as áreas de circulação devem possuir demarcação de trajetos com diferentes cores e contrastes, para circulações de maior fluxo recomendam-se cores quentes como vermelho e laranja. Para ambientes com maior quantidade de elementos naturais se recomenda o uso de marcações em amarelo. Os espaços de uso recreativo devem ser indicados com matizes mais claros, e cores devem variar entre os equipamentos, para que

possam ser identificadas com mais facilidade. As ambiências em que o azul do céu foi facilmente percebido indicam que estes espaços devem possuir cores quentes que contrastem com as cores frias dos elementos naturais, como o verde e o marrom.

2.4. SINALIZAÇÃO EM VIAS PÚBLICAS

A NBR 13.434-2 (2004) apresenta as sinalizações em casos de emergências e evacuações, sendo classificadas em quatro formas. A sinalização de alerta busca alertar um potencial de risco ou incêndio. Nas sinalizações de equipamentos, encontram-se os itens que auxiliam no alarme e no combate a incêndios. Na sinalização de orientação e salvamento, visa-se indicar as rotas de fuga, para uma evacuação adequada da edificação. Ao final, as sinalizações de proibição visam coibir ações que provoquem ou agravem incêndios e sinistros.

Andrade (2016) apresenta uma classificação sobre sinalizações englobando a exigência da NBR 9050 (2020) e a NBR 13.434-2 (2004). A seguir (Quadro 3), apresenta a classificação proposta pela autora para a sinalização.

Quadro 2: Classificação de sinalizadores.

CATEGORIA	FUNÇÃO
 DIRECIONAL	- indicar como proceder para chegar ao destino
 DE IDENTIFICAÇÃO	- identificar um ambiente, equipamento ou mobiliário e informar que o indivíduo alcançou o destino
 DE ORIENTAÇÃO	- oferecer aos indivíduos uma visão geral do local visitado
 INFORMACIONAL	- auxiliar na compreensão do significado de um ambiente e de tudo aquilo que nele está inserido
 REGULATÓRIA	- definir o que pode ou não fazer no local
 DE ADVERTÊNCIA	- alertar sobre os perigos e procedimentos de segurança em um ambiente
 DE EMERGÊNCIA	- indicar as rotas de fuga e saídas de emergência da edificação

Fonte: Andrade (2016).

Ao entender a classificação dos sete diferentes tipos de sinalização, percebe-se que cinco destes são relacionados à Orientação Espacial – direcional, de identificação, de

orientação, informacional e de emergência, e os outros dois são utilizados para o alerta de perigo das situações – regulatórias e de advertência. Quando aplicados de forma simultânea, estes garantem a orientação e segurança dos usuários.

No Brasil ainda não se possui uma norma regulamentadora sobre sinalização para rotas de fuga para evacuação em caso de desastres, enchentes e inundações, apenas tem-se algumas diretrizes elaboradas pelos diferentes conselhos nacionais de defesa civil de diferentes estados e da união.

O Conselho Nacional do Trânsito (CONTRAN) publicou o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, elaborado pela Câmara Temática de Engenharia de Tráfego, de Sinalização e da Via, que abrange as sinalizações, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica e sinalização de obras, determinadas por Resolução do CONTRAN.

2.4.1 Sinalização vertical

A sinalização vertical é um subsistema da sinalização viária, que se utiliza de sinais apostos sobre placas fixadas na posição vertical, ao lado ou suspensas sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente ou, eventualmente, variável, mediante símbolos e/ou legendas preestabelecidas e legalmente instituídas. A sinalização vertical tem a finalidade de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança, ordenar os fluxos de tráfego e orientar os usuários da via (CONTRAN, 2014).

A sinalização vertical é classificada segundo sua função, que pode ser de:

- Regulamentar as obrigações, limitações, proibições ou restrições que governam o uso da via;
- Advertir os condutores sobre condições com potencial risco existentes na via ou nas suas proximidades, tais como escolas e passagens de pedestres;
- Indicar direções, localizações, pontos de interesse turístico ou de serviços e transmitir mensagens educativas, dentre outras, de maneira a ajudar o condutor em seu deslocamento.

Os sinais possuem formas padronizadas, associadas ao tipo de mensagem que pretende transmitir (regulamentação, advertência ou indicação).

2.4.2 Sinalização horizontal

A sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária composta de marcas, símbolos e legendas, apostos sobre o pavimento da pista de rolamento, tem a finalidade de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança e fluidez do trânsito, ordenar o fluxo de tráfego, canalizar e orientar os usuários da via, a mesma tem a propriedade de transmitir mensagens aos condutores e pedestres, possibilitando sua percepção e entendimento, sem desviar a atenção do leito da via (COTRAN, 2014).

Na concepção e na implantação da sinalização deve-se ter como princípio básico as condições de percepção dos usuários da via, garantindo a sua real eficácia.

Para isso, é preciso assegurar à sinalização horizontal e outros, os princípios a seguir descritos:

Quadro 3: Princípios a seguir nas sinalizações.

Legalidade	Código de Trânsito Brasileiro – CTB e legislação complementar;
Suficiência	permitir fácil percepção, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
Padronização	seguir padrão legalmente estabelecido;
Uniformidade	situações iguais devem ser sinalizadas com os mesmos critérios;
Clareza	transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão;
Precisão e confiabilidade	ser precisa e confiável, corresponder à situação existente; ter credibilidade;
Visibilidade e legibilidade	ser vista à distância necessária; ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão;
Manutenção e conservação	estar permanentemente limpa, conservada e visível;

Fonte: COTRAN, 2014.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO

No decorrer deste estudo percebe-se não existe uma norma brasileira especificamente elaborada para orientar e regulamentar sistemas de sinalização de rotas de fuga para a evacuação de cidades ou áreas populosas com risco a sofrer enchentes de agua, rejeitos de minérios, lama, dentre outros.

Constatou-se que as barragens construídas para a retenção de rejeitos de minério no Brasil foram construídas utilizando o mesmo material, e o alteamento a montante foi a técnica mais utilizada por sua execução, custo e benefício. Ao mesmo tempo o problema com este tipo de barragens é que são susceptíveis à infiltração e percolação de água, a qual debilita a estrutura e conseqüentemente leva a barragem ao seu rompimento.

Sabe-se que o rompimento de uma barragem torna-se problemática nas áreas a jusante da mesma, a lama de rejeitos associada à velocidade de escoamento danifica o que estiver no seu percurso. O que justifica a importância dos sistemas de sinalização de rotas de fuga e sistemas de alerta nas áreas e zonas possíveis a serem atingidos. Um sistema de sinalização de rotas de fuga inadequado, com pouca visibilidade, sem manutenção, com placas de sinalização de cores que não contrastem com o ambiente, demonstra um sistema ineficaz, demorado e inoperante.

A literatura demonstra que conceitos de *wayfinding* tem melhorado a percepção em espaços públicos e áreas onde é preciso se orientar. A sinalização horizontal utilizada na sinalização de vias de trânsito aprimoram a eficiência da orientação e sinalização de ruas e estradas.

O estado de Minas Gerais concentra 40% de todas as barragens cadastradas no SIGBM, sendo que das enquadradas no PNSB 55% encontram-se no estado, especificamente 210 barragens de rejeitos, das quais todas estão em níveis de emergência.

No perímetro urbano da cidade de Itabira – MG, atualmente têm-se três barragens em nível de emergência conforme detalhado no Quadro 2, as mesmas são as barragens de Santana, Borrachudo II e Pontal, todas no mesmo nível de risco crítico, nível 1, que é o mesmo nível de risco crítico aos que foram classificados a barragem de Fundão em Mariana (2015) e a barragem da Mina Córrego do Feijão I em Brumadinho (2019). Assim, daqui em frente, o presente trabalho será focado nas barragens da cidade de Itabira e nos impactos que elas podem causar.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa documental e exploratória com uma abordagem quali-quantitativa na análise dos dados, realizado no estudo de caso de uma situação/problema real.

Recorreu-se a fontes como relatórios, revistas, jornais e documentos oficiais como os PAEBMs, informes e relatórios publicados pela ANM (mensais e anuais), publicações da CEDEC de Itabira – MG e documentos técnicos disponibilizados pela Vale S.A.. Também usou-se imagens de satélite do Google Earth para identificação de barragens e áreas da cidade.

Realizaram-se, levantamentos fotográficos das rotas de fuga e das placas de sinalização das mesmas.

Usou-se, conceitos do método das Economias também conhecido como Clarke e Wright, para a definição de novo sistema de rotas de fuga na ZAS identificada como a mais populosa, este sistema é amplamente utilizado na área logística para definir rotas mais curtas.

O objetivo do método proposto por Clarke & Wright (1964) é otimizar a roteirização de uma frota de veículos com capacidade limitada, partindo de um depósito central. Os autores propuseram algumas diretrizes para o problema, como o conhecimento da menor distância entre dois pontos e a homogeneidade dos produtos em relação à unidade de medida (BALLOU, 2006).

3.1. AREA DE ESTUDO

A exploração do minério de ferro em Minas Gerais remonta ao século 18 na região denominada, geologicamente, Quadrilátero Ferrífero. Essa região caracteriza-se por agregar vantagens geográficas e econômicas na prospecção desse minério, uma vez que os depósitos mineralizados, além de extensos e de possibilitarem sua fácil extração, apresentam ótima qualidade. Após 1930, a indústria siderúrgica ganhou impulso, quando houve aumento significativo da capacidade de produção e investimentos na construção de novas usinas, visando à exportação do produto. Outro fator relevante foi a nacionalização das siderúrgicas existentes, como a Itabira *Iron Ore Company* adquirida pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em 1942 (ANDRADE, 2012).

A CVRD, denominada Vale, é detentora das explorações de minério no Complexo Itabira, uma unidade geológica localizada na extremidade nordeste do Quadrilátero Ferrífero que alcança, em superfície, aproximadamente 180 km², cujo destaque principal, do ponto de

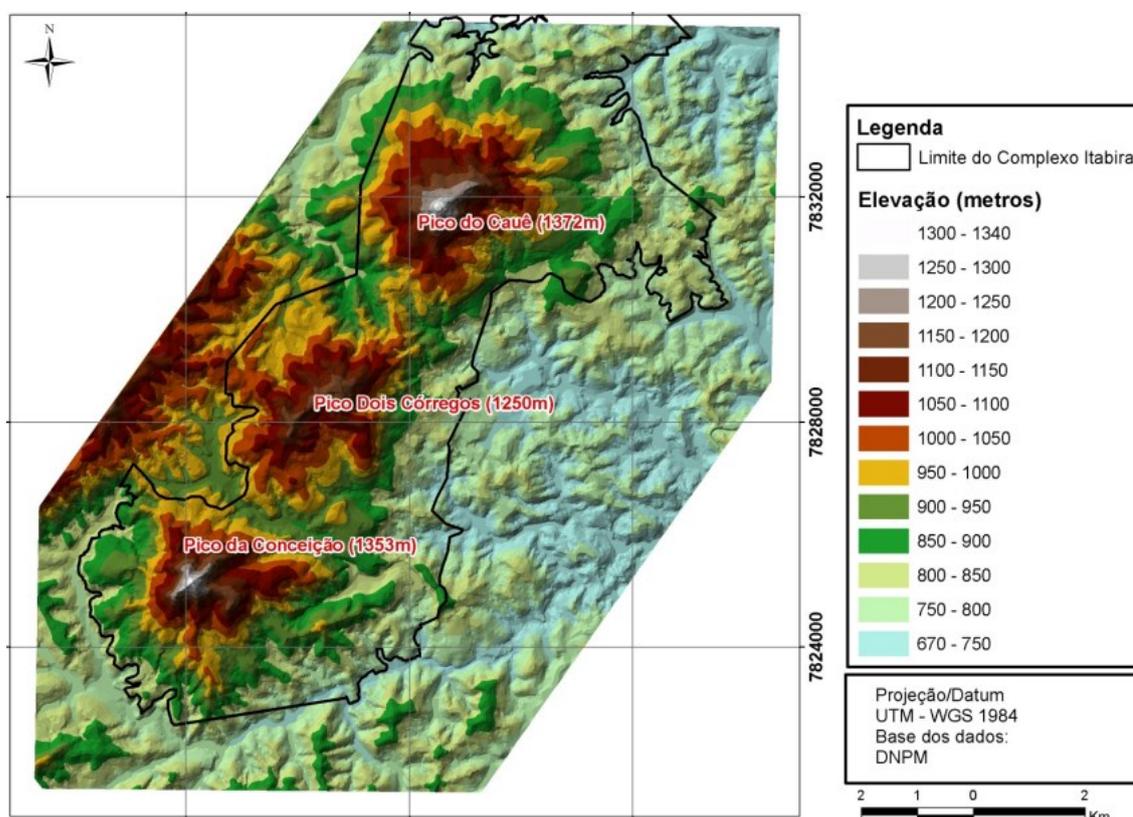
vista de seu acervo mineralógico, é a presença do minério de ferro. A cidade de Itabira, localizada no interior de Minas Gerais, é tradicionalmente conhecida pela extração de minério, pela mineradora Vale S.A..

A implantação e o desenvolvimento da Vale transformaram o modo de viver em Itabira, que passou de forma crescente, a depender de uma única atividade – a mineração – e de uma única empresa – a Vale (PRESAS, 2012).

O Complexo Minerador de Itabira (MG), cidade localizada a aproximadamente 110 km da capital Belo Horizonte, possui uma área de 14.282,00 ha e é caracterizado pela extração de minério de ferro que forma um conjunto de cavas em lavra a céu aberto, abrangendo as minas de Conceição, do Meio e Cauê (ANDRADE, 2012).

Conforme Silva (2007), o município de Itabira é compreendido pela unidade de paisagem serrana, representado pelas principais serras e morros que delimitam a região, além de arcabouços residuais que se manifestam na porção central e em algumas áreas do entorno, como a Serra de Cauê. Porém, a intensa exploração mineral tem descaracterizado a serra. Os morros e superfícies apresentam-se como conjunto de morros que, geralmente, acompanham as principais elevações da região ou as superfícies residuais, se manifestam ao longo do Vale do Rio das Velhas e nos limites regionais da porção nordeste.

Figura 4: Hipsometria da região do Complexo Itabira.

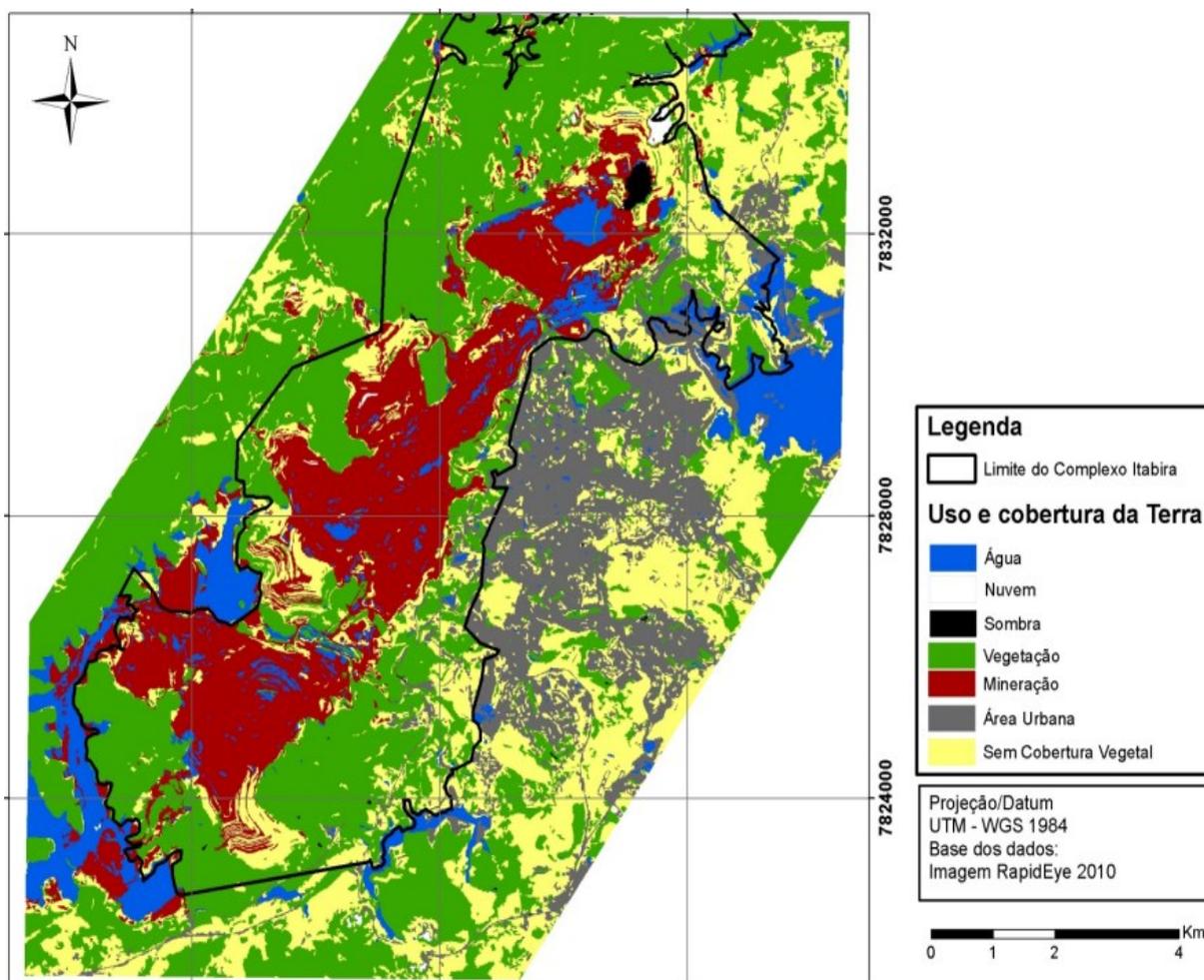


Fonte: Andrade, 2012.

Os morros apresentam elevações médias de 1.000m a 900m. Essa unidade é caracterizada por topos arredondados e com declividades médio-alto, entre 30 a 45°. As áreas a jusante do empreendimento apresentam de 800 a 750m caracterizados de médio a baixo declive. Verifica-se que na linha de crista residual, compreendida pelos picos, iniciou-se a exploração minerária na região, razão pela qual boa parte da cidade encontra-se na jusante das mencionadas minas e dos seus respectivos barragens de rejeitos.

A Figura 5 mostra os principais tipos de uso e cobertura da terra presentes na área ocupada pelo Complexo Itabira e em seu entorno. Em vermelho, caracterizado como mineração, são destacadas as cavas e demais componentes que constituem as minas. A área correspondente sem cobertura vegetal, próxima às cavas, são os taludes artificiais para recomposição topográfica.

Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo da região do Complexo Itabira.



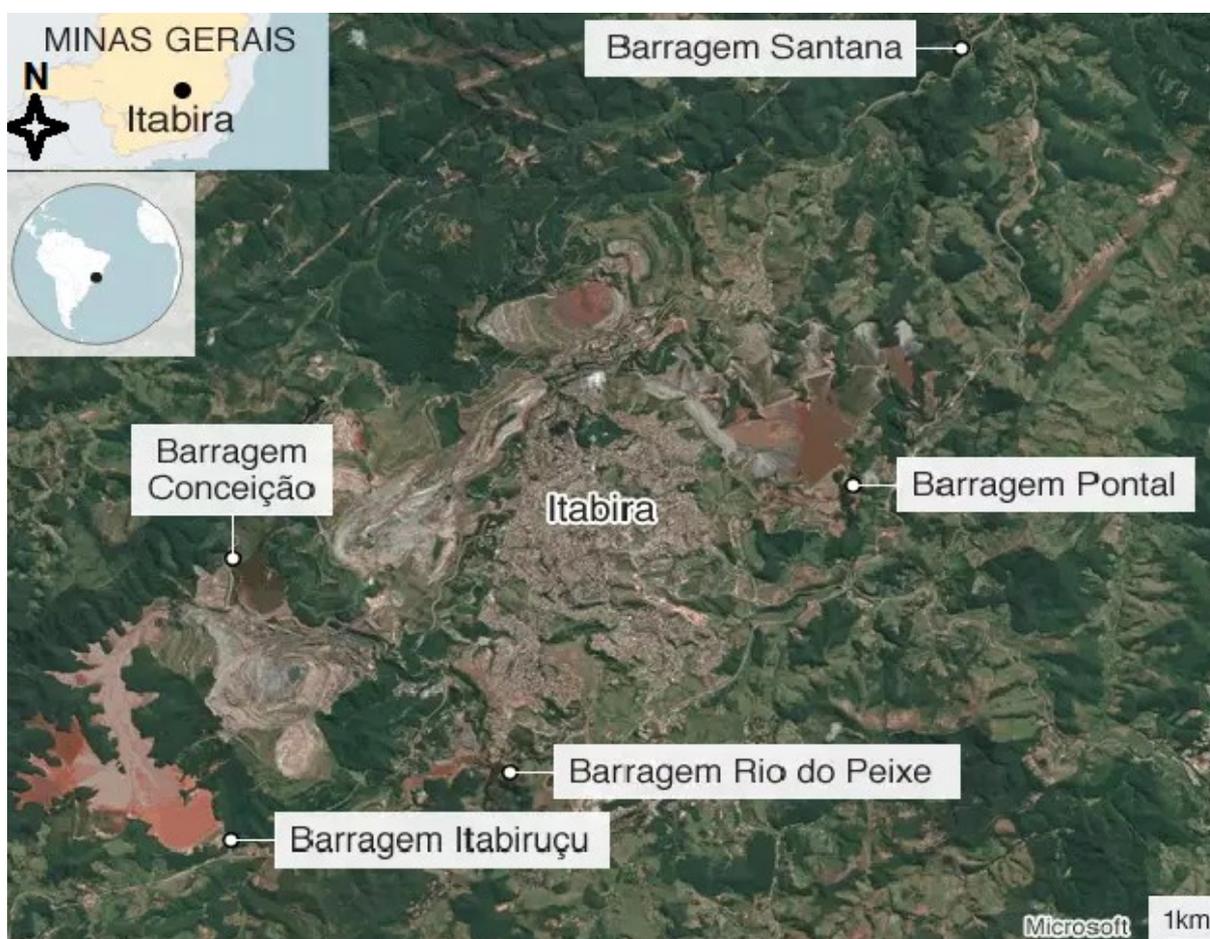
Fonte: ANDRADE, 2012.

A linha contínua retrata a localização e o limite do empreendimento e mostra como a exploração do minério nas últimas sete décadas desencadeou alterações significantes na superfície.

A empresa Vale tem quinze barragens no município, das quais cinco ficam próximas do perímetro urbano, as duas maiores são Pontal e Itabiruçu. Em alguns bairros, as casas terminam onde começa a represa de rejeitos de minério de ferro.

As cinco barragens mais próximas do centro da cidade armazenam 423 milhões de m³ de rejeitos, segundo os dados mais recentes da Agência Nacional de Mineração (ANM) - o número é de janeiro de 2019. É um volume equivalente a 33 vezes o que havia na primeira barragem que se rompeu na mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho (BBC BRASIL, 2019). A maioria tem avaliação no cadastro da ANM como de alto dano potencial em caso de ruptura. Todas são classificadas como de baixo risco - assim como eram as barragens de Mariana e Brumadinho, que se romperam.

Figura 6: Barragens próximas do perímetro urbano de Itabira.



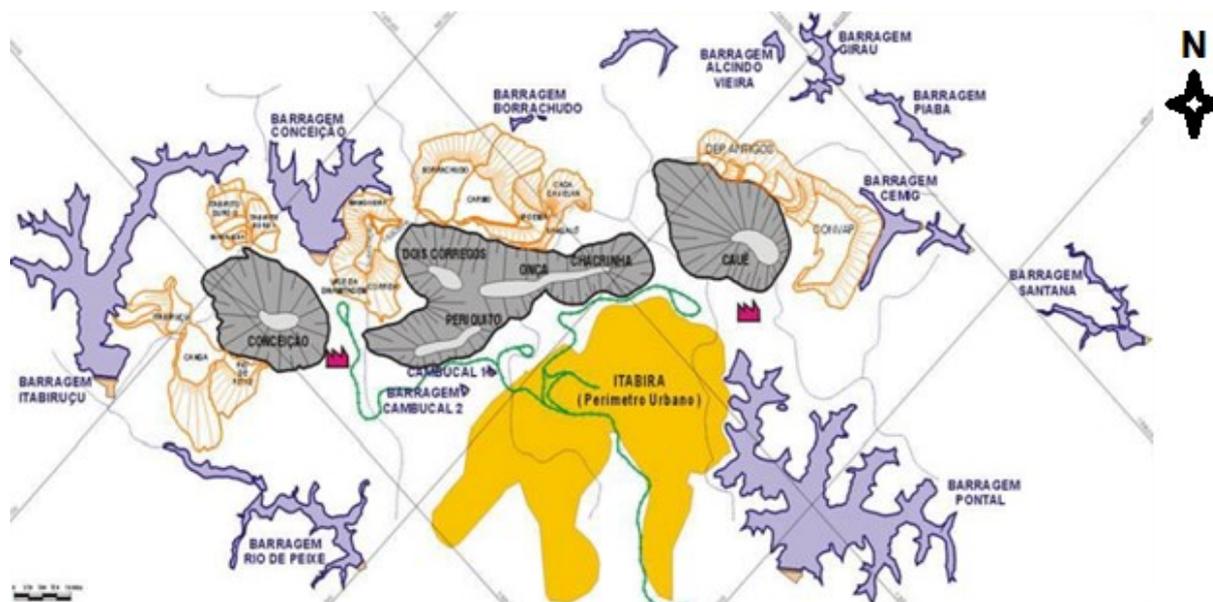
Fonte: ANM apud BBC, 2019.

O Complexo Itabira localiza-se entre as coordenadas 43°11'10" e 43°18'38" W e 19°34'00" e 19°41'30" S, ocupando superfície aproximada de 180 km² inserida no município de Itabira, Minas Gerais (Figura 6).

Os rejeitos originados a partir do beneficiamento do minério de ferro são direcionados às barragens de Conceição, Itabiruçu, Pontal e Rio do Peixe, que estão

localizadas próximas ao perímetro urbano. Essas quatro grandes estruturas são de contenção de rejeito, mas há ainda no entorno da cidade outras barragens utilizadas na mineração, tais como a Barragem Santana, Cambucal I, Cambucal II, Cemig I, Cemig II, Borrachudo, Borrachudo II, Jirau, Alcindo Vieira, Piabas e Dique Ipoema. Das barragens mencionadas, três estão atualmente em nível de emergência 1, e são: barragem Borrachudo II, Barragem de Santana e barragem do Pontal, todas pertencentes à mineradora Vale S.A..

Figura 7: Complexo Minerador de Itabira (MG) e a localização das barragens.



Fonte: ADRADE, 2012.

Na Figura acima podemos observar o complexo minerador de Itabira com suas minas a céu aberto e suas respectivas barragens de rejeitos, sendo a barragem do Pontal a mais próxima ao perímetro urbano da cidade de Itabira.

3.2. PAEBM DAS BARRAGENS DE ITABIRA

Para desenvolvimento do trabalho foi realizada uma consulta aos Planos de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração das barragens de Pontal, Borrachudo II e Santana, tais documentos sendo elaborados pela empresa Vale S.A. e disponibilizados conjuntamente com a Defesa Civil Municipal da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Itabira - MG.

De acordo com Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), no Artigo 8º da Portaria DNPM nº 416/2012, para Barragens de Mineração, o Plano de Segurança da Barragem (PSB) deverá ser composto ordinariamente por quatro volumes. Entretanto, quando

se tratar de barragens com Dano Potencial Associado Alto ou em qualquer caso, a critério do DNPM, o Plano de Segurança de Barragens (PSB) deverá conter 5 volumes, sendo o último o do Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM). O PAEBM consiste em um documento técnico a ser elaborado pelo empreendedor. Devem ser identificadas no documento as situações de emergências que possam colocar em risco a integridade da barragem, bem como devem ser estabelecidas as ações necessárias para sanar os danos, além da definição dos agentes envolvidos a serem notificados de tais ocorrências. O objetivo do documento é evitar ou minimizar danos com perdas de vida, propriedades e comunidades a jusante no caso de um possível evento (Instituto Minere, 2016).

O PAEBM, além dos itens requisitados no Plano de Ação Emergencial, deverá conter a descrição geral das barragens e das estruturas associadas; a identificação, análise e classificação das situações de emergência em níveis, a elaboração de mapas de inundação, indicando a Zona de Autossalvamento (ZAS) e a Zona de Segurança Secundária (ZSS). Além disso, devem ser listadas as competências de cada um dos responsáveis pela elaboração e execução do PAEBM e apresentados os planos e os registros das simulações e dos treinamentos internos e externos praticados em conjunto com as prefeituras, defesa civil, equipe de segurança da barragem, demais colaboradores do empreendimento e a comunidade compreendida na ZAS (Brasil, 2017).

Todos os PAEBMs das barragens de rejeitos correspondentes às minas da mineradora Vale S.A. são disponibilizados em forma de arquivos RAR no site da mineradora, as mesmas estão disponíveis no endereço: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Paginas/Projetos.aspx>, foi onde se obtiveram os arquivos antes mencionados correspondentes a todas as barragens de rejeitos da empresa.

Para o presente trabalho, foram examinados e analisados os PAEBMs (volume V do Plano de Segurança de Barragens) das barragens de Pontal, Borrachudo II e Santana, identificadas no Quadro 2 como críticas e em níveis de emergência. Assim, foi possível identificar zonas de autossalvamento (ZAS) mais populosas de Itabira, com risco comprovado a inundação de lama de rejeitos de mineração provenientes em decorrência do possível rompimento de uma das três barragens supracitadas.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS EM NÍVEIS DE EMERGENCIA

A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005, dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água, empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Essa deliberação apresenta os parâmetros para a determinação do porte da barragem e do porte do reservatório das estruturas no estado de Minas Gerais (Tabela 1).

Tabela 1: Critérios para definição do porte da barragem e do porte do reservatório.

Porte da Barragem	Altura da Barragem H (m)	Porte do Reservatório	Volume do Reservatório Vr (m³)
Pequeno	$H < 15$	Pequeno	$V_r < 500.000$
Médio	$15 \leq H \leq 30$	Médio	$500.000 \leq V_r \leq 5.000.000$
Grande	$H > 30$	Grande	$V_r > 5.000.000$

Fonte: COPAM, 2005.

Nos PAEBMs, dentre as ações propostas para atingir os objetivos principais é possível destacar:

- Meios de alertar a população possivelmente atingida pela mancha de inundação;
- Medidas para resgatar pessoas e animais atingidos;
- Medidas para assegurar o abastecimento de água potável às comunidades afetadas;

Assim, examinando e analisando arquivos e mapas contidos nos planos, foi possível caracterizar as barragens e estimar o impacto que as barragens em níveis de emergência podem causar.

A barragem Borrachudo II localizada no município de Itabira/MG, na Mina Meio, pertencente ao Complexo Itabira, é administrada pela empresa Vale S.A., suas principais características estruturais e dados quantitativos como qualitativos estão listadas no quadro 4 abaixo.

Quadro 4: Dados Gerais da Barragem Borrachudo II.

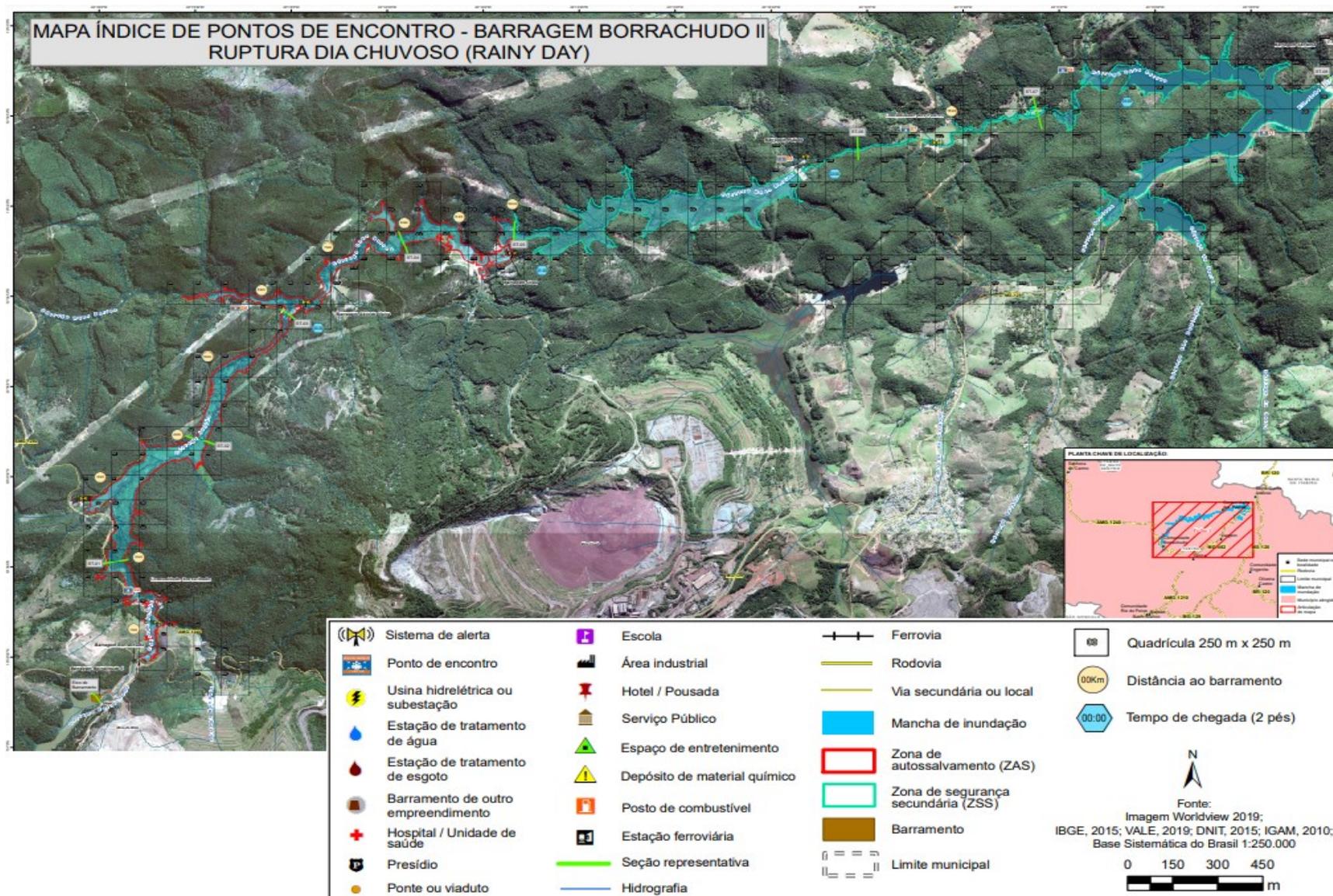
Dados Gerais	
Localização (m)	681.765 E e 7.830.475 N (SIRGAS 2000)
Finalidade	Contenção de sedimentos
Materiais Armazenados	Sedimentos e água
Metodologia Construtiva	Etapa Única
Seção Típica	Homogênea
Altura da Barragem (m)	20,00
Volume do Reservatório (m ³) ²	309.071 ³
Bacia Hidrográfica	Rio Doce
Curso d'água barrado	Córrego Borrachudo
Dano Potencial Associado ⁴	Baixo
Vertedouro	Superfície (livre ou controlado)

Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

Segundo dados do PAEBM (2021), a Barragem de Borrachudo II possui 20 metros de altura, e seu reservatório possui 309.071 m³, dessa forma, conforme os critérios apresentados na Tabela 1, o porte da barragem é meio e o do reservatório pode ser definido como pequeno.

A Figura 8 abaixo apresenta a espacialização da mancha de inundação em um possível rompimento da barragem Borrachudo II. As áreas que seriam atingidas correspondem a uma grande parcela da área rural do município, corpos hídricos e áreas de vegetação que se encontram na jusante da barragem, é possível observar que essas áreas tem pouca população.

Figura 8: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem Borrachudo II.



Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

A Barragem Santana, está inserida no município de Itabira/MG, na Mina Cauê, pertencente ao Complexo Itabira, é administrada pela empresa Vale S.A., suas principais características estruturais e dados quantitativos como qualitativos estão listadas na quadro 5 abaixo.

Quadro 5: Dados barragem de Santana.

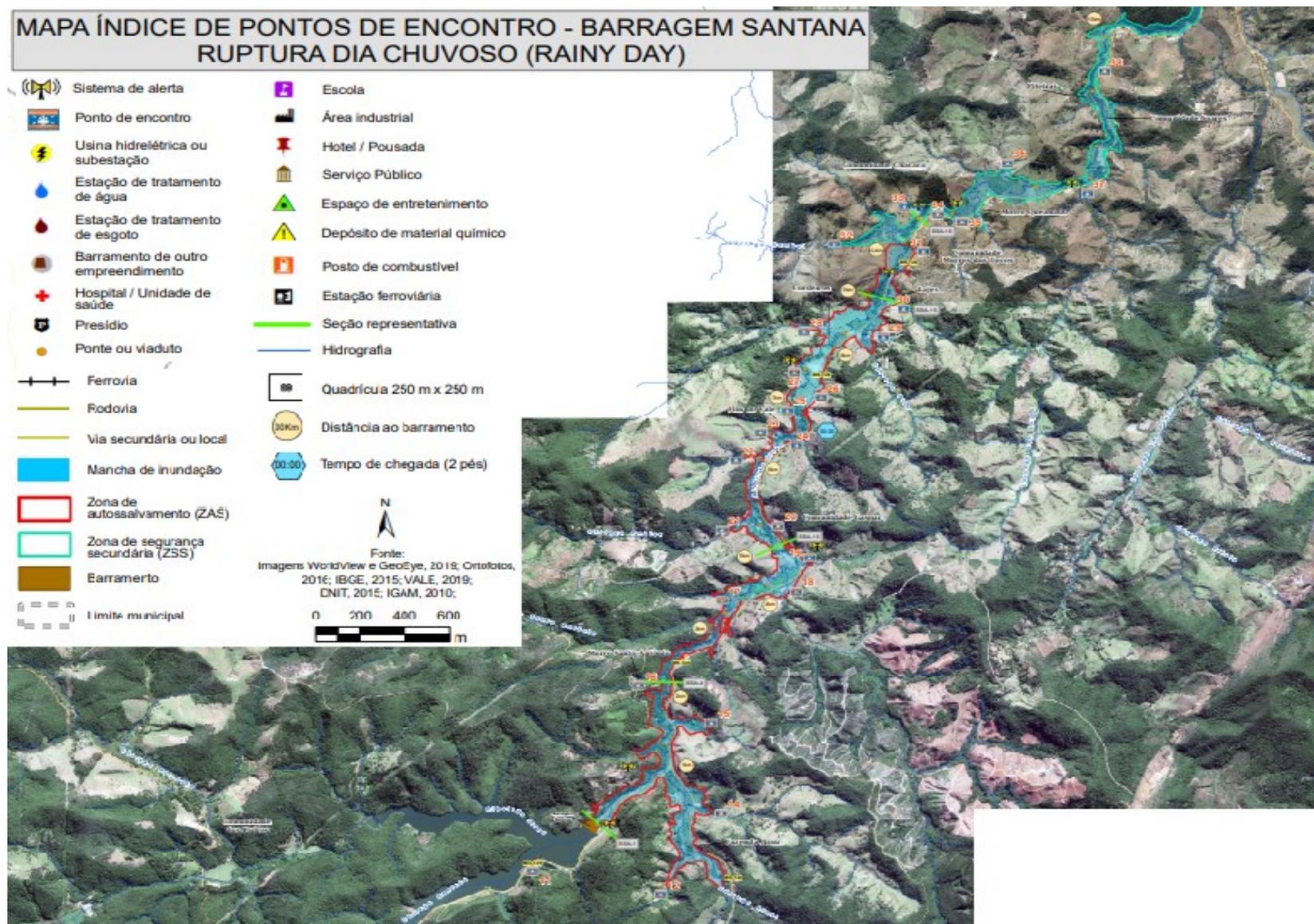
Dados Gerais	
Localização (m)	692.944 E e 7.836.714 N (SIRGAS 2000)
Finalidade	Contenção de sedimentos.
Materiais Armazenados	Sedimentos e água
Metodologia Construtiva	Jusante
Seção Típica	Homogênea
Altura da Barragem (m)	52,40
Volume do Reservatório (m ³) ³	11.456.940,00
Bacia Hidrográfica	Rio Doce
Curso d'água barrado	Ribeirão Jirau
Dano Potencial associado ⁴	Alto
Vertedouro	Superfície (livre ou controlado)

Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

Segundo dados do PAEBM (2021), a Barragem de Santana possui 52,40 metros de altura, e seu reservatório possui 11.456.940 m³, dessa forma, conforme os critérios apresentados na Tabela 1, o porte da barragem e do reservatório pode ser definido como de grande porte.

A Figura 9 apresenta a espacialização da mancha de inundação em um possível rompimento da barragem do Pontal. As áreas que seriam atingidas correspondem a uma parcela da área rural do município composto por múltiplas comunidades, corpos hídricos e áreas de vegetação que se encontram a jusante da barragem.

Figura 9: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem de Santana.



Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

O Sistema Pontal, constituído pela Barragem Pontal e seus diques internos denominados Dique 02, 03, 04, 05, Minervino e Cordão Nova Vista, está inserido no município de Itabira/MG, na Mina Cauê, pertencente ao Complexo Itabira, é administrada pela empresa Vale S.A., suas principais características estruturais e dados quantitativos como qualitativos estão listadas no quadro 6 abaixo.

Quadro 6: Dados barragem de Pontal.

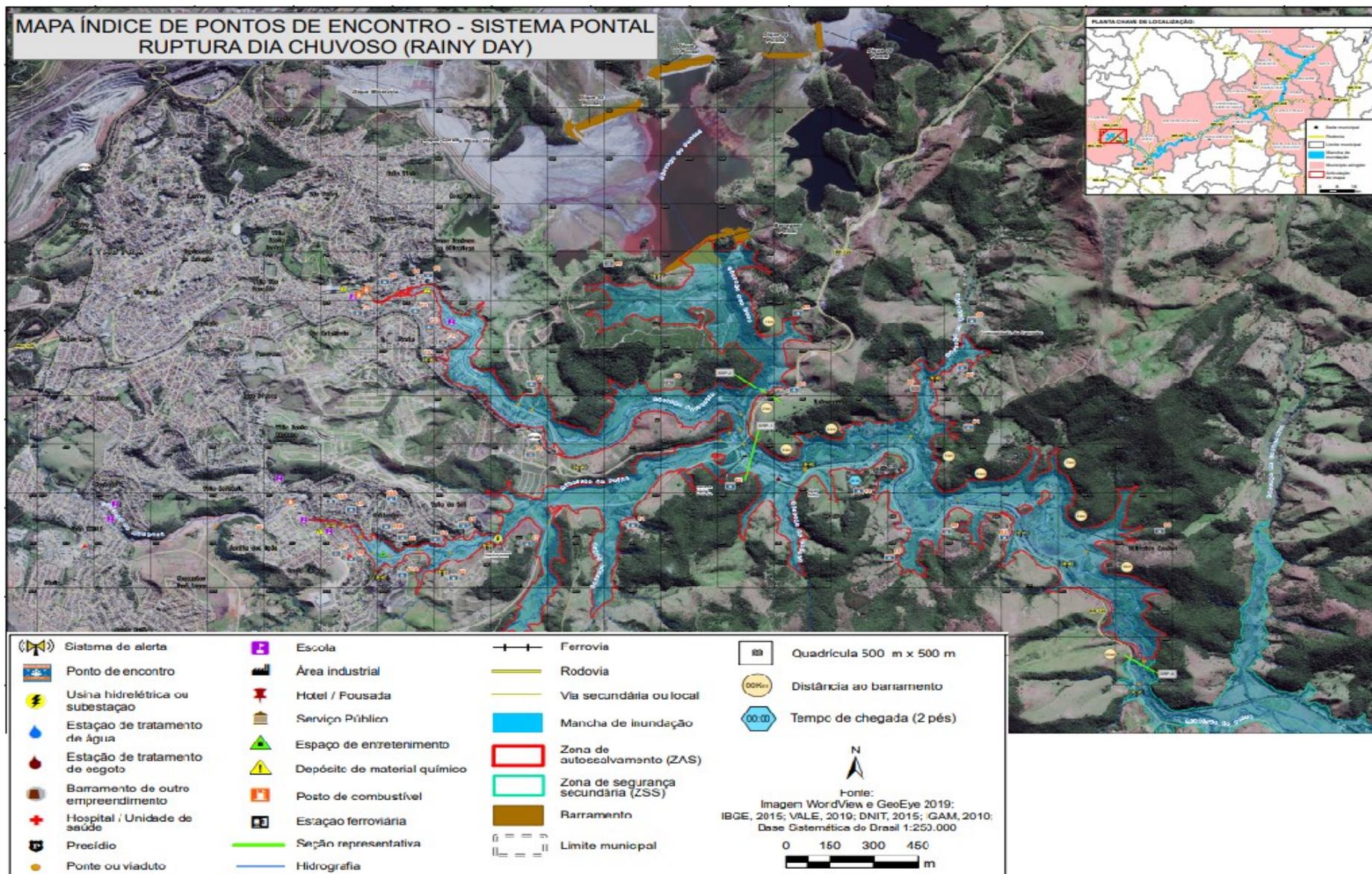
Dados Gerais	
Localização (m)	690.544 E e 7.828.949 N (SIRGAS 2000)
Finalidade	Contenção de Rejeitos
Materiais Armazenados	Rejeito de minério de ferro e água
Metodologia Construtiva	Jusante
Seção Típica	Mista ou Heterogênea
Altura da Barragem (m)	69,00
Volume do Reservatório (m ³) ³	209.714.145,00
Bacia Hidrográfica	Rio Doce
Curso d'água barrado	Córrego dos Doze
Dano Potencial associado ⁴	Alto
Vertedouro	Superfície (livre ou controlado)

Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

Segundo dados do PAEBM (2021), a Barragem de Pontal possui 69 metros de altura, e seu reservatório possui 209.714.145 m³, dessa forma, conforme os critérios apresentados na Tabela 1, o porte da barragem e do reservatório pode ser definido como de grande porte.

A Figura 10 abaixo apresenta a espacialização da mancha de inundação em um possível rompimento da barragem do Pontal. As áreas que seriam atingidas pela lama de rejeitos correspondem a uma grande parcela da área rural do município, e também uma boa parte da área urbana composto por residências, corpos hídricos e áreas de vegetação que se encontram a jusante da barragem.

Figura 10: Mapa das áreas afetadas caso possível rompimento da barragem.



Fonte: Adaptado da Vale S.A., 2022.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS AREAS POPULOSAS DE MAIOR RISCO E VULNERABILIDADE

Em uma abordagem etimológica, a palavra “risco” significa situação de perigo, “vulnerabilidade” pode ser entendida como suscetibilidade por parte do ser humano a uma situação de perigo ou dano. Risco pode ser definido como as consequências prejudiciais ou esperadas resultantes da interação entre perigos naturais e, ou, induzidos pela ação do homem e as condições de vulnerabilidade (UN–ISDR, 2004). O conceito de risco neste trabalho se aplica à análise das causas e consequências dos fenômenos hidrológicos, tais como enchentes, enxurradas, inundações e alagamentos relacionados ao aumento do nível de escoamento d’água ou lama de rejeitos de minério.

Assim, analisando e observando detalhadamente as Figuras 8, 9, e 10, conclui-se que as áreas mais populosas e de maior risco e vulnerabilidade são as áreas habitadas à jusante da barragem de Pontal, pois as outras duas barragens têm na sua jusante apenas áreas rurais com pouca quantidade de habitantes, já na jusante da barragem de Pontal identificou-se que áreas urbanas com população ativa podem ser atingidas pela lama de rejeitos, também é possível observar que as residências ficam a distâncias mais curtas da barragem.

A residência mais próxima á barragem do pontal esta localizado a aproximados 1300m da crista da barragem e o povoado mais próximo esta a 1900m aproximadamente, a área urbana mais populosa esta a aproximadamente 6 km da crista da barragem, seguindo o percurso que a lama de rejeitos percorreria.

Na Figura 11 abaixo, é possível observar as áreas que a enchente da lama de rejeitos atingiria, caso ocorra o rompimento da barragem, em uma situação de maior risco e dificuldade (dia chuvoso).

A mancha de inundações claramente atinge muitas residências e edificações, escolas, estação de tratamento de esgotos e outras infraestruturas.

Figura 11: Localização das edificações que podem ser atingidas.



Fonte: Adaptado da CEDEC, 2022.

No quadro 7 é exposto alguns dados quantitativos relacionados a bens materiais e de vidas que podem ser afetadas.

Quadro 7: Quantitativo de ativos e possíveis consequências.

ATIVOS A SEREM PROTEGIDOS	CONSEQUÊNCIAS (IMPACTOS) QUE PODEM SER PROVOCADAS (ZAS)
Pessoas	2855 (Duas mil oitocentos e cinquenta e cinco pessoas)
Animais	851 (oitocentos e cinquenta e um animais)
Número de domicílios	937 (novecentos e trinta e sete domicílios)
Número de comércios	27 (vinte e sete comércios)
Trânsito e vias	LMG 120 – MG 120 – Av. Prefeito Li Guerra, Bairro Praia e Gabiroba, Estrada de ferro Vitória a Minas.
Segurança pública	Posto de Atendimento do bairro Praia.
Saúde pública e vigilância sanitária	PSF Praia 2, Hospital Unimed Itabira, Ponto de apoio de combate à dengue (Bairro Praia).
Fornecimento de energia elétrica	Não afetado
Coleta de lixo e serviços de limpeza	Núcleo de Apoio Operacional ITAURB
Saneamento básico	Estação de Tratamento de Esgoto Laboreaux
Contaminação ambiental	Estação de Tratamento de Esgoto Laboreaux, Usina de Asfalto Santa Fé
Abastecimento do município (alimentos, combustível, produtos de necessidade básica, medicação, etc.	Posto Diamante, Rede Minas Farma.
Pontos de encontro	38 (Trinta e oito pontos de encontro)
Sirenes	12 (Doze unidades)

Fonte: CEDEC, 2021,

Cabe ressaltar que a zona de autossalvamento ZAS é composta por muitas pessoas, algumas com deficiências físicas ou mentais, dos dados da última publicação do PAEBM da barragem de Pontal, existem na região que a lama de rejeitos atingiria, seis cadeirantes, nove acamados, treze com deficiências visuais, nove com deficiências auditivas, onze com deficiência intelectual e onze com deficiências físicas, totalizando 59 (cinquenta e nove) pessoas com deficiências diversas nos dados do ano 2021.

Com base nos estudos e dados acima mencionados, determinou-se a região mais vulnerável e de maior impacto, parte da área pertencente ao bairro Praia, conforme Figura 12.

Figura 12: Área de inundação no bairro Praia-Itabira.



Fonte: Adaptado de Vale S.A., 2022.

Na Figura 12, o ponto localizado com uma bandeira em cor Roxa encontra-se uma escola de educação infantil e ao se redor encontram-se residências familiares e lojas comerciais, razão pelo que os pontos de encontro a serem analisados e estudados no presente trabalho serão os pontos 73 e 74.

Dentro dos arquivos contidos nos PAEBMs, é possível obter os mapas dos sistemas de evacuação das rotas de fuga propostos e implantado pela Vale S.A..

Lembrando que, no capítulo 2 do presente trabalho foi possível constatar que não existe uma norma regulamentadora para a implantação de rotas de fuga, assim como, não existe de um método sugerido para a definição das mesmas, seja em áreas urbanas ou rurais, desconhece-se a metodologia usada para a implantação das rotas de fuga, elaborados pela empresa.

Porém, pelo observado nos mapas acredita-se que o método utilizado foi o Método das Economias, este método tem como objetivo reduzir a distância total a ser percorrido, trata-se em definir dois pontos e traçar os caminhos mais curtos entre eles.

Assim, a continuação é apresentada o mapa das rotas de fuga dos pontos de encontro 73 e 74, definidos pela Vale.

O ponto de encontro 73 esta localizado na Rua Joao Camilo de Oliveira esquina com Rua Caetés, ao lado do estacionamento do supermercado Ki-Pãozão Itabira - MG, conforme Figura 13.

O ponto de encontro 74 esta localizado na Rua João Camilo de Oliveira Torres, esquina com Rua Santa Bárbara, em frente a Helenos Bar Itabira – MG, conforme Figura 14 abaixo.

Figura 13: Ponto de encontro 73 e rotas de fuga.



Fonte: Adaptado de Vale S.A., 2022.

4.2. ANALISE DAS ROTAS DE FUGA

Das Figuras 13 e 14 acima, pode se afirmar que a definição das rotas de fuga implementadas, precisam ser avaliadas, e se preciso ser redefinidas, pois se observa que visivelmente há rotas mal definidas, rotas definidas em trechos inacessíveis, como é o caso do trecho exposto na Figura abaixo, rota que leva ao ponto de encontro 74.

Figura 15: Rota de fuga em trecho intransitável.



Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 15 acima, a área identificada em azul é intransitável. Este fato, numa situação real de evacuação pode ser muito ruim, pois a informação que se passa está errada e pode levar a uma tomada de decisões equivocadas, desta forma estaria dificultando e retardando a fuga de pessoas do local e áreas muito próximas.

Algumas rotas de fuga não são apropriadas nem vantajosas, é o caso das rotas identificada em cor laranja na Figura 16 abaixo, que leva ao ponto de encontro 73.

Figura 16: Rota de fuga mal definida.



Fonte: Autor, 2022.

Caso as áreas em verde, do lado esquerdo da imagem, não sejam adequadas para definir pontos de encontro, existem rotas mais curtas a serem definidas como rotas de fuga e o caso da rua sinalizada em vermelho. Outro caso de incoerência observado nas rotas de fuga é o apresentado na Figura 17 abaixo.

Figura 17: Rotas de fuga ponto do de encontro 74.



Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 17, o trecho ressaltado em cor laranja, está em sentido contrário à direção da lama de rejeitos, o qual simplesmente é incongruente, pois esta rota, em uma situação crítica e real, pode induzir às pessoas a se movimentarem em direção da lama, assim encurtando o tempo da sua evacuação, sendo que, o que queremos é evitá-la.

4.3. ANALISE DAS PLACAS DE SINALIZAÇÃO

O sistema de sinalização tem um papel importante no momento de uma evacuação, pois servem para orientar as pessoas e sinalizar as rotas a serem percorridas.

Desta forma, foi-se comprovar o estado das placas de sinalização das rotas de fuga, nas áreas definidas como as mais populosas e de maior risco e vulnerabilidade. As mesmas são as áreas que conduzem aos pontos de encontro 73 e 74. As fotos foram registradas por uma câmera de um celular, pela aluna de graduação da UFSC Lara Coelho, que por ventura é uma residente da cidade de Itabira. Algumas foram tomadas no *Google Street View* 2021.

Figura 19: Placas de sinalização Rua Serro.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 20: Placas de sinalização Rua Caetés.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 21: Placas de sinalização Rua Piracicaba.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 22: Placas de sinalização Rua Joao Camilo.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 23: Placas de sinalização da Rua Conceição.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 24: Sistema de alarme.



Fonte: Lara Coelho, 2022.

Como é possível observar nas Figuras acima, tanto as cores e quanto o local em que foram implantadas as placas são inadequadas. A falta de manutenção das mesmas também é muito evidente. Os pontos de encontros apenas estão localizados em interseção de ruas, onde não existe nenhuma infraestrutura pra abrigar e proteger às pessoas que sofreriam eventuais perdas de suas residências.

Assim, sugere-se a continuação, algumas alterações e modificações que podem ser realizadas na implantação do sistema de evacuação, como na sinalização das rotas de fuga.

4.4. ALTERAÇÕES SUGERIDAS NAS PLACAS E NA SINALIZAÇÃO DAS ROTAS DE FUGA

Com base no estudo bibliográfico realizado no marco teórico, sugerem-se as seguintes alterações e modificações:

- Trocar as cores das placas de sinalização atuais para cores de maior contraste, para isto sugere-se uma cor Laranja claro para letras e um Azul céu para fundo.
- Colocar as placas a pelo menos 25 graus com respeito à linha horizontal da rua ou do sentido da rota de fuga para melhor visibilidade.
- Pintar os postes de sustentação das placas com cores de alto contraste, por exemplo, amarelo ou laranja claro.

Para uma melhor sinalização das rotas de fuga, sugere-se pintar os postes de luz da iluminação publica nas ruas onde estão definidas as rotas de fuga e também implantar um sistema de sinalização horizontal, conforme Figura 25.

Figura 25: Sinalização mista de uma rota de fuga.



Na Figura acima é possível observar um sistema de sinalização mista (vertical e horizontal) das rotas de fuga, como também podemos ver que os postes de iluminação pública estão pintados, este sistema de sinalização ajuda a melhorar a percepção das pessoas na hora de uma evacuação, é o que em princípio se pretende com a implantação de conceitos de *Wayfinding*.

Na figura 26 abaixo, é apresentado um novo sistema de rotas de fuga, para a definição dos trajetos dessas rotas, foram usados os conceitos do método das economias. As rotas estão representadas em linhas de cor laranja. O ponto de encontro está localizado na interseção das Ruas Bom Jesus e Carmésia, ao lado da igreja Sagrado Coração de Jesus.

Uma característica a destacar neste novo sistema de rotas de fuga, é o ponto de encontro, pois definiu-se apenas um ponto de encontro para as mesmas áreas que abrangiam os pontos de encontro 73 e 74 das figuras 12 e 13 respectivamente, pois em ambos os casos constatou-se que esses pontos de encontro, apenas são interseção de ruas, onde não existe um espaço nem estrutura para abrigar e proteger às pessoas que seriam evacuadas, conforme figura abaixo.

Figura 27: Placa de sinalização de ponto de encontro 73.



Fonte: Lara Coelho, 2022.

No novo sistema de evacuação, o ponto de encontro é definido estrategicamente, ao mesmo tempo em que ela está localizada apenas a uma quadra dos pontos de encontro 73 e 74, numa área onde há um terreno baldio próximo de uma igreja,

Figura 28: Área do ponto de encontro definido no novo sistema de rotas de fuga.



Fonte: Autor, 2022.

Na figura acima, o terreno demarcado em amarelo, onde está definida a localização do ponto de encontro, tem as dimensões de 13x20 metros, ou seja, tem uma área de aproximadamente 260 m². É uma área suficiente como para construir um galpão que serviria de abrigo, com banheiros, bebedouros e uma área para armazenar alimentos de primeira necessidade.

5. CONCLUSÃO

Os desastres envolvendo barragens de rejeitos de minérios têm causado prejuízos sociais, vitais e ambientais nas últimas décadas. O rompimento dessas estruturas tem causado inundações em povoados inteiros, muitas habitantes dessas áreas foram soterradas completamente pela lama de rejeitos provenientes das barragens que romperam.

Órgãos do governo tem demonstrado pouca eficácia na hora de combater estes desastres, pois como quase sempre nunca estão preparados para enfrentar este tipo de fenômenos, embora esses acontecimentos tenham ocorrido quase anualmente.

A partir dos acidentes/desastres ocorridos em Mariana e Brumadinho ambos no estado de Minas Gerais, órgãos do governo como a ANM, ANA e a CEDEC, tem se implicado mais para evitar este tipo de eventos, exigindo a elaboração e apresentação anual de PAEBMs para barragens enquadradas na PNSB.

Porem, se forem analisados minuciosamente os documentos que compõem o PAEBM, para barragens em níveis de emergência localizados na cidade de Itabira - MG encontram-se vários erros ou ineficiências.

O estudo e a implantação de rotas de fuga podem salvar vidas e promover a sensação de segurança aos moradores. Contudo, erros de implantação de rotas de fuga podem induzir a uma tomada de decisões equivocadas e até fatais em um caso real de evacuação.

Uma escolha adequada e estratégica de pontos de encontro, bem estruturas e planejadas, podem e devem salvaguardar melhor a integridade das pessoas.

É evidente que a combinação de tipos de sinalização vertical e horizontal contribuem para uma melhor percepção das rotas de fuga.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações gerais para trabalhos futuros seriam interessantes:

- Implantar no local, as rotas de fuga elaboradas no presente trabalho;
- Realizar um estudo de caso e implementar um modelo adaptado que possa ser escalável de forma funcional e flexível independente do contexto;
- Projetar estruturas específicas e devidamente adequadas para abrigar e preservar a integridade de pessoas evacuadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **REPORT MENSAL BARRAGENS DE MINERAÇÃO AGOSTO**. Brasília, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **II RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO 2020**. Brasília, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2020**. Brasília, 2021.

ANAZAWA, T. M. ; FEITOSA, F. F. ; MONTEIRO, A. M. V. **Indicadores territoriais de vulnerabilidade socioecológica: uma proposta conceitual e metodológica e sua aplicação para São Sebastião, litoral norte paulista**. In: MARANDOLA JR., E.; OJIMA, R. (Ed.). *Mudanças climáticas e as cidades: população, urbanização e adaptação*. SP, 2012.

AN, S. et al. **Location planning for transit-based evacuation under the risk of service disruptions**. *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 54, August 2013.

ALCÁNTARA – AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and revention of natural disasters in developing countries**. *Geomorphology* 47 (2002) p. 107-124, 2002.

ALMEIDA, A. B. et al. **Dam Break Flood Risk Management in Portugal**. Lisboa: LNEC, 2003.

ARTHUR, P. e PASSINI, R. **Wayfinding-People, Signs, and Architecture**. New York: McGraw-Hill, [1992], 2002.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens: estudo de caso: Barragem de Peti: Dissertação de mestrado do Programa de Pósgraduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)**, 2008.

BALLOU, R. H.. **Gerenciamento da cadeia de suprimento /logística empresarial (5a ed)**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARROS, Lilian Ramos. **A Cor no processo criativo: um estudo sobre a Bauhaus e a Teoria de Goethe**. São Paulo: Ed. Senac, 2006.

BITTAR, R. J. **Caracterização Tecnológica de Rejeitos de Fosfato e Análises de Estabilidade da Barragem de Rejeitos B5 da Bunge Fertilizantes S/A**. Ouro Preto: UFOP, 2006. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais**. Brasília: Imprensa Nacional, 1996. 182 p.

CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil**.133 p. 1999.

CARPMAN, Janet; GRANT, Myron. **Wayfinding: a broad view**. In: BECHTEL, Robert; CHURCHMAN, Arza. (Ed.). *Handbook of Environmental Psychology*. New York: John Wiley, 2002.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras**. 2ª edição. Oficina de Textos, São Paulo 2004.

CERTITECNA, Engenheiros Consultores, S.A. Segurança. **Planos de emergência**. Disponível em: <http://www.certitecna.pt/detalhe_faq.php?idselec=4>. Acesso em: 21 nov. 2021.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas**. Brasília, DF: DNPM, 2014.

ESPÓSITO, T.J. **Controle Geotécnico da Construção de Barragens de Rejeito - Análise da Estabilidade de Taludes e Estudos de Percolação**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1995.

FREIRE NETO, J.P. **Estudo da liquefação estática em rejeitos e aplicação de metodologia de análise de estabilidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO, Ouro Preto-MG, 2009.

FREITAS, CARLOS MACHADO. **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: Desastres em barragens de mineração e saúde coletiva**. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2019.v35n5/e00052519/#>. Acesso em: setembro 2021.

GOLLEDGE, R. G. **Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Process**. Johns Hopkins University Press, EUA, 1999.

JAFARI, M.; BAKHADYROV, I.; MAHER, A. **Technological advances in evacuation planning and emergency management: Current stat of the art. Final Research Reports**. Center for Advanced Infrastructure and Transportation, The State University Rutgers, 2003.

CAMPOS, V.; BANDEIRA, R.; BANDEIRA, A. **A method for evacuation route planning in disaster situations**. Energy eficiente transportation networks. EWGT– Compendium of Papers. Paris, 2012.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS – CIGB. **As Barragens e a Água do Mundo**. Rio de Janeiro: CBDB, 2007.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. 2014.

FREITAS, CARLOS MACHADO. **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: Desastres em barragens de mineração e saúde coletiva**. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2019.v35n5/e00052519/#>. Acesso em: 14 set. 2021.

Globo Comunicação e Participações S.A (Minas Gerais). G1 MINAS. **Barragem da Vale se rompe em Brumadinho, MG: Mar de lama avançou sobre área administrativa da empresa e casas na área rural da cidade**. 2019a. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minasgerais/noticia/2019/01/25/bombeiros-e-defesa-civil-sao-obilizados-para-chamada-de-rompimentode-barragem-em-brumadinho-na-grande-bh.ghtml>. Acesso em: setembro, 2021.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Tailings dams: risk of dangerous occurrences, lessons learnt from practical experiences.** Bulletin 121, France, 144. (2001).

ICOLD **Tailings dams: risk of dangerous occurrences, lessons learnt from practical experiences.** Bulletin 121, International Commission on Large Dams (ICOLD), France, 144.(2001).

ISTOMIN, K. V.; DWYER, M. J. A. **Critical Discussion of Anthropological Theories of Human Spatial Orientation with Reference to Reindeer Herders of Northeastern Europe and Western Siberia.** In: Current Anthropology, v.50, n.01, NY, USA. 2009.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.;MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>, 2006.

KOVÁCS, G.; SPENS, K. M. **Humanitarian logistics in disaster relief operations.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 37. 2007.

LIMA, V.A. **Uso das técnicas HCT e TRD no monitoramento do processo de consolidação em reservatórios de barragem de rejeitos.** Dissertação de mestrado, São Paulo, 2009.

LOPES, L. M. N. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. 2016.** Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/11377>. Sinapse Múltipla, v. 5, n. 1, p. 1- 15. Acesso em: setembro, 2021.

MADEIRO, Carlos; UNIVERSO ONLINE (UOL). **Brasil registrou 65 mortes em 9 incidentes com barragens entre 2001 e 2018.** 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/02/03/brasil-registrou-65-mortes-em-9-incidentes-com-barragens-entre-2001-e-2018.htm>. Acesso em: 20 set. 2021.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos.** Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MARTINS L., **Barragens de rejeito de mineração no Brasil: Principais tipos de barragens, instrumentação e monitoramento.** UFPA, Belem Pa., 2016.

McCONNELL, A.; DRENNAN, L. **Mission Impossible? Planning and Preparing for Crisis.** Journal of Contingencies and Crisis Management, Junho. 2006.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Defesa Civil. Programas e Ações. Gestão de Riscos e Resposta a Desastres. Ações. Coordenação e Fortalecimento do Sistema Nacional de Defesa Civil. **Orientações para elaboração de um plano de contingência,** 2007.

MORAES, A. M. de. **Avisos, advertências e projeto de sinalização.** Rio de Janeiro: iUsEr, 2002.

MOLLERUP, P. **Wayshowing in Hospital.** In: Australasian Medical Journal, 1, 10, 2009.

MUNARI, B. **Design e comunicação visual**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

OSHA, Occupational Safety and Health Administration. **E-tools. Evacuation**. Disponível em: <<https://www.osha.gov/SLTC/etools/evacuation/eap.html>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

PADOVANI, S.; MOURA, D. **Navegação em Hipermídia: Uma abordagem centrada no usuário**. Rio de Janeiro. Ed. Ciência Moderna. 2008.

PEDROSA, I. **Da cor a cor inexistente**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Leo Christiano Editorial Ltda., 2002.

PIMENTA DE ÁVILA, J. **As Barragens de Rejeitos no Brasil: Sua evolução nos últimos anos**. IN CBDB. **A História das Barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI : cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro, 2011.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta**. Belo Horizonte: Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013, 154 p. (Dissertação de Mestrado).

PASSINI, R.; PROULX, G. **Wayfinding without vision: an experiment with congenitally totally blind people**. *Environment and Behavior*, 1988.

RIGHETTO, ANTÔNIO MAROZZI (Org.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SATAKE, K.. **Advances in earthquake and tsunami sciences and disaster risk reduction since the 2004 Indian ocean tsunami**. *Geoscience Letters*, 1(1), 15.2014.

SIBELE J. **Importância da sinalização em ambientes públicos: proposta de projeto de sinalização para o hospital de ajuricaba/rs**. UNIJUI, RS, 2017.

SHUTO, N., Y FUJIMA, K. **A short history of tsunami research and countermeasures in Japan**. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 85(8), 267–275. 2009.

SOUZA, FERNANDO BASQUIROTO de. **Quando construíram as barragens no mundo? Como criar um histograma no R**. 2018. Disponível em: <https://2engenheiros.com/2018/01/30/barragenshistograma-no-r/>. Acesso em: 13 set. 2021.

SOUZA, V. A. D. et al. (2005). **Análise do Regime de Fluxo e das Condições de Segurança de uma Barragem de Terra Sobre Rocha Sedimentar**. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

SMITH, E.S., AND CONNELL, D.H. **The role of water in the failure of tailings dams**. *Mine drainage: San Francisco*, Miller Freeman Publications, 1979.

SMYTHE K. , SPINILLO C. **A inclusão do usuário no design de sistemas de wayfinding: métodos e técnicas de coleta de dados cognitivos espaciais**. 15 ERGODESING, 2015.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Report: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. AR5 Climate Change 2014.

TOMINAGA L., SANTORO J., AMARAL R.. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo, 2009.

TURNER, A.; PENN, A. **Making isovists syntactic: isovist integration analysis**. Anais... In: 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE SYNTAX. Brasília: UnB, 1999.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso em setembro 2021.

LIMA E SILVA, A. R. **Avaliação do potencial de liquefação em barragens de rejeito através de ensaios de campo**. Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

LIMA, V.A. **Uso das técnicas HCT e TRD no monitoramento do processo de consolidação em reservatórios de barragem de rejeitos**. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2009.

OLDECOP, L., RODRÍGUEZ, R. **Stability and security of mineral deposits (Eds.)**. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España, (2006).

SOARES, LINDOLFO. **Barragem de rejeito**. In: Luz, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 831-896.

SANDRONI, S., 2012, “**Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento**”. Curso de Mestrado da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Design and evaluation of tailings dams**. Technical report, Washington, USA, 1994.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. Geneva: Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). 2004.

VELHO, A. L. O. L. **O Design de Sinalização no Brasil: a introdução de novos conceitos de 1970 a 2000**. 184f. 2007. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Artes e Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

VICK, S. G. **Planning, Design and Analysis of Tailings Dams**. Wiley Int., New York, USA 1983.

WISEU, T. **Segurança dos vales a jusante de barragens: metodologias de apoio à gestão dos riscos**. Tese de doutorado – Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2006.

2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE SYNTAX. Brasília: UnB, 1999.