

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Estudo da Ruptura Hipotética da Barragem Sul Superior

Karina Salatiel do Nascimento

Engenheira Geotécnica, CEFET, Ponte Nova, Brasil, ksalatiel@gmail.com

Rafaela Baldi Fernandes

Engenheira Geotécnica PhD, Instituto Brasil, Copenhage, Dinamarca, rafaelacivil@yahoo.com.br

Thiago Bomjardim Porto

Engenheiro Geotécnico PhD, CEFET, Araxá, Brasil, thiagoportoeng@gmail.com

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo realizado para avaliar os impactos ambientais e sociais associados a um evento de rompimento hipotético por liquefação da barragem Sul Superior. Para verificar a existência e o impacto causados por essa ruptura, foram realizadas revisões bibliográficas e estudo do PAEBM da estrutura para obtenção dos mapas de inundação e verificações das áreas afetadas com o uso do Google earth. Os resultados da simulação da mancha de ruptura permitiram concluir que os municípios afetados serão Barão de Cocais e Santa Bárbara. No município de Barão de Cocais será atingida a captação no Rio São João e consequentemente a ETA, tendo como resultado a piora na qualidade da água do manancial. Além disso a população nessa região também sofrerá impactos provenientes do alagamento total da estrutura urbana do povoado de Socorro. Em Santa Bárbara a consequência oriunda da ruptura seria o alagamento da rodovia vicinal por 800 m, próximo ao encontro do Córrego do Vieira e o Rio São João.

PALAVRAS-CHAVE: Dam Break, barragens de rejeitos, análise de risco, rompimento, geotecnia.

ABSTRACT: This article presents a study carried out to assess the environmental and social impacts associated with a hypothetical liquefaction failure event of the Sul Superior dam. To verify the existence and impact caused by this rupture, bibliographical reviews and a study of the PAEBM structure were carried out to obtain the flood maps and verifications of the affected areas using Google Earth. The results of the rupture spot simulation allowed us to conclude that the affected municipalities will be Barão de Cocais and Santa Bárbara. In the municipality of Barão de Cocais, the collection of the São João River will be reached and, consequently, the ETA, resulting in a worsening in the quality of the water in the source. In addition, the population in this region will also suffer impacts from the total flooding of the urban structure of the village of Socorro. In Santa Bárbara, the consequence arising from the rupture would be the flooding of the local road for 800 m, close to the meeting of the Córrego do Vieira and the São João River.

KEYWORDS: Dam Break, tailings dams, risk analysis, disruption, geotechnics.

1 Introdução

Barragens são estruturas utilizadas como reservatório para contenção e acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos provenientes do processo de beneficiamento de minérios, o rejeito.

É notório que as barragens proporcionam benefícios à sociedade, porém os desastres envolvendo rupturas produzem cenários devastadores e impactos sociais avassaladores.

Segundo Fernandes (2020), o cenário de ruptura de barragem tem sido mais frequente do que o esperado em todo o mundo, sendo, em média, dois eventos por ano, ainda que sejam implantadas novas medidas reguladoras e fiscalizadoras.

De acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens, em 2001, o ICOLD (International Commission on Large Dams), publicou um boletim (Bulletin 121: Tailings Dams Risk of Dangerous Occurrences Lessons Learnt From Practical Experiences) com o resultado de um trabalho da comissão de barragens de rejeitos que, durante cinco anos, registrou as rupturas e incidentes ocorridos desde 1970. Cerca de 400 casos foram analisados para identificar as causas principais destas ocorrências.



A partir dos resultados apresentados, foram elaboradas as Tabela 1 e Tabela 2 a seguir:

Tabela 1. Principais rupturas com mortes (1970-2001), Fonte: Livro Barragens de Rejeitos no Brasil.

Ano	Barragem/ País	Número de mortes
1981	Stava/ Itália	269
1972	Buffalo Creek/ USA	125
1970	Mufilira/ Zâmbia	89
1994	Merriespruit/ África do Sul	17
1974	Bakofeng/ África do Sul	12
1995	Placer/ Filipinas	12
1986	Fernandinho/ Brasil	7
2001	Rio Verde/ Brasil	5
1978	Arcturud/ Zimbabwe	1

Tabela 2. Rupturas Recentes com Contaminação, Fonte: Livro Barragens de Rejeitos no Brasil.

Ano	Barragem/ País	Número de mortes
2007	Mirai/Brasil	Vazamento de rejeitos de Bauxita
		Interrupção de fornecimento de água
2006	Mirai/Brasil	Vazamento de rejeitos de Bauxita
		Interrupção de fornecimento de água
2003	Cataguases/Brasil	Lixivia negra liberada
		Interrupção do fornecimento de água
2000	Kentucky/USA	Mortalidade de peixes
		Interrupção de fornecimento de água
2000	Romênia	Contaminação das águas com metais pesados
2000	Romênia	100.000 m³ de Cianeto contaminando águas
1999	Filipinas	700.000 t. De Cianeto contaminando águas
1998	Haelva/Espanha	50.000 m³ de água ácida liberada
1998	Aznalcóllar/Espanha	5 milhões de m³ de água ácida liberada
1995	Omai/Guiana	4,2 milhões de m³ de lama com Cianeto

As rupturas em barragens de rejeitos permanecem ocorrendo no Brasil. Além destes rompimentos também existem situações onde não ocorre a ruptura, mas ocorre o vazamento de sólidos para jusante com inúmeras consequências.

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi estabelecida em setembro de 2010 com a publicação da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010).

A PNSB destina-se a barragens de água, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que atendem a pelo menos uma das seguintes características abaixo:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

De acordo com dados fornecidos pela ANM (2021), Minas Gerais possui 209 barragens inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens e 144 não inseridas na PNSB.

Entre as 209 barragens inseridas na PNSB, 145 possuem alto DPA (Dano Potencial Associado). O DPA é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

A ANA (2021), elaborou uma lista com as barragens mais preocupantes no Brasil. Ao todo foram apresentadas 122 barragens indicadas pelos fiscalizadores com algum comprometimento estrutural importante. Minas Gerais se destaca como o estado que possui o maior número dessas barragens, um total de 42.



A Barragem Sul Superior está presente na lista elaborada pela ANA e encontra-se no nível máximo de emergência, ou seja, nível 3. Segundo dados do SIGBM Público, a estrutura possui 85 metros de altura e conta com 6.016.849,00 m³ de rejeito de minério de ferro em seu reservatório. Ela está localizada em Barão de Cocais/ MG e devido os riscos que essa estrutura representa, sociais e ambientais caso ocorra sua ruptura, a mesma será objeto de estudo.

A barragem possui Estrutura de Contenção à Jusante (ECJ) concluída em janeiro de 2020, que visa minimizar os impactos, reduzir o alcance da mancha de inundação e aumentar o nível de segurança na região caso haja a ruptura das Barragens Sul Superior e Sul Inferior da Mina de Gongo Soco. A distância entre as estruturas e a ECJ é de cerca de 6,6 km. A ECJ foi construída em concreto rolado, tem 36 m de altura e volume de projeto de 12.900.000,0 m³. Sob esta medida, a mancha de inundação limita-se apenas à ZAS, não havendo risco para a ZSS.

Não se tem registros de quando iniciou-se a construção da Barragem Sul Superior, tampouco registros de como foi construída, porém a configuração atual da estrutura é alteamento à montante. Além da ausência de informações sobre a construção da estrutura, a mesma também se encontra em alerta máximo, que indica a possibilidade de ruptura a qualquer momento. Dessa forma as atividades na barragem foram suspensas em abril de 2019, após determinação da Superintendência Regional do Trabalho e Emprego. Com a decisão, o monitoramento da estrutura, pela Vale, passou a ser feito de forma remota.

As análises de rompimento de barragens são usadas para estimar os riscos potenciais associados a uma falha de uma estrutura / característica do projeto. As análises da mancha de inundação de rompimento de barragem incluem: estimativa dos parâmetros de rompimento da barragem, estimativa do hidrograma de vazão de saída do rompimento da barragem; roteamento do hidrograma de ruptura da barragem a jusante; e estimativa da extensão e severidade da inundação a jusante. (FERC, 2014)

2 Objetivo

Esse estudo tem como objetivo a identificação de riscos do cenário de ruptura hipotética da Barragem Sul Superior, da mineradora Vale, localizada no município Barão de Cocais, Minas Gerais, focando na avaliação dos impactos ambientais e sociais associados ao seu rompimento.

3 Metodologia

Trata-se de pesquisa de revisão bibliográfica realizada por meio de fontes literárias disponíveis que se relacionavam com o tema abordado, tendo como principais fontes de consulta laudos técnicos de órgãos públicos e privados, artigos, dissertações e teses.

A caracterização do entorno da região à jusante da barragem, extensão e municípios atingidos na ZAS e ZSS e análise dos impactos sociais e ambientais associados à ruptura hipotética da Barragem Sul Superior deu-se por meio de coleta de dados do PAEBM da estrutura.

4 Resultados e análises

4.1 Cenário da simulação de ruptura

Conforme consta no PAEBM da barragem Sul Superior, para a simulação da ruptura hipotética o modo de falha utilizado foi liquefação. Admitiu-se que a ruptura da barragem implicaria no galgamento da barragem Sul Inferior no momento de chegada da onda, visto que a barragem Sul Inferior está localizada logo à jusante conforme a Figura 1.



Figura 1. Localização das Barragens Sul Superior e Sul Inferior. Fonte: Google earth, 2021.

A extensão da ZAS tem cerca de 7,73km e compreende os municípios Barão de Cocais e Santa Bárbara (MG). Devido à implantação da ECJ, representada na Figura 2, toda a extensão da mancha de inundação limita-se à ZAS, deste modo não há ZSS.



Figura 2. Estrutura de Contenção à Jusante (ECJ). Fonte: Adaptado de Plano De Mitigação De Impactos Em Estruturas e Áreas Sensíveis, PAEBM, 2021.

4.2 Análises dos resultados da simulação de ruptura

Os resultados da modelagem da ruptura hipotética da barragem Sul Superior, Figura 3, foram extraídos do PAEBM (RL-1850DD-X-17683). Os estudos descritos objetivam a projeção de potenciais efeitos do rompimento hipotético da barragem de rejeitos Sul Superior, localizada a montante, provocando o rompimento por galgamento da barragem Sul Inferior, considerando a estrutura de contenção recentemente implantada, aproximadamente 7,5 km.



Figura 3. Mancha de inundação hipotética da Barragem Sul Superior. Fonte: Adaptado de Plano De Mitigação De Impactos Em Estruturas e Áreas Sensíveis, PAEBM, 2021.

No documento Diagnóstico Da Situação Atual E Soluções Alternativas Para Os Sistemas Públicos De Abastecimento Dos Municípios Impactados Pela Mancha De Inundação Das Barragens Sul Superior e Inferior elaborado pela ARCADIS, 2020, identifica-se que mancha de inundação hipotética inicia-se no Córrego do Vieira, e rapidamente atinge a barragem Sul Inferior, onde ocorre a ruptura da mesma por galgamento. A mancha segue por 2,0 km até a divisa com o município de Santa Bárbara, onde encontra com o Rio São João, dividindo os municípios de Santa Bárbara, localizado na margem direita e Barão dos Cocais na margem esquerda.

No encontro com o Rio São João, parte da mancha desloca-se a montante do Rio São João, no município de Santa Barbara, alagando a região ribeirinha por 4,75 km, invadindo 800m da estrada vicinal existente.

Seguindo a jusante, a mancha prossegue até atingir o local de implantação da Estrutura de Contenção à Jusante (ECJ). Neste trecho, os 2,4 km são de forte impacto sobre o distrito de Socorro de Barão de Cocais, que inundaria totalmente suas casas e estrutura urbana lindeiras ao Rio São João. Seguindo por 0,9 km alagando a calha do Rio São João, atingiria ponte de travessia, comprometendo a utilização da via vicinal.

O trecho final da mancha no Rio São João, com extensão de 2,0 km, desenvolve em área rural, sem impactos significativos e no desemboque do Córrego Coqueiro no Rio São João, a mancha de sedimentos, avança sobre à montante do córrego por 1,2km.

A situação atual considerou que a implantação de Estrutura de Contenção Jusante no Rio São João, recentemente efetuada pela Vale, reduz os impactos de eventual rompimento, concentra a mancha de rejeitos do Dam Break em cerca de 8,6 km das barragens Sul Superior e Inferior.

Após o final da mancha, como consequência a qualidade das águas será afetada por 150 km devido a presença de sedimentos dispersos, alterando a qualidade da água no curso d'água, sendo 10,4 km no Rio São João no município de Barão dos Cocais e 4,7 km no Rio Santa Barbara até seu desemboque no Rio Piracicaba. No caminhamento passa pelos municípios de Santa Bárbara, São Gonçalo do Rio Abaixo, João Monlevade, Bela Vista de Minas, Nova Era e Antônio Dias.

5 Conclusão

Num eventual rompimento das barragens, a captação no Rio São João e consequentemente a ETA, sistema que abastece o município de Barão de Cocais, serão impactados pela piora na qualidade da água do manancial exigindo providências para captação alternativa por poços e/ou adequação do processo de tratamento da ETA visto que as captações superficiais das nascentes e poços subterrâneos na área do distrito de Socorro seriam afetados. Além dos impactos sobre o abastecimento e uso da água a população nessa região também sofrerá impactos provenientes do alagamento total da estrutura urbana do povoado de Socorro, em Barão dos Cocais.



Foi identificado que os principais impactos no município de Santa Bárbara seriam sobre a ocupação urbana que teria como consequência oriunda da ruptura o alagamento da rodovia vicinal por 800 m, próximo ao encontro do Córrego do Vieira e o Rio São João. Não foram identificados pontos de captação superficial e subterrâneos que impactassem sobre o abastecimento e uso da água.

Em decorrência do Nível de Emergência crítico, foram realizadas ações de remoção preventiva sob coordenação das Defesas Cíveis e toda a população que se encontrava na ZAS foi evacuada em fevereiro de 2019. Sob essa medida considera-se que os impactos sociais associados à ruptura hipotética da Barragem Sul Superior foram minimizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional De Águas (2021). *Relatório de segurança de barragens*. Disponível em: <<https://www.snisd.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020/rsb-2020.pdf>> Acesso em: 03 jul. 2021.
- ANM – Agência Nacional De Mineração (2021). *SIGBM Público*. <<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>>. Acesso em: 11 set. 2021.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subsecretaria de Assuntos Jurídicos. *Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010*. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. *Diário Oficial da União*, 21 set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em: 01 jun. 2021.
- CBDB, Comitê Brasileiro De Barragens (2012). *Barragens de rejeitos no Brasil*. 310p.
- Ferc. Federal energy regulatory commission. (2014) *Dam Breach Analysis – DRAFT*
- Fernandes, R. B. (2020) *Panorama geotécnico de ruptura de barragens e gestão de risco*. - 1 ed. - Curitiba: Appris, 405 p.
- ICOLD, International Commission on Large Dams (2001). *Tailings dams: risk of dangerous occurrences, lessons learnt from practical experiences*. Bulletin 121, France.
- VALE (2021). *PAEBM: Plano de Ação Emergencial para Barragens de Mineração – Seção II Barragem Sul Superior e Sul Inferior*. RL-1850DD-X-17683. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Paginas/Projetos.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2021.
- VALE (2021). *PAEBM: Plano de Ação Emergencial para Barragens de Mineração – Seção II Barragem Sul Superior e Sul Inferior*. RL-1850DD-X-17683. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/Paginas/Projetos.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2021.