

ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADA AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Anna Cristina Carvalho¹
Maria Rita Raimundo e Almeida²

Políticas públicas, Legislação e Meio Ambiente

Resumo

O rompimento de barragens no Brasil tem sido tema de muitas discussões da sociedade, que hoje extrapolam os meios acadêmicos e chegam à população, diante de casos como Mariana e Brumadinho que atingiram altos níveis de comoção social. O objetivo foi realizar uma revisão sobre rompimento de barragens de mineração, sendo direcionada à temática de análise e gerenciamento de risco ambiental (classificação e métodos). A metodologia foi desenvolvida em três passos: escolha da técnica (revisão bibliográfica sistemática); seleção das bases de busca (4 bases), palavras chave (“barragens”, “análise de risco”, “barragens de mineração”, “gerenciamento de risco” e “rompimento de barragens”) e critérios de exclusão (pelo título); e a análise e interpretação dos 13 trabalhos selecionados. Nota-se que os autores evidenciam o risco do rompimento de barragens nos trabalhos e apontam a necessidade de gerenciamento dos mesmos. Vê-se como fundamental a classificação das barragens, criação de políticas públicas baseadas nos estudos científicos, exigência de aplicação do gerenciamento em todas as barragens existentes e adequada estruturação e capacitação dos órgãos de controle. Os trabalhos de base contribuíram no que diz respeito aos métodos de gerenciamento de risco aplicados, já que foram dispostas novas técnicas, assim como opções de resolução de problemas, como a criação do *software* STARDAM e a proposta de unificação dos sistemas de classificação, por exemplo. Espera-se que as informações apresentadas possam contribuir com o desenvolvimento de mecanismos eficazes de gerenciamento de riscos, de modo que haja o máximo possível de garantia de segurança à população e ao meio ambiente.

Palavras-chave: Rompimento de Barragens; Riscos; Gerenciamento de Risco; Revisão Bibliográfica Sistemática

¹Aluna de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI – Campus Sede, Instituto de Recursos Naturais – IRN, anna.carvalho360@gmail.com.

²Profa. Dra. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI – Campus Sede, Instituto de Recursos Naturais - IRN, mrralmeida@unifei.edu.br



INTRODUÇÃO

A tragédia da Barragem do Fundão ocorreu em novembro de 2015 em Bento Rodrigues, subdistrito de Santa Rita Durão, no município mineiro de Mariana e é hoje conhecida como o maior desastre ambiental da história do país, sendo notícia nas principais manchetes do Brasil e do mundo; apenas um mês depois do acontecido, foram retiradas 11 toneladas de peixes mortos, oito em Minas Gerais e três no Espírito Santo (G1a, 2019).

Já o caso da Mina do Córrego do Feijão, mais conhecido como o caso de Brumadinho/MG, aconteceu em janeiro de 2019. Freitas et al. (2019) confirmaram que: “no primeiro dia já se sabia que 13 milhões de m³ de rejeitos da mineração haviam sido lançados no meio ambiente. Após um mês de buscas, o número de óbitos ultrapassou 300, com 179 corpos localizados e 131 pessoas desaparecidas”. Sendo o caso com o maior número de vítimas fatais da história do Brasil (G1b, 2019).

A preocupação com o tema, além dos casos citados, vai mais adiante. Segundo Fonseca (2019), pelo site da Agência Pública de jornalismo investigativo: no ano de 2017, 13 fiscalizadores listaram 45 barragens que, na sua visão, mais preocupam, por possuírem algum comprometimento importante que impacte a sua segurança, a maioria no Nordeste. Em Minas Gerais, havia cinco barragens em perigo (ANA, 2018).

Tendo em vista a proporção desses dois casos e as divulgações de riscos de rompimento, instabilidade, falta de dados técnicos, bem como a inconsistência no cadastro das barragens em determinada região, muitas perguntas começaram a surgir, como: de quem é a culpa? Os rompimentos ocorreram por causas naturais ou antropológicas? Como foi feita a fiscalização dessas barragens? Por que não tiveram alertas para a evacuação da população? Como é feita a classificação das barragens no que diz respeito ao risco de rompimento? Qual o papel da sociedade e como se pode cobrar para que esse controle seja efetivo? Como é feita a análise e gerenciamento de risco nesses tipos de empreendimentos?

Logo, objetiva-se com este artigo apresentar como os trabalhos acadêmicos vêm respondendo algumas dessas perguntas, mais precisamente no que diz respeito à classificação das barragens de mineração e ao gerenciamento de riscos das mesmas.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho seguiu três passos: a escolha da técnica de revisão adotada; a explicação de como foi realizado o levantamento dos artigos, em relação às bases de busca, palavras chave e critérios de exclusão; e a análise e interpretação dos mesmos.

Metodologia Escolhida

Cook et al. (1997) destacam que a revisão bibliográfica pode ser narrativa ou sistemática: a primeira é baseada em uma descrição simplificada de estudos e informações sobre um determinado assunto e a segunda, apesar de também ter o caráter narrativo, é baseada na aplicação de métodos com maior rigor científico, podendo alcançar melhores resultados e reduzir erros e o viés do pesquisador responsável pela investigação. Esse processo permite ao pesquisador compilar dados, definir melhor o método de pesquisa a ser adotado para aquele problema e, por fim, definir direções para futuras pesquisas.

Assim, para a realização do presente trabalho, foi utilizada uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) – Figura 01, visando responder às questões: como é feita a classificação das barragens de mineração de acordo com o devido critério de risco de rompimento? E quais são os métodos de análise e de gerenciamento de risco aplicados à rompimento de barragem de mineração?

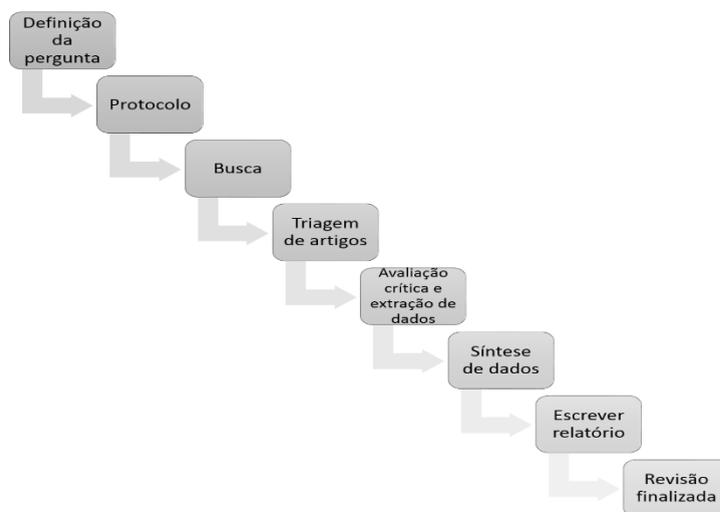


Figura 01: Etapas básicas na condução de uma Revisão Bibliográfica Sistemática.

FONTE: Adaptada de CEE (2013).



Levantamento dos Artigos

Para esta RBS, foram utilizados os seguintes bancos de dados: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Portal de Periódicos da Capes, Google Acadêmico e o Repositório Institucional da Universidade Federal de Ouro Preto (RIUFOP). Basicamente, foram escolhidos os bancos acadêmicos amplamente conhecidos e, em especial, também foi selecionado o RIUFOP, visto que se supunha um grande número de trabalhos acadêmicos na área de rompimento de barragens, devido à sua localização no país e em Minas Gerais. Tal suposição foi confirmada durante a triagem dos trabalhos, realizada em agosto de 2019.

As palavras-chaves usadas foram: “barragens”, “análise de risco”, “barragens de mineração”, “gerenciamento de risco” e “rompimento de barragens”. Sendo assim, a primeira seleção foi realizada com exclusão dos trabalhos pelos títulos que não condiziam com o tema proposto. Logo, foi feita uma filtragem por títulos nas quatro plataformas, uma vez que no RIUFOP foram encontrados 840 trabalhos acadêmicos com as palavras-chaves, sendo estes reduzidos a 7 após a filtragem. No Portal Periódico da Capes, foram encontrados 147 trabalhos e 1 filtrado por título condizente. Na plataforma SciELO, foram encontrados 177 com a filtragem de 2 artigos. E, no Google Acadêmico, foram constatados 92 trabalhos, reduzidos a 3 finais. Por fim, chegou-se a 13 trabalhos acadêmicos para embasamento teórico do presente trabalho.

Análise e Interpretação

Nesta etapa, foi feito todo o levantamento de como os trabalhos selecionados respondem às perguntas deste estudo, bem como a interpretação desses dados e a avaliação da forma com que eles poderiam contribuir para o sistema de controle de rompimentos de barragens, principalmente, no que diz respeito ao gerenciamento dos riscos e a classificação das barragens de mineração e propor recomendações para melhoria desse sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo serão apresentados em tópicos: o primeiro trará uma análise geral inicial e a partir do segundo tópico serão mostrados como os trabalhos respondem aos objetivos específicos propostos.

Análise Geral Inicial

No Gráfico 01, tem-se a relação de números de trabalhos publicados por ano e, no Gráfico 02, a relação por local. Segundo Adorno (2019), em relação às barragens de mineração com alto potencial de danos: “das 204 barragens de contenção de rejeitos de minério do país, 134 (65%) estão em Minas Gerais, o estado que mais tem barragens de todos os tipos do país”. O que justifica a proporção dos trabalhos no estado, que representam 10 dos 13 totais.

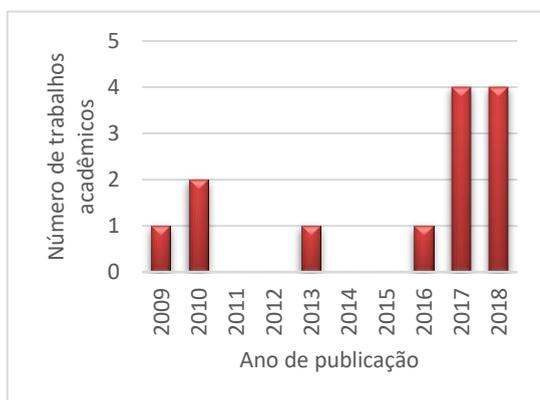


Gráfico 01: Número de trabalhos por ano.

FONTE: Autoria Própria.



Gráfico 02: Número de trabalhos por local.

FONTE: Autoria Própria.

Ainda, tem-se que 7 trabalhos são dissertações de mestrado, 4 são artigos, 1 é relatório técnico e 1 trabalho de conclusão de curso. Ou seja, os estudos relacionados ao tema prevalecem na pós-graduação. Supõe-se que seja pela complexidade da discussão do conteúdo, bem como a necessidade de se ser um trabalho profundo, no sentido em que englobe todos os fatores envolventes ao tema de forma mais completa.



Como o Risco de Rompimento é Tratado nos Trabalhos Acadêmicos

Para Martini (2018), a segurança de uma barragem é garantida quando a estrutura como um todo se encontra preservada de quaisquer eventos e/ou mecanismos que possam contribuir para processos de sua deterioração ou ruptura.

Já Almeida (2018) fala sobre uma metodologia de pesquisa de perigo. Segundo o autor, o Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) é um dos métodos aplicáveis à hierarquização dos setores em risco e, no caso do seu trabalho, à quantificação do índice de perigo (IP). A metodologia é explicada sucintamente na Figura 02.

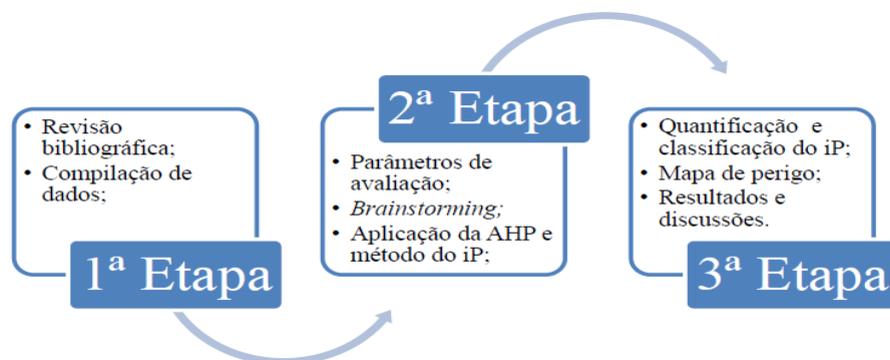


Figura 02: Fluxograma da metodologia de pesquisa de Almeida (2018).

FONTE: Almeida (2018).

Os métodos de análise de riscos podem ser classificados em duas grandes categorias de abordagem: indutiva ou dedutiva. Uma abordagem indutiva constitui um processo de descoberta em que a observação prática conduz a uma caracterização de forte suspeita, sem certeza absoluta, entretanto, de que um dado princípio seja verdadeiro. A abordagem dedutiva, por outro lado, é um método que se utiliza para demonstrar, com uma certeza lógica, que um princípio geral é verdadeiro (SANTOS, 2007, apud PEREIRA, 2009).

Nota-se que os autores dos trabalhos selecionados evidenciam o risco do rompimento de barragens em seus trabalhos, ou seja, sempre que existir uma barragem vai existir o risco de seu rompimento, e apontam a necessidade de gerenciamento dos mesmos. Em todos os estudos foram apontadas as normas relacionadas ao tema, bem como um traçado dos métodos, obrigações dos empreendedores e documentos necessários no processo.

Como é Feita a Classificação das Barragens nos Estudos Seleccionados

De acordo com as premissas da Resolução n° 143/2012 do CNRH (PEDROSA, 2017), as barragens de contenção de rejeitos de mineração são classificadas, em função das categorias de risco, considerando os seguintes aspectos:

- Características Técnicas;
- Estado de Conservação;
- Plano de segurança.

O índice levado em consideração é o Dano Potencial Associado (DPA), o qual busca quantificar as consequências causadas pela eventual ruptura da barragem, conforme fatores propostos na matriz de classificação quanto ao dano potencial associado (PEDROSA, 2017). Este índice analisa os fatores: perda de vidas humanas, impacto ambiental, impacto socioeconômico e o volume do reservatório.

Segundo Pedrosa (2017), para realizar a classificação da barragem em relação à categoria de risco (CRI) é utilizada a fórmula:

$$CRI = CT + EC + PS$$

Onde CT é o somatório dos pontos alcançados referentes às características técnicas, EC o somatório dos pontos referentes ao estado de conservação e PS o somatório dos pontos alcançados referente ao plano de segurança (PEDROSA, 2017).

Fontenelle et al. (2018) explicam que os valores provenientes do NP (nível de perigo) podem ser utilizados para o cálculo da probabilidade de ruptura (ameaça), utilizando-se o chamado Nível de Perigo da Barragem (NPB). As barragens são classificadas, ainda, quanto ao NPB no desempenho da estrutura em operação, como é possível se observar na Tabela 01.

Tabela 01: Classificação da barragem adotada a partir do NPB.

FONTE: Adaptado de Fontenelle (2007) apud Fontenelle et al. (2018).

NPB	CLASSIFICAÇÃO
> 30	Altamente preocupante (AP)
9 – 30	Preocupante (P)
2 – 8	Aceitável (Ac)
1	Bom Desempenho (BD)
0	Ótimo Desempenho (OD)



Outra metodologia de classificação é a da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Segundo Fontenelle et al. (2018), esta metodologia utiliza três parâmetros para calcular o Potencial de Risco (PR). São os parâmetros: Periculosidade (P), Vulnerabilidade (V) e Importância Estratégica (I). Esta metodologia é a mesma citada anteriormente por Espósito e Duarte (2010).

O PR é calculado pela seguinte fórmula:

$$PR = (P + V) / 2 * I$$

Onde PR: potencial de risco; P: periculosidade; V: vulnerabilidade; I: importância estratégica.

Com isso, vê-se como fundamental a classificação das barragens, para que, assim, se possa entender o seu risco e, a partir disso, propor como dever ser seu controle e monitoramento. A classificação é uma ferramenta importante desde que seja trabalhada a favor da segurança ambiental e da população. Por meio do levantamento acima, nota-se que a literatura aponta diferentes caminhos, sendo alguns autores mais rigorosos que outros.

Métodos de Análise e de Gerenciamento de Risco Utilizados nos Estudos

Oliveira (2010) tratou, em sua dissertação, de um manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como instrumento fundamental do sistema de gerenciamento de rejeitos, onde deve permitir a disposição segura desses resíduos, de modo planejado, criterioso e dinâmico. Deve permitir ainda a contínua incorporação de melhorias a fim de se contribuir para a segurança operacional dessas estruturas e, ao mesmo tempo, refletir os princípios do proprietário e seus acionistas, os anseios da sociedade, cumprindo as determinações dos reguladores e contribuindo para o equilíbrio ambiental (OLIVEIRA, 2010).

A Figura 03 apresenta a essência da estrutura sugerida pela *Mining Association of Canada* (MAC, 1998, apud OLIVEIRA, 2010), para o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de contenção de rejeitos.



Figura 03: Estrutura canadense de gerenciamento de barragens de rejeitos.

FONTE: MAC (1998), apud Oliveira (2010).

Dentre os trabalhos selecionados, dois deles tratam de métodos geodésicos para análise de risco, sendo um o Gestão de Riscos Geotécnicos, proposto pela Vale S.A., e o outro o método de irradiação tridimensional.

Uma proposta interessante para o controle do processo de uma barragem foi o software SMARTDAM criado na dissertação de mestrado de Martini (2018).

Já Paranhos et al. (2016) utilizaram em seu estudo o método FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), cujos passos estão presentes na Figura 04.

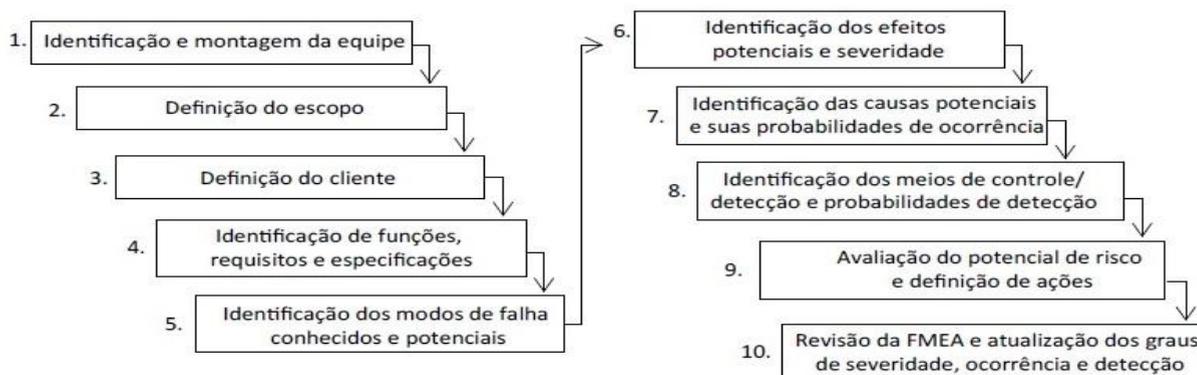


Figura 04: Etapas para a execução da FMEA.

FONTE: Paranhos et al. (2016).



De acordo com Pereira (2009), outro método para se determinar e classificar quantitativamente a criticidade consiste no cálculo chamado Número de Risco de Prioridade (*Risk Priority Number* - RPN). O RPN é o produto dos índices atribuídos à severidade, à probabilidade de ocorrência e à probabilidade de detecção dos modos potenciais de ruptura de acordo com critérios previamente definidos, tendo que:

$$RPN = S \times O \times D$$

Onde, RPN: número de prioridade de risco; S: índice de severidade; O: probabilidade de ocorrência; D: probabilidade de detecção.

Em relação aos métodos citados nos trabalhos, pode-se comentar sobre a prevalência do método FMEA e suas subcategorias nos estudos.

De que Forma os Trabalhos Acadêmicos Poderiam Contribuir Para a Eficácia do Sistema de Controle de Rompimentos e Recomendações

No estudo sobre o rompimento da barragem de Fundão, a análise de toda a documentação que compõe o processo de licenciamento ambiental da construção da barragem apontou diversas questões que foram negligenciadas, principalmente àquelas relacionadas a riscos ambientais. A subestimação desses impactos, resultado de estudos falhos e da fragilidade na atuação dos órgãos ambientais, foi preponderante para a ocorrência da tragédia, uma vez que ao longo de todo o processo de licenciamento do empreendimento, em nenhum momento foram apontados de forma clara os riscos relativos ao rompimento da barragem e, conseqüentemente, não foram estabelecidas condicionantes de gerenciamento de risco para o respectivo licenciamento (MATOS, 2017).

Nesse sentido, uma forma efetiva da contribuição desses trabalhos seria a criação de políticas públicas baseadas nos estudos acadêmicos, onde haja exigência do gerenciamento do risco em todas as barragens de rejeitos construídas, considerações sobre a influência dos eventos naturais, como citado acima, e adequada estrutura da equipe dos órgãos de controle, com funcionários em número eficiente e condizente com a quantidade de análises que precisam ser feitas, além da devida capacitação dos mesmos nesses estudos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Revisão Bibliográfica Sistemática realizada neste trabalho cumpriu com seus objetivos de levantamento dos dados. Ressalta-se aqui a dificuldade de se encontrar dados e informações sobre o tema pesquisado. Além disso, os trabalhos de base foram complexos e de difícil leitura, sendo em sua maioria dissertações de mestrado. Tal dificuldade com as informações pode ser explicada pelo fato de a intensificação do tema ser relativamente recente devido aos rompimentos ocorridos em 2015 e no início de 2019. Ainda, sabe-se da falta de dados consistentes nos órgãos brasileiros, sejam quais forem, o que dificulta a realização deste tipo de trabalho, que depende de um histórico.

Os trabalhos acadêmicos utilizados contribuíram no que diz respeito aos métodos de gerenciamento de risco aplicados, uma vez que foram dispostas novas técnicas, assim como opções de resolução desses problemas, como a criação do *software* STARDAM e a proposta de unificação dos sistemas de classificação, por exemplo.

Por fim, espera-se que as informações apresentadas possam contribuir com o desenvolvimento de mecanismos eficazes de gerenciamento de riscos, de modo que novos acidentes não venham a ocorrer, garantindo segurança à população e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. G. de. **Classificação do índice de perigo (iP) em barragens de rejeito nas bacias hidrográficas da região do Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais. 2018.** 150 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2017.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2018.

CEE - Collaboration for Environmental Evidence. **Guidelines for Systematic Review and Evidence Synthesis in Environmental Management.** Version 4.2. Environmental Evidence, 2013. Disponível em: <http://environmentalevidence.org/wp-content/uploads/2014/06/Review-guidelinesversion-4.2-finalPRINT.pdf>. Acesso em agosto de 2019.

COOK, D.J.; MULROW, C.D.; HAYNES, R.B. **Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions.** *Annals of Internal Medicine*, v.126, n.5, pp.376-380, 1997.



ESPÓSITO, T. J.; DUARTE, A. P. **Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, Vol. 63, N° 2, junho 2010.

FONSECA, B. **Brasil registra mais de três acidentes em barragens por ano.** Pública: Agência de Jornalismo Investigativo, 30 de jan. de 2019. Disponível em: <https://apublica.org/2019/01/brasil-registra-mais-de-tres-acidentes-em-barragens-por-ano/>. Acesso em 22 de set. de 2019.

FONTENELLE, M. C. et al. **Avaliações de risco em barragens:** estudo de caso da barragem Malcozinhado no nordeste brasileiro. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Vol. 14, N° 1, p. 25-42, janeiro 2018 - junho 2018.

FREITAS, C. M. de. *et al.* **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho:** desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. Espaço Temático: Mineração e Desastres Ambientais. Cad. de Saúde Pública, 2019.

G1a. **Há 3 anos, rompimento de barragem de Mariana causou maior desastre ambiental do país e matou 19 pessoas.** Portal G1, São Paulo, 25 de jan. de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/ha-3-anos-rompimento-de-barragem-de-mariana-causou-maior-desastre-ambiental-do-pais-e-matou-19-pessoas.ghtml>. Acesso em 22 de set. de 2019.

G1b. **Buscas por vítimas da tragédia da Vale, em Brumadinho, chegam a 240 dias.** Portal G1, Belo Horizonte, 21 de set. de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/09/21/buscas-por-vitimas-da-tragedia-da-vale-em-brumadinho-chegam-a-240-dias.ghtml>. Acesso em 22 de set. de 2019.

MARTINI, B. D. **Sistema web para gestão de segurança de barragens.** 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MATOS, M. E. N. **Gerenciamento de risco no licenciamento ambiental:** o caso do rompimento da barragem de Fundão. 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

OLIVEIRA, J. B. V. R. de. **Manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como requisito essencial ao gerenciamento dos rejeitos e à segurança de barragens.** 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

PARANHOS, M. M. et al. **Aplicação da análise de modo e efeitos de falha para o gerenciamento de riscos de um projeto.** Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão (UFG - RC), Vol. 11, N° 4, p 444-454, 2016.

PEREIRA, F. M. da S. **Gestão de riscos e plano de ações emergenciais aplicado à barragem de contenção de rejeitos Casa de Pedra/CSN.** 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.