

## OCORRÊNCIA DE ROMPIMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITOS: Uma abordagem do avanço da segurança de barragens

Michel Moreira <sup>1</sup>; Arthur Sales <sup>2</sup>; Larissa Rodrigues<sup>3</sup>, Wenner Tavares<sup>4</sup>

**Resumo** – As ocorrências de rupturas de barragens de rejeitos são acontecimentos que hora ou outra ocorrem e tem grande repercussão nas mídias sociais. Tal destaque é resultado do grande potencial poluidor associado e dos casos de perdas de vidas humanas acarretadas pelo evento. Com a recorrência destes eventos, os governos foram se organizando legalmente de forma a prevenir a ocorrência destes fenômenos e/ou criar medidas de controle que minimizem os danos gerados na ocorrência de falha. Marcos legais foram estabelecidos, porém ainda existem muitos empreendimentos que possuem barragens com alto risco de rompimento e com população a jusante em estado de vulnerabilidade quanto à segurança. Medidas de controle vem sendo implantadas, mas ainda há muitos aspectos a serem melhorados.

**Abstract** – The mining tailings dam break occurrences are events that take place sometimes and have great repercussion in social media. Such highlight is result of the great potential of pollution associated and of the loss of human lives due to the event. With the recurrence of these events, governments have been legally organizing themselves in order to prevent the occurrence of these phenomenons and/or to create control measures that minimize the damage caused by failure occurrences. Legal marks have been established, however it still exists many enterprises that have dams with high risk of breach and with population downstream in vulnerability state when it is about safety. Control measures have been implanted, but it is still many aspects to be improved.

**Palavras-Chave** – Barragem, rejeito, rompimento, segurança.

---

<sup>1</sup> Professor Orientador, Doutor, Centro Universitário Newton Paiva, (31) 99990-8817, michel.moreira@newtonpaiva.br

<sup>2</sup> Graduando de Eng. Ambiental, Centro Universitário Newton Paiva, (31) 99488-9355, arthurrssales@gmail.com

<sup>3</sup> Graduanda de Eng. Ambiental, Centro Universitário Newton Paiva, (31) 99667-5931, larissarc43@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Graduando de Eng. Ambiental, Centro Universitário Newton Paiva, (31) 98460-4609, wengershaday@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar dos inúmeros benefícios promovidos pelas barragens, a onda de cheia resultante da ruptura destas estruturas foi responsável por alguns dos mais devastadores acidentes dos últimos séculos (XIONG, 2011). Com isto, é necessária a definição criteriosa de medidas de segurança, seja em etapas de projeto ou durante a operação do empreendimento.

Sabendo-se do potencial de destruição e poluição que a ruptura de barragens de rejeitos apresenta, pode-se afirmar a importância de pesquisas que abordem a previsão e o controle de ruptura destas estruturas, bem como de enchentes causadas por estes eventos. Tem-se como exemplo a grande repercussão na mídia do rompimento da barragem de Fundão, de responsabilidade da mineradora Samarco Mineração S.A., no município de Mariana, estado de Minas Gerais.

Conforme Davies (2002), nos últimos 30 anos, a frequência de ruptura de barragens de rejeitos foi aproximadamente 10 vezes maior do que a frequência de ruptura de barragens de contenção de água, fato que evidencia a carência de uma boa gestão de risco dessas estruturas.

Casos graves de rompimento de barragens como este de Mariana em 2015 levam a crer que a prática do estudo de rompimento hipotético de barragens (*dam break*) é de extrema importância, já que com o mesmo pode-se ter uma indicação das consequências da falha de uma estrutura de barramento, alertando, portanto, para o investimento em ações de monitoramento e controle da segurança de barragens. Sua elaboração também serve como orientação para a elaboração de planos de emergência. Com o advento da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e do referido evento de 2015, o controle da segurança de barragens cresceu bastante no Brasil. Desta forma, o estímulo a estudos e tecnologias que aprimorem a segurança nas barragens de rejeito tem crescido e é muito importante no cenário atual.

No Brasil, a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, é a base legal vigente quando se trata de segurança de barragens. Sua promulgação trouxe diversos benefícios e avanços para o país, sobretudo em se tratando da classificação das barragens e dos Planos de Segurança e de Ações Emergenciais. A necessidade de elaboração de Planos de Ações Emergenciais (PAE) está vinculada à classificação do dano potencial associado à região a jusante do barramento. Entretanto, a identificação destes danos ainda não possui uma metodologia obrigatória definida legalmente.

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Conceitos

O conceito de barragem pode ser definido como uma estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue, para que se obtenha a elevação de seu nível e/ou criar um reservatório de acumulação de água, seja de regulação das vazões do rio, armazenamento da mesma ou contenção de outro fluido (BRASIL, 2002). Já segundo a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, define-se barragem como:

Art. 2º Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I – barragem: qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas.

Este tipo de estrutura permite o acesso a vários benefícios de que a sociedade fez e faz uso, uma vez que as barragens são utilizadas para o abastecimento de água para humanos e dessedentação de animais, irrigação, controle de inundações, disposição de rejeitos minerários e industriais, navegação, recreação, pesca e geração de energia elétrica, dentre outros usos. Portanto, este tipo de estrutura é parte integrante e de suma importância na economia da sociedade. Em relação a barragens de água, a principal matriz geradora de energia elétrica do Brasil é a hidrelétrica, que corresponde a 61% do total desta forma de energia gerada no país

(ANEEL, 2017), e em relação a barragens de rejeito, em especial no estado onde se concentra este estudo, Minas Gerais, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) ressalta que as barragens de rejeito e de resíduos da indústria e mineração constituem uma das principais atividades econômicas do estado (FEAM, 2017).

As barragens de contenção de rejeitos começaram a ser construídas a partir da década de 1930, tendo como um dos principais objetivos impedir o lançamento dos rejeitos diretamente nos cursos d'água, minimizando desta forma os impactos ambientais dos empreendimentos minerários (CBDB, 2011 *apud* ROCHA, 2015). Entretanto, este acúmulo de material constitui um grande fator de risco ambiental e socioeconômico, porque apesar do material armazenado possuir um alto teor de sólidos, as massas liquefeitas de polpa de rejeitos podem escoar em altas velocidades, na faixa de 8 a 40 km/h, e podem alcançar grandes distâncias a jusante da respectiva barragem (ICOLD, 2001 *apud* ROCHA, 2015). Segundo Azam e Li (2010) citados por Rocha (2015), a taxa de acidentes de barragens do setor minerário nos últimos 100 anos é estimada em 1,2%.

Apesar da frequência de rompimento de barragens ser baixa, quando esta situação ocorre grandes perdas se constituem, uma vez que a energia potencial armazenada adquire grandes proporções de acordo com a altura do maciço e do volume de material armazenado, assim como outras situações, como um evento de cheia e a topografia, podem potencializar os impactos a jusante. Segundo Rocha (2015), quando uma barragem se rompe prejuízos materiais e ambientais são certos, enquanto a perda de vidas humanas pode variar bastante com a área inundada, o tamanho da população em risco e o tempo disponível para alerta e evacuação. Outro agravante que pode estar associado a esta situação é quando o fluido armazenado apresenta características danosas ao meio ambiente, neste caso resultando na contaminação do leito do rio no vale a jusante e impactando negativamente a biota local (ROCHA, 2015).

## 2.2. Histórico de rompimento de barragens de rejeitos

Segundo Rocha (2016), devido aos grandes impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes, pode-se classificar uma ruptura de barragem como uma catástrofe. Este autor também apresentou dados referentes a alguns eventos ocorridos no planeta, que estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Histórico de ruptura de barragens de rejeitos**

ANO	BARRAGEM	PAÍS	NÚMERO DE MORTES REGISTRADAS
2015	Fundão	Brasil	19
2014	Herculano	Brasil	3
2010	Kolontár	Hungria	10
2008	Taoshi	China	254
1985	Stava	Itália	269
1972	Buffalo Creek	EUA	125
1970	Mulfilira	Zâmbia	89
1966	Aberfan	Reino Unido	144
1966	Mir. Mine	Bulgária	488
1965	El Cobre Dam	Chile	> 200

Fonte: ROCHA, 2016, p. 10 (adaptado do autor).

Desta forma, verifica-se que vários países já sofreram com a ocorrência deste desastre ambiental, e geralmente, causando um grande número de mortes. Destaque para o ocorrido em 1966 na barragem Mir. Mine situada na Bulgária, onde foram contabilizadas 488 mortes decorrentes deste evento. E no Brasil, sobretudo em Minas Gerais, se teve registro de duas ocorrências em um curto espaço de tempo de cerca de um ano, deflagrando assim a carência na gestão de segurança destas estruturas no Brasil.

### 2.3. Legislação

Com o advento destes desastres, a necessidade da elaboração de leis no âmbito de segurança de barragens foi sendo reconhecida mundialmente. Na Europa, a primeira lei em análise de risco de ruptura de barragem foi apresentada em 1968 na França (MORRIS *et al.*, 1998 *apud* BRASIL, 2002). Segundo o mesmo, este decreto tornou compulsório para os responsáveis pelas barragens a elaboração de planos de contingência, inclusive com base em estudos de simulação da onda de inundação que pode se formar devido a falhas da estrutura. De acordo com Almeida (1999) citado por Brasil (2002), quase todos os países desenvolvidos já possuem regras sobre segurança de estruturas de barramento e que, a partir de 1990, as normas e legislações relativas à segurança de barragens ficaram mais rigorosas no que diz respeito à proteção das populações a jusante dessas estruturas, pois se tornou obrigatório o estudo dos seguintes itens:

- Estudo dos cenários extremos e potencialmente mais catastróficos;
- Elaboração dos mapas de inundação destes cenários;
- Demarcação das zonas afetadas;
- Elaboração de Planos de Ações Emergenciais, validados por autoridades locais e públicas;
- Recomendações para o uso e ocupação do solo a partir destes estudos;
- Implementação de ações de defesa civil, como sistemas e medidas de evacuação;
- Treinamento para os envolvidos sobre as ações emergenciais.

O principal marco regulatório no âmbito de segurança de barragens no Brasil é a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelecida pela Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Esta se aplica a barragens que apresentem pelo menos uma das características a seguir:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m;
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m<sup>3</sup>;
- 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.

Estas categorias de dano potencial associado foram estabelecidas pela Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que em seu Art. 5º dispõe dos critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado:

Art. 5º - Os critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado na área afetada são:

- I - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- III - existência de infraestrutura ou serviços;
- IV - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- VI - natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e
- VII - volume.

Segundo dados de 2015 da Agência Nacional de Águas (ANA), o dano potencial associado pode ser alto, médio ou baixo. Quanto maior, mais graves seriam as consequências em caso de ruptura (ANA, 2017).

As barragens também são classificadas segundo a categoria de risco, que pode ser alta, média ou baixa, em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, um dos instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010). Quanto maior a categoria de risco, maior é o número de ameaças à segurança da barragem (ANA, 2017).

Segundo a Portaria do Departamento Nacional de Proteção Mineral (DNPM) nº 70.389, de 17 de maio de 2017, em seu Art. 2º, inciso XIV, o dano potencial associado corresponde ao dano que pode ocorrer devido a algum 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. Esta Portaria estabelece a obrigatoriedade de estudos de cenários de inundações decorrentes de rupturas de barragens de rejeitos e elaboração de Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) apenas para aquelas barragens que são classificadas como de dano potencial associado alto ou de dano potencial associado médio quando um dos itens “impacto ambiental” ou “existência de população a jusante” atingir 10 pontos ou a critério do DNPM, enquanto a metodologia fica a critério do empreendedor, conforme pode ser visto no Art. 2º, inciso XIX desta mesma Portaria, no qual se define a apresentação do estudo de inundação:

XIX – Estudo de Inundação: estudo capaz de caracterizar adequadamente os potenciais impactos, provenientes do processo de inundação em virtude de ruptura ou mau funcionamento da Barragem de Mineração, que deverá ser feito por profissional legalmente habilitado para essa atividade cuja descrição e justificativa deverá, necessariamente, constar no PAEBM, sendo de responsabilidade do empreendedor e deste profissional a escolha da melhor metodologia para sua elaboração.

Como é verificado, a Portaria DNPM nº 70.389/17 deixa a cargo do proprietário a escolha da metodologia a ser aplicada para os estudos de prognóstico de ondas de inundação. Isto pode acarretar que aspectos financeiros influenciem na decisão da metodologia a ser escolhida e, com isto, resultados imprecisos possam ser alcançados, caracterizando um item a ser estudado e melhorado.

Especificamente no estado de Minas Gerais, existe legislação própria para tratamentos do tema. A Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, “que dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências” define, em seu Art. 29, parágrafos 1º a 3º que:

Art. 29. Entre as medidas de controle ambiental determinadas para o licenciamento ambiental de atividade ou empreendimento que possa colocar em grave risco vidas humanas ou o meio ambiente, assim caracterizados pelo órgão ambiental competente, será exigida do empreendedor a elaboração e implementação de Plano de Ação de Emergência, Plano de Contingência e Plano de Comunicação de Risco.

§ 1º O órgão ambiental competente definirá o conteúdo mínimo e os procedimentos pertinentes à elaboração, implementação e revisão dos planos de que trata o caput, nos termos de regulamento.

§ 2º Em caso de atividade ou empreendimento que possa colocar em grave risco vidas humanas, o Plano de Ação de Emergência a que se refere o caput incluirá sistema de alerta sonoro ou outra solução tecnológica de maior eficiência.

§ 3º A implementação dos planos de que trata o caput deverá ocorrer em consonância com as diretrizes do Centro de Controle de Operações da Coordenadoria de Defesa Civil do Estado de Minas Gerais.

Conforme Davies (2002), nos últimos 30 anos, a frequência de ruptura de barragens de rejeitos foi aproximadamente 10 vezes maior do que a frequência de ruptura de barragens de contenção de água, fato que evidencia a carência de uma boa gestão de risco dessas estruturas. Fatores importantes aumentam a dificuldade de se ter um bom controle de segurança das barragens de rejeitos e, também, acabam por dificultar a precisão nos estudos de rompimento hipotético de barragens para este tipo de construção. Este aspecto é levantado por Melo (2013, p. 7):

Fatores importantes como a escala da ruptura, a influência do método construtivo e dos materiais constituintes, a sistemática de disposição dos rejeitos no reservatório, os modos de falha e desenvolvimento da brecha, o percentual

do volume do reservatório liberado, as velocidades iniciais do movimento, o regime de escoamento do fluido, a geomorfologia do terreno a jusante e as condições hidrológicas antecedentes, constituem variáveis determinantes do comportamento fenomenológico da ruptura de barragens de rejeitos.

Desta forma, verifica-se que os dois primeiros itens citados, ou seja, os aspectos construtivos e a sistemática de disposição dos rejeitos, devem ser assumidos como parâmetros de verificação da segurança de uma barragem a serem monitorados com maior rigor. Estes devem passar a ser tratados com maior atenção, tendo em vista a maior frequência dos eventos de ruptura de estruturas de contenção de rejeitos. Da mesma forma, os demais parâmetros devem ser estudados com robustez para que se possa obter maior precisão nos estudos de *dam break*.

Outro aspecto que demonstra a importância no investimento em estudos de barragens de mineração é o fato de tais estruturas serem projetadas para a contenção de rejeitos. Em muitos casos estas contêm substâncias químicas associadas ao rejeito, o que leva a classificação do material como perigoso (MELO, 2013). Portanto, não somente os impactos imediatos provenientes de uma ruptura devem ser levados em conta, mas também as consequências que o derramamento dos rejeitos pode causar no ambiente a longo prazo com o despejo de substâncias danosas ao ecossistema.

#### 2.4. Susceptibilidade de ocorrência de rompimento

Uma série de fatores contribui para que situações de risco venham a ser potencializadas em estruturas de contenção de rejeitos. Por ser uma tecnologia necessária, mas que investimentos aplicados à mesma não agregam valor ao produto comercial da mineração, o aprimoramento destas tecnologias e a verificação de sua eficiência são muito raros. O que se espera é que se gaste o mínimo possível com elas e que este gasto seja usado para armazenar o máximo possível de rejeito.

Assim sendo, justifica-se a maior frequência dos rompimentos de barragens de rejeito. BRIGHT (2010) citado por ROCHA (2015) realizou um levantamento das causas de rompimentos de barragens de rejeitos no mundo que pode ser verificado no Gráfico 1. Nele é observada a grande recorrência de causas associadas aos modelos de falha de instabilidades de taludes, terremotos e galgamento, respectivamente.

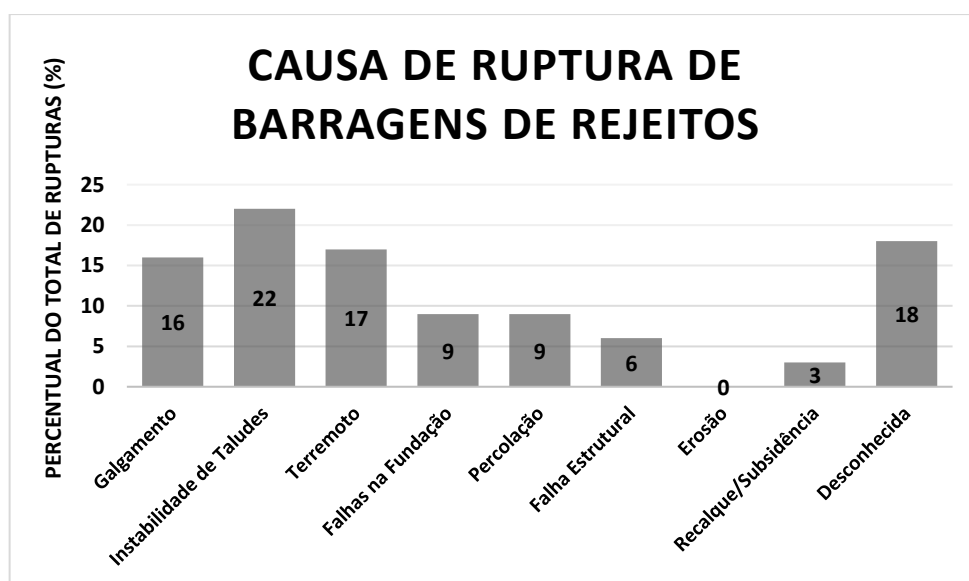


Figura 1. Percentual de causas de ruptura de barragens de rejeitos no mundo

Fonte: BRIGHT (2010) *apud* ROCHA (2015).

As falhas por instabilidade de taludes e galgamento estão muito associadas a falhas construtivas, seja na má construção dos taludes e/ou sobrecarga aplicada ao mesmo que está ligada ao tipo de falha de instabilidade de taludes ou em falhas na construção da crista e/ou vertedouro propiciando a falha por galgamento. Já a falha por terremoto tem como agente propulsor um fenômeno natural que poderia ter sido levado em conta na construção através de estudos sísmicos do local.

Segundo Rico *et al* (2008) citados por Rocha (2015, p. 11), um número de características particulares contribui para que as barragens de rejeitos sejam mais susceptíveis ao rompimento do que as barragens de água:

- seus maciços são compostos por materiais diversos, derivados de solos locais (solo, resíduo grosseiro, rejeitos e outros materiais gerados a partir do beneficiamento dos minerais lavrados);
- são constituídos em múltiplas etapas, com o aumento do volume de sólidos armazenados e dos efluentes liberados pelo rejeito acrescido do volume correspondente à precipitação direta no reservatório e de escoamento superficial na bacia hidrográfica de contribuição;
- falta de regulamentação e de critérios específicos de projeto e insuficiência de monitoramento e controle durante a implantação, construção e operação da barragem; e
- alto custo de monitoramento após o fechamento da barragem e término das atividades da lava.

Cabe destacar que barragens de acúmulo de água são construídas com Fator de Segurança bem mais elevado, tem controle tecnológico durante sua construção, o material de construção além de ser analisado sofre o processo de compactação, tem controle por instrumentação geotécnica durante o alteamento, tem controle tecnológico do grau de compactação, entre outros fatores importantes e que devem ser considerados nesta comparação.

## 2.5. Metodologia aplicada à fiscalização

Segundo metodologia de verificação e auditoria da segurança de barragens adotada e aplicada no estado de Minas Gerais, uma estrutura dita de Estabilidade Garantida é aquela que, após a apresentação de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos atualizados por auditor devidamente capacitado e após suas análises visuais, avaliações das condições de construção (“*as built*”) e/ou condições atuais (“*as is*”) das estruturas, o mesmo conclui que, tanto do ponto de vista da estabilidade física do maciço quanto da estabilidade hidráulica (passagem de cheias), as barragens não demonstram, no momento da realização da auditoria, risco iminente de rompimento (FEAM, 2017). As auditorias devem ser realizadas periodicamente e por auditor devidamente capacitado.

## 3. CONCLUSÕES

Pode-se dizer que no Brasil grandes avanços na área de segurança de barragens foram alcançados nos últimos anos, resultado, muitas das vezes, em resposta a desastres de ruptura ocorridos. Desta forma, muitas medidas foram criadas como a promulgação da Lei de Segurança de Barragens e dos instrumentos pelos quais busca-se, por meio administrativo, garantir a segurança desta atividade. No meio técnico, estudos de rompimento hipotético de barragem vem sendo aplicados, principalmente para as barragens de maior porte, dano potencial associado alto e com população a jusante, resultando em Planos de Ações Emergenciais mais adequados, uma vez que se tem a estimativa de vários parâmetros como a altura da inundação, a área da mancha de inundação e a velocidade de chegada do rejeito liquefeito, de forma que, com estes dados, é possível a definição mais adequada de planos de evacuação, definição de rotas de fuga e instalação de alarmes sonoros para alertar a população quando do rompimento.

Melhorias ainda se fazem necessárias, seja na precisão dos estudos de rompimento, no processo de licenciamento ao serem liberadas as áreas para construção de barragem, no processo de fiscalização e na frequência de realização da mesma.

Cabe ao governo continuar a melhoria na legislação e nos processos administrativos, seja de licenciamento ou fiscalização, e às instituições de ensino, empreendimentos minerários e empresas de consultoria ambiental o investimento na melhoria contínua nas metodologias de simulação do rompimento de barragens.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário Newton Paiva pelo incentivo e suporte oferecido.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**: Matriz de Energia Elétrica. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. **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. Brasília, DF, 20 set. 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2015**. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/Seguranca/RelatorioSegurancaBarragens\\_2015.ZIP](http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/Seguranca/RelatorioSegurancaBarragens_2015.ZIP)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Segurança de Barragens – ANA**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/cnbarragens.aspx>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 143**, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Brasília, DF, 04 set. 2012. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=1635](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1635)>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Cartaz, 2002. 148 p. <<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaodeBarragens.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRIGHT, G. E. **Geotechnical engineering for mine waste storage facilities**. London: Taylor & Francis Group, 2010. 641p.



DAVIES, M. P.; MCROBERTS, E. C.; MARTIN, T. E. Static liquefaction of tailings – Fundamentals and case histories. In: **Proceedings Tailings Dams**, 2002. ASDSO/USCOLD, Las Vegas.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Portaria nº 70.389**, de 17 de maio de 2017. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Brasília, DF, 17 mai. 2017. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-70-389-de-2017>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais – ANO 2016**. 2017. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/2017/RESIDUO\\_MINERA%C3%87%C3%83O/Invent%C3%A1rio\\_de\\_Barragens\\_2016.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2017/RESIDUO_MINERA%C3%87%C3%83O/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2016.pdf)> Acesso em: 18 mai. 2018.

MELO, L. P. R. **Análise comparativa de metodologias de previsão de inundação decorrente da ruptura de barragens de rejeitos**: caso hipotético da Barragem Tico-Tico. 2013.183 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós - Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1046M.PDF>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

MINAS GERAIS. **Lei nº 21.972**, de 21 de janeiro de 2016. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 21 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=40095>> Acesso em: 18 mai. 2018.

ROCHA, F. F. **Cenários de formação e evolução de rupturas em barragens de rejeitos (Dam Break)**. Seminário de Emergência Ambiental – VALE, 2016. Disponível em: <[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2016/ASCOM\\_DIVERSOS/01\\_-\\_Semin%C3%A1rio\\_Emerg%C3%Aancia\\_Ambiental\\_-\\_Dam\\_Break\\_-\\_Felipe\\_Rocha.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2016/ASCOM_DIVERSOS/01_-_Semin%C3%A1rio_Emerg%C3%Aancia_Ambiental_-_Dam_Break_-_Felipe_Rocha.pdf)> Acesso em: 18 mai. 2018.

ROCHA, F. F. **Retroanálise da ruptura da barragem de São Francisco – Miráí, Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2015. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

XIONG, Y. **A dam break analysis using HEC-RAS**. Journal of Water Resource and Protection, v. 3, p. 370-379, 2011.