

Caracterização das barragens de contenção de rejeitos situadas no estado de Minas Gerais

Characterization of dams containing rejects located in the state of Minas Gerais

Caracterización de las represas de contención de desechos ubicadas en el estado de Minas Gerais

Neliam Cristina Gomes

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: neliamtur@gmail.com

Rosiane Kátia dos Santos

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: rosianekass@gmail.com

Juni Cordeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9371-8385>

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: juni.cordeiro@funcesi.br

Miriam Barros Assis Duarte

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: miriam.duarte@funcesi.br

Pablo Lopes Quintão

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: pablo.quintao@funcesi.br

José Luiz Cordeiro

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: jluiz.cordeiro@funcesi.br

Recebido: 22/10/2018 | Revisado: 25/11/2018 | Aceito: 13/12/2018 | Publicado: 18/12/2018

Resumo

A disponibilidade de reservas minerais localizadas no Estado de Minas Gerais faz deste um dos mais importantes na indústria extrativa mineral brasileira. No entanto, para a comercialização dos minérios, em teor e granulometria exigidas pelo mercado, é necessário que ocorra um processo de beneficiamento, que gera como subproduto o rejeito, geralmente

destinado às barragens de contenção, as quais possuem um grande potencial poluidor. Assim, esta pesquisa objetivou a classificação das barragens de contenção de rejeitos localizadas no Estado de Minas Gerais. Para isso, foi utilizada a análise documental dos dados contidos no inventário de barragens do Estado do ano de 2017. As 302 barragens de rejeito cadastradas no inventário foram caracterizadas quanto a classe, altura, volume, distribuição espacial e condição de estabilidade. Os resultados mostraram que a maior parte das barragens de rejeitos presentes no Estado é de alto potencial de dano ambiental, porém caracterizadas por uma baixa altura (<15 m). Além disso, os municípios de Ouro Preto, Itabirito, Brumadinho, Nova Lima, Itabira, Congonhas e Uberaba concentram a maior quantidade dessas estruturas. As barragens de rejeito com estabilidade garantida representam a maioria, no entanto, uma pequena parcela apresenta a estabilidade não garantida pelo auditor. Assim, o gerenciamento da segurança e dos riscos se fazem necessários para evitar acidentes nas estruturas, e em caso de rompimento, para uma resposta rápida, a fim de minimizar os impactos ambientais negativos.

Palavras-chave: Barragem de rejeitos; Gerenciamento de riscos; Mineração.

Abstract

The availability of mineral reserves located in the State of Minas Gerais makes this one of the most important in the Brazilian mining industry. However, for the commercialization of ores, in terms of content and grain size required by the market, a beneficiation process is required, which generates the by-product the tailings, usually destined for containment dams, which have a great potential for pollution. Thus, this research aimed at the classification of tailings dams located in the State of Minas Gerais. For this purpose, the documentary analysis of the data contained in the State dams inventory for the year 2017 was used. The 302 dams registered in the inventory were characterized in terms of class, height, volume, spatial distribution and stability condition. The results showed that most of the tailings dams present in the State are of high environmental damage potential but characterized by a low height (<15 m). In addition, the cities of Ouro Preto, Itabirito, Brumadinho, Nova Lima, Itabira, Congonhas and Uberaba concentrate the largest number of these structures. Tailings dams with ensured stability represent the majority, nevertheless, a minority presents the stability not ensured by the auditor. Thus, safety and risk management are necessary to avoid structural accidents and, in case of failure, for a rapid response to minimize negative environmental impacts.

Keywords: Mining; Risk management; Tailings dam.

Resumen

La disponibilidad de reservas minerales localizadas en el Estado de Minas Gerais hace de éste uno de los más importantes en la industria extractiva mineral brasileña. Sin embargo, para la comercialización de los minerales, en contenido y granulometría exigida por el mercado, es necesario que se produzca un proceso de beneficiamiento, que genera como subproducto el rechazo, generalmente destinado a las represas de contención, las cuales poseen un gran potencial contaminante. Así, esta investigación objetivó la clasificación de las represas de contención de rechazos localizadas en el Estado de Minas Gerais. Para ello, se utilizó el análisis documental de los datos contenidos en el inventario de represas del Estado del año 2017. Las 302 represas de rechazo registradas en el inventario fueron caracterizadas en cuanto a la clase, altura, volumen, distribución espacial y condición de estabilidad. Los resultados mostraron que la mayor parte de las represas de desechos presentes en el Estado es de alto potencial de daño ambiental, pero caracterizadas por una baja altura (<15 m). Además, los municipios de Ouro Preto, Itabirito, Brumadinho, Nova Lima, Itabira, Congonhas y Uberaba concentran la mayor cantidad de esas estructuras. Las represas de rechazo con estabilidad garantizada representan la mayoría, sin embargo, una pequeña parcela presenta la estabilidad no garantizada por el auditor. Así, la gestión de la seguridad y los riesgos se hacen necesarios para evitar accidentes en las estructuras, y en caso de ruptura, para una respuesta rápida, a fin de minimizar los impactos ambientales negativos.

Palabras clave: Presa de desechos; Gestión de riesgos; La minería.

1. Introdução

O Brasil possui reservas expressivas de diversificados minerais, se configurando como o quarto país mais rico do mundo em reservas minerais, possuindo papel importante no crescimento do Produto Interno Bruto – PIB nacional. Neste contexto, o Estado de Minas Gerais, conforme dados do Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2016), destaca-se no setor da mineração brasileira, possuindo uma produção de cerca de 53% de minerais metálicos e 29% de outros minérios, sendo que 67% das minas têm produção superior a 3 milhões de toneladas/ano. Contudo, ainda que a mineração seja imprescindível para a economia do país, destaca-se que essa atividade altera significativamente o meio ambiente.

Neste contexto, Chaves (2002) destaca que dificilmente os minerais são encontrados puros na natureza, necessitando, portanto, de processos de beneficiamento que viabilizem a máxima concentração econômica do minério ou a obtenção de determinada granulometria. No

entanto, os processos de beneficiamento não conseguem aproveitar todo o minério lavrado, gerando, além do concentrado, o rejeito, que é um material de pouco valor econômico, comumente lançado em barragens de contenção.

Entretanto, Azam e Li (2010) destacam que, no segmento da mineração industrial, ocorreram várias falhas de significativa importância nessas estruturas. Dentre os acidentes mais significativos podem ser ressaltados a ruptura da barragem da Mina de Mount Polley no Canadá em 2014, que ocasionou na liberação de 7,3 milhões de metros cúbicos de rejeitos e a ruptura da Barragem de Fundão, em Mariana (MG) em 2015, que liberou 32 milhões de metros cúbicos de rejeitos na bacia do Rio Doce e ocasionou a morte de 17 pessoas (WISE URANIUM, 2018).

Dessa forma, visto que o Estado de Minas Gerais possui um potencial relevante no setor minerário e a ocorrência de acidentes com barragens que ocasionaram danos ambientais, sociais e econômicos, o governo do Estado tem priorizado a gestão de barragens de resíduos e rejeitos em indústrias e empreendimentos minerários através do acompanhamento de relatórios de auditoria técnica de segurança e realização de fiscalizações nas estruturas (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - FEAM, 2017).

Essa gestão é realizada pela FEAM, que classifica e cadastra as barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos de mineração e industriais em conformidade com a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 62/2002 (MINAS GERAIS, 2002), alterada pela DN COPAM nº 87/2005 (MINAS GERAIS, 2005), complementada pela DN COPAM nº 124/2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Diante disso, este trabalho visou caracterizar as barragens de contenção de rejeitos, provenientes de atividades minerárias, localizadas no Estado de Minas Gerais, analisando-as quanto à localização, condição de estabilidade, capacidade do reservatório e altura do maciço.

2. Classificação de barragens de contenção de rejeitos em Minas Gerais

No ano de 2010 foi implementada a Lei nº 12.334, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Essa lei é aplicada às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem características pré-determinadas (BRASIL, 2010).

Destaca-se que o Estado de Minas Gerais aplica uma gestão de barragens de contenção de rejeitos e resíduos em indústrias e mineração desde o ano de 2002, através do gerenciamento da FEAM, seguindo as diretrizes das Deliberações Normativas do COPAM nº 62/2002, nº 87/2005 e nº 124/2008.

A Deliberação Normativa COPAM nº 62/2002 dispõe sobre os critérios de classificação de barragens de contenção de resíduos, rejeitos e de reservatório de água em empreendimentos de mineração e industriais no Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2002). Segundo Tonidandel *et al.* (2009), a DN COPAM nº 62/2002 representa uma primeira referência na legislação ambiental estadual, englobando um sistema de classificação de barragens considerando o Potencial de Dano Ambiental (alto, médio e baixo), no qual observam-se as características técnicas e aspectos socioambientais das áreas a jusante dessas estruturas, passíveis de danos.

Os parâmetros para classificação de uma barragem, em consonância com o art. 2º das Deliberações Normativas COPAM nº 62/2002 (MINAS GERAIS, 2002) e DN COPAM nº 87/2005 (MINAS GERAIS, 2005) são a altura do maciço (H), em metros; o volume do reservatório (V_r), em metros cúbicos; a presença de ocupação humana na área a jusante da barragem, à época do cadastro, que pode ser subdividida nos níveis inexistente, eventual, existente e grande; o interesse ambiental da área a jusante da barragem, que pode ser caracterizado em pouco significativo, significativo e elevado; e a existência de instalações situadas na área a jusante da barragem, que pode ser caracterizada como inexistente, baixa concentração e alta concentração.

Assim, o artigo 3º da DN COPAM nº 87/2005 (MINAS GERAIS, 2005) determina que as barragens devem ser classificadas em três categorias quanto ao potencial de dano ambiental, considerando os somatórios dos valores (V) dos parâmetros definidos no artigo 2º, que varia de 0 a 4, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios utilizados para a classificação das barragens

Altura da Barragem H (m)	Volume do reservatório -V_r (x10⁶ m³)	Ocupação humana a jusante	Interesse ambiental a jusante	Instalações na área de jusante
H < 15 V = 0	V _r < 0,5 V = 0	Inexistente V = 0	Pouco significativo V = 0	Inexistente V = 0
15 ≤ H ≤ 30 V = 1	0,5 ≤ V _r ≤ 5,0 V = 1	Eventual V = 2	Significativo V = 1	Baixa concentração

				V = 1
H > 30 V = 2	V _r > 5,0 V = 2	Existente V = 3	Elevado V = 3	Alta concentração V = 2
-	-	Grande V = 4	-	-

Fonte: Adaptado de MINAS GERAIS, 2002.

Assim, as barragens podem ser classificadas, de acordo com a DN COPAM nº 62/2002 (MINAS GERAIS, 2002) em baixo potencial de dano ambiental (Classe I), nas situações nas quais a soma dos valores for menor ou igual a dois ($V \leq 2$); médio potencial de dano ambiental (Classe II), quando a soma dos valores for maior que dois e menor ou igual a cinco ($2 < V \leq 5$); e alto potencial de dano ambiental (Classe III), nas situações nas quais a soma dos valores for maior do que cinco ($V > 5$).

Duarte (2008) ressalta que após as barragens serem classificadas, os empreendedores devem adotar medidas para a adequação dos procedimentos de segurança para as estruturas, visando a redução do potencial de dano ambiental.

3. Metodologia

Este estudo tratou-se de uma pesquisa documental, de abordagem quantitativa, desenvolvido sobre os principais aspectos referentes à caracterização das barragens de contenção de rejeitos de mineração do Estado de Minas Gerais. As pesquisas de abordagem quantitativa, conforme Botelho e Cruz (2013), são aquelas que utilizam recursos e técnicas estatísticas para transformar números em informações a fim de classificá-las e analisá-las. Destarte, a pesquisa quantitativa foi empregada para a caracterização das barragens de rejeito quanto ao volume de reservação, altura, classe, situação de estabilidade e distribuição espacial no Estado.

O procedimento de coleta de dados empregado neste estudo correspondeu à análise documental, que de acordo com Bardin (1997) utiliza dados primários a fim de obter o máximo de informação e pertinência. Desta forma, a análise documental foi utilizada na extração de dados das planilhas de inventário de barragens do Estado de Minas Gerais, que é um documento publicado anualmente pela FEAM, elaborado através das informações cadastradas no Banco de Declarações Ambientais (BDA) e por meio de um Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem fornecidos pelo empreendedor.

Segundo Gil (2002), a amostra é uma pequena parte dos elementos que fazem parte do universo. Assim, as conclusões obtidas a partir dessa amostra são projetadas para a totalidade do universo, levando em consideração a margem de erro, obtida mediante cálculos estatísticos. Dessa forma, a amostra utilizada neste trabalho refere-se às 435 barragens de rejeito do Estado de Minas Gerais utilizando 2017 como ano base.

Os dados obtidos na pesquisa foram tratados através da estatística descritiva, que segundo Gerhardt e Silveira (2009) é a análise na qual há um processamento dos dados por meio de cálculos, sendo que a apresentação destes pode ser organizada em gráficos e/ou tabelas. Desta maneira, os dados de volume de reservação, altura, classe, situação de estabilidade e distribuição espacial foram tratados através da estatística descritiva, sendo representados por meio de tabelas e gráficos.

4. Resultados e discussão

A classificação das barragens tem seus critérios definidos em lei, previstos nas Deliberações Normativas COPAM nº 62/2002 (MINAS GERAIS, 2002), nº 87/2005 (MINAS GERAIS, 2005) e nº 124/2008 (MINAS GERAIS, 2008), que auxiliam na gestão destas estruturas quanto ao seu risco de impacto.

Todas as estruturas utilizadas na mineração, tais como as barragens de contenção de rejeitos, diques e barragens de captação ou armazenamento de água são cadastradas no Banco de Declarações Ambientais da FEAM como barragens de mineração. Assim, dentre as estruturas que compõem a base de dados da FEAM correspondente ao ano 2017, 302 correspondem a barragens de contenção de rejeitos, 122 a diques, e 11 correspondem a barragens de captação ou armazenamento de água.

Faz-se importante destacar que os diques se diferem das barragens por serem barramentos auxiliares, construídos de solo, concreto ou rocha, e instalados em uma sela topográfica ou em um local com cota baixa no perímetro do reservatório, com o objetivo de manter terrenos adjacentes secos (PIAÚÍ/PI, 2017; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO SOCIAL, 2002).

A classificação das barragens de contenção de rejeito no Estado de Minas Gerais é realizada através de parâmetros técnicos, relacionados ao porte da barragem, e ambientais, relacionados às características físicas e socioeconômicas na área de influência a jusante da estrutura. Para isso, é calculado o Potencial de Dano Ambiental, que remete a uma previsão

da magnitude dos impactos ambientais no caso de uma possível falha (MINAS GERAIS, 2002, 2005).

Com base nessa classificação, no ano 2017, o Estado de Minas Gerais possuía 63 barragens classificadas como Classe I, 96 barragens como classe II, e por fim, 143 barragens classificadas como Classe III, totalizando 302 barragens.

As estruturas Classe III possuem maior potencial de dano ambiental associado e correspondem a cerca de 47% da totalidade das barragens de contenção de rejeito do Estado. Verifica-se assim a necessidade de uma maior atenção à questão da segurança dessas estruturas, visto que os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes de falha, podem ser significativos caso não haja um gerenciamento adequado.

A presença de ocupação humana na área a jusante da estrutura é um dos critérios com maior peso na classificação das barragens, considerando as mudanças introduzidas pela DN COPAM nº87 (MINAS GERAIS, 2005). Isso porque, parte-se do pressuposto que, quando há existência de habitações a jusante das estruturas, em caso de uma ruptura, vidas humanas podem ser perdidas. Dessa forma, a existência de habitações a jusante destas implica em uma classificação como Classe II ou III, independente do porte da estrutura.

Além disso, a magnitude do impacto da falha de uma barragem depende de uma série de fatores, tais como a distância e o percurso dos rejeitos, a exposição e vulnerabilidade de bens e da população, usos da terra e da água e a valoração ambiental das áreas naturais a jusante desta (RICO, BENITO, DÍEZ-HERRERO, 2008).

As primeiras barragens de contenção de rejeitos do Brasil foram construídas a partir da década de 1930, devido ao aumento do processamento dos minerais de interesse econômico e, por consequência o aumento da geração de rejeitos (ÁVILA, 2012). Nesta conjuntura, Minas Gerais é o estado brasileiro que detém um maior potencial minerário, possuindo, por conseguinte, uma expressiva quantidade dessas estruturas cadastradas (FEAM, 2017).

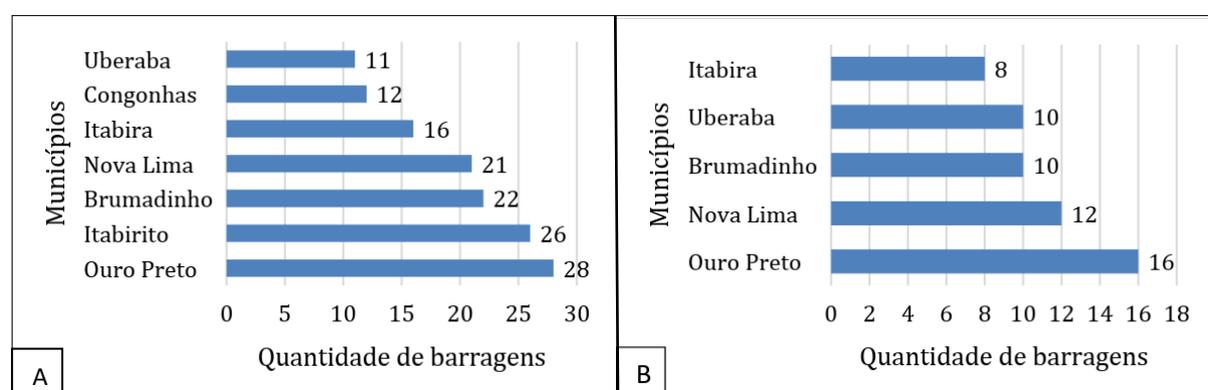
Considerando que o Estado de Minas Gerais possui 853 municípios (IBGE, 2018), apenas 64 possuem barragens de rejeito em seu território. Quanto à densidade de barragens de rejeito por município, 31,2% destes possuem apenas uma estrutura; 20,3% possuem duas estruturas; 10,9% possuem três estruturas; 26,6% dos municípios possuem entre quatro e nove estruturas; e 10,9% dos municípios possuem mais de dez estruturas. Apesar da maior parte dos municípios (62,5%) possuírem três ou menos estruturas, 10,9% destes concentram a maior parcela das barragens de rejeito do Estado (n = 136).

As regiões mineradoras podem ser entendidas como regiões conceptoras de riscos, dada a densidade relativamente alta das barragens de contenção de rejeitos. Além disso, estas

localidades podem ter o cenário agravado em decorrência das variações no preço dos minérios, as quais podem acarretar em um menor interesse no desempenho da estrutura em detrimento de interesses econômicos (COELHO *et al.*, 2017).

Diante desse cenário, o Gráfico 1 apresenta a distribuição espacial das barragens de contenção de rejeitos do Estado, sendo apresentados os municípios que possuem mais de 10 estruturas. Nota-se que os municípios de Ouro Preto (n = 28) e Itabirito (n = 26) possuem maior quantidade de barragens do Estado, correspondendo a 9,3% e 8,6% do total.

Gráfico 1 – Distribuição espacial das barragens de rejeito do Estado de Minas Gerais, ano base 2017



(A) Municípios com quantitativo de barragens de rejeito superior a 10 estruturas; (B) Municípios com maior quantitativo de barragens de rejeito Classe III.

Fonte: FEAM, 2018.

Ressalta-se que dentre as cidades que possuem o maior quantitativo de barragens de rejeitos, apenas Uberaba não está localizada no Quadrilátero Ferrífero, que é uma das principais regiões produtoras de minério de ferro a nível mundial (ROSIÈRE; CHEMALE JR, 2000).

O Quadrilátero Ferrífero é uma estrutura geológica localizada na porção centro-sudeste de Minas Gerais, possuindo área de cerca de 7000 km², caracterizado pela ocorrência de várias jazidas minerais, entre elas ouro, ferro, manganês, bauxita, topázio e esmeralda (ROESER, ROESER, 2010). Por outro lado, esta região é considerada uma área de importância biológica especial por causa da presença dos Campos Ferruginosos, um ecossistema de cangas associado às formações ferríferas bandadas muito ameaçado no Brasil, e de espécies em situação de perigo e endêmicas (DRUMMOND *et al.*, 2005 *apud* CARMO, 2010).

Por sua vez, o município de Uberaba, possui um importante patrimônio paleontológico atribuído a singularidade de assembleias fossilíferas, que são consideradas um patrimônio natural, científico, cultural e educacional (RIBEIRO, 2014; SANTOS; CARVALHO, 2007).

Sobretudo em relação à mineração de ferro, Andrade (2012) ressalta que um dos principais impactos negativos decorrentes da atividade mineradora, está associado às antigas barragens de contenção, que não eram objeto de fiscalização antes da atual legislação e, desta forma, ocasionalmente, ocorriam rupturas.

Em relação às barragens Classe III, Itabira (5,6%), Uberaba (7,0%), Brumadinho (7,0%) Nova Lima (8,4%) e Ouro Preto (11,2%) apresentam a maior quantidade destas estruturas, conforme os dados dispostos no Gráfico 1B, correspondendo a 39,2% do total de barragens do Estado.

O município de Ouro Preto possui um total de 28 barragens (Gráfico 1A), sendo que dessas estruturas, 16 são classificadas em alto potencial de dano ambiental (Classe III), perfazendo 11,2% do total de barragens Classe III. A classificação com base no dano ambiental independe da eficiência do sistema de gestão de riscos aplicado e da probabilidade de ocorrência de um mau funcionamento no desempenho da estrutura que possa a vir resultar em uma ruptura (MINAS GERAIS, 2002). Assim, o considerado alto dano potencial não significa que a barragem tem probabilidade alta de ocorrência de acidentes, e sim que caso ocorra um acidente, os impactos decorrentes terão uma maior magnitude.

Destaca-se que o município de Ouro Preto tem sua fundação e desenvolvimento ligados à descoberta de ouro aluvionar no final do século XVII. Nas primeiras décadas do século seguinte, foram registradas intensas atividades de mineração na Serra do Ouro Preto, com minas subterrâneas e a céu aberto, porém, somente em meados do ano de 1950, foram implantadas indústrias com mineração de ferro e outros minérios, inclusive ouro (SOBREIRA; FONSECA, 2001). Dessa forma, a histórica atividade minerária no município, que se mantém até a atualidade, pode explicar sua maior quantidade de barragens.

Em relação ao número total de barragens que o município de Uberaba possui ($n = 11$), a maior parte das estruturas ($n = 10$), pertence à Classe III com maior dano potencial associado, fato que não ocorre com os demais municípios. Embora o município de Itabirito possua o segundo maior quantitativo de barragens ($n = 26$), ele não apresenta uma maior quantidade de barragens na Classe III ($n = 6$).

Desta forma, os municípios que possuem uma maior quantidade de barragens com alto dano potencial, são aqueles que apresentam um maior risco ambiental, cabendo, então, maior fiscalização e acompanhamento por parte dos órgãos reguladores. Além disso, a classificação

das barragens leva em consideração parâmetros geométricos, que classifica o porte das estruturas e a capacidade de reservação, um fator relevante para a avaliação de possíveis alteamentos.

4.1 Parâmetros geométricos de classificação das barragens de contenção de rejeitos do Estado de Minas Gerais

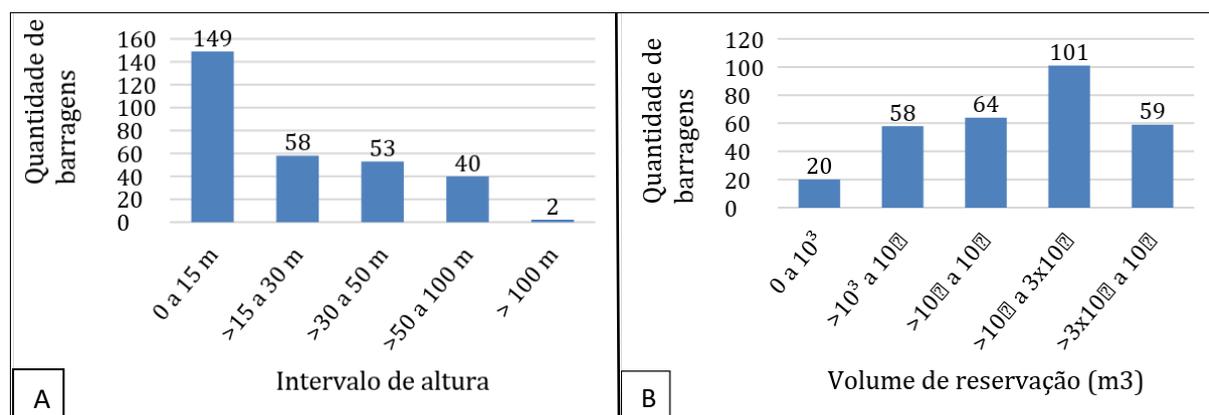
A altura da barragem é definida pela DN COPAM n° 62 (MINAS GERAIS, 2002, art. 1°), como “o maior desnível entre a cota da crista da barragem (topo) e a cota do pé do talude de jusante (talude externo)”, correspondendo a um dos parâmetros de classificação do porte da barragem.

A partir da distribuição das barragens de contenção de rejeitos pelo intervalo de altura, conforme os dados dispostos no Gráfico 2A, é possível observar que a maior parte das barragens de contenção de rejeitos do Estado de Minas Gerais possui altura baixa, compreendida entre 0 e 15 metros ($n = 149$).

Quanto às barragens mais altas presentes no estado, com altura maior que 100 m, observou-se que estas representam a minoria das estruturas ($n = 2$). Salienta-se que a estabilidade de uma barragem sofre influência direta da sua altura, visto que quão maior a altura, maior será a implicância em maiores pressões tanto na fundação quanto na base da estrutura (PEREIRA, 2016).

Conforme observações de Robertson (2017), a altura máxima das barragens de rejeito em todo o mundo tem apresentado um padrão de crescimento de dobrar a cada trinta anos. Neste sentido, ressalta-se que as barragens maiores são associadas a maiores impactos em casos de rupturas, despertando assim uma maior preocupação e aspirando mais cuidados. Assim, subentende-se que barragens com alturas menores tem menos cuidados, fato esse que é justificado pela maior quantidade de registros de acidentes em estruturas de pequeno porte, com altura menor que 30 m (VÉROL, 2010 *apud* PEREIRA, 2016).

Gráfico 2 – Características geométricas das barragens de contenção de rejeitos do Estado de Minas Gerais, ano base 2017



(A) Distribuição das barragens por intervalo de altura; (B) Distribuição das barragens por intervalos de volume de reservação.

Fonte: FEAM, 2018.

Através da altura das barragens de rejeitos é possível estimar a espessura de depósito dos rejeitos, visto que a diferença de cota entre a altura da barragem e a superfície de decantação, é igual a espessura do depósito. Da mesma maneira, através da altura das barragens pode-se quantificar a energia potencial em caso de uma falha (RICO, BENITO, DÍEZ-HERRERO, 2008).

Além disso, verifica-se que nas barragens presentes no Estado de Minas Gerais, as maiores alturas registradas não estão associadas aos reservatórios com maior volume. O volume de reservação, assim como a altura, ocupação, interesse ambiental e instalações a jusante, corresponde a um critério relevante a ser considerado na classificação de uma barragem quanto ao seu potencial de dano ambiental (DUARTE, 2008; MINAS GERAIS, 2002). Neste sentido, após a análise desses critérios, em conjunto, é possível categorizar as estruturas em Classe I, II e III, correspondendo respectivamente a baixo, médio e alto potencial de dano ambiental e ainda determinar a periodicidade relacionada à realização de auditorias ambientais.

A legislação nacional difere da estadual quanto aos critérios utilizados para a classificação do potencial de dano e a periodicidade de vistoria. Nessa concepção, uma barragem de grande porte, caracterizada por um reservatório de grande volume e uma população significativa a jusante da estrutura, deve formular um PAE - Plano de Ação de Emergência (PEREIRA, 2009).

O PAE é um documento inserido no Plano de Segurança de Barragem, que deve ser elaborado nas situações nas quais as barragens possuem Dano Potencial Associado Alto ou em qualquer caso, a critério do Departamento Nacional de Produção Mineral (BRASIL, 2012).

A partir dos dados dispostos no Gráfico 2B, observou-se que as barragens com menor volume de reservação, inferior ou igual a 1.000 m³, representam a minoria das estruturas presentes no Estado, o que pode sugerir que estas estruturas estão no início da sua vida útil. Também foi possível constatar que a maior parte das barragens de rejeito presentes no Estado (54,6%) possui um volume de reservação que pode ser considerado como intermediário.

Neste sentido, segundo Robertson (2017), a geração de rejeitos tem aumentado em uma proporção de dez vezes a cada 30 anos, aumentando, por consequência, o volume de reservação das barragens.

Faz-se importante ressaltar que, em caso de ruptura de uma barragem de rejeitos, o volume total contido nunca é liberado. Isto ocorre porque o volume de saída dos rejeitos depende do processo de liquefação, do tempo e tamanho da ruptura, e da quantidade de água na barragem no momento da falha. Dessa forma, o volume de saída é considerado o parâmetro mais apropriado para o estabelecimento de correlações com as áreas inundáveis (RICO, BENITO, DÍEZ-HERRERO, 2008).

Contudo, nos casos de ruptura, deve-se atentar ao volume de rejeito restante dentro da barragem, que deverá ser contido para que não ocorra sua saída, resultando em um segundo incidente. Tal situação foi observada no desastre ocorrido em Mariana/MG, na barragem de Fundão, que teve um volume de saída de 32 bilhões de m³ de rejeitos de um volume de reservação de 55 bilhões de m³. Logo, os 23 bilhões de m³ que permaneceram na barragem foram retidos através da construção de diques (BERTONI; ALMEIDA; TONGLET, 2016).

A *International Commisison on Large Dams - ICOLD* (2011) considera como “grandes barragens” aquelas estruturas que possuem altura igual ou superior a 15 metros, ou altura entre 5 e 15 metros e reservatório com mais de 3 milhões de metros cúbicos. Assim, observando-se apenas o volume das barragens de rejeitos do Estado de Minas Gerais, 19,5 % das estruturas (n = 59) apresentam volume suficiente para caracterizá-las como grandes barragens.

O reservatório das barragens também possui a função de armazenar água para recirculação no processo de beneficiamento dos minérios, o que pode resultar em barragens com grandes alturas visto que a capacidade de armazenamento de água deve ser levada em consideração no dimensionamento da estrutura. Além disso, um fator relevante na capacidade

de armazenamento é a velocidade de sedimentação das polpas, que por sua vez é condicionada pela granulometria dos rejeitos, sendo maior para os rejeitos arenosos e menor para as lamas (SOARES, 2010).

Desta maneira é possível afirmar que o beneficiamento de minérios com teor mais baixo, necessita de processos de cominuição mais eficientes, resultando em rejeitos com menor granulometria, implicando em barragens com maior altura e volume para possibilitar o reuso da água no processo produtivo. Assim, o uso de tecnologias que visam aumentar a densidade de rejeitos finos pode ser interessante para reduzir a geometria das barragens de contenção.

4.2 Situação de estabilidade das barragens de contenção de rejeitos do Estado de Minas Gerais

De acordo com a PNSB, a segurança da barragem é a condição que objetiva a integridade da estrutura e da operação, buscando a proteção do meio ambiente, da vida, da saúde e da propriedade. A segurança da barragem é de responsabilidade do empreendedor, que deve dentre outras obrigações, promover as ações necessárias que garantam sua estabilidade, bem como documentar as informações e apresentá-las aos órgãos competentes (BRASIL, 2010).

Na avaliação da segurança da barragem é necessária uma análise criteriosa de sua estabilidade frente às diversas solicitações que a estrutura pode ser submetida ao longo de sua vida útil. Desse modo, há diferentes fatores que podem influenciar a estabilidade destas estruturas, tais como sua altura, o comprimento da praia seca, o nível de água interno e as características geotécnicas do rejeito depositado, dentre outros (CARVALHO; PASCHOALIN FILHO, 2004; XIN; XIAOHU; KAIALI, 2011).

A estabilidade física de uma barragem, de acordo com Queiroz, Aragão e Schaper (2017), pode ser entendida como a segurança física e hidráulica da estrutura, que compreende a avaliação dos critérios relacionados aos fatores de segurança, geometria dos taludes e das bermas, vertedouros e os dispositivos de drenagem superficial. Desse modo, a Tabela 1 apresenta os dados concernentes à estabilidade das barragens de rejeitos do Estado, no ano de 2017. Observa-se que 283 estruturas, o que corresponde a 93,7%, apresentaram a condição de estabilidade garantida pelo auditor responsável pela Auditoria Técnica de Segurança.

Tabela 1 - Situação de estabilidade das Barragens de Rejeito do Estado de Minas Gerais, ano base 2017

Situação de estabilidade	Quantidade de barragens
Auditor não concluiu sobre a situação de estabilidade, por falta de dados ou documentos técnicos	5
Estabilidade Garantida pelo Auditor	283
Estabilidade não Garantida pelo Auditor	8
Sem informação disponível	6

Fonte: FEAM, 2018.

A situação de estabilidade das barragens de rejeito no Estado de Minas Gerais é acompanhada através da Declaração de Estabilidade apresentada à FEAM, referente a última Auditoria Técnica de Segurança. A periodicidade desta declaração está associada à classe da barragem, sendo realizada anualmente para as barragens Classe III, a cada dois anos para as barragens Classe II e a cada três anos para as barragens Classe I (MINAS GERAIS, 2002, 2005, 2008).

Ressalta-se que as auditorias devem ser realizadas por equipe externa ao quadro de funcionários do empreendimento e totalmente desvinculada do projeto e construção da estrutura, a fim de garantir imparcialidade e idoneidade da mesma (ÁVILA; ARAGÃO; SAWAYA, 2017). Além disso, a realização de auditorias anuais nas barragens Classe III permite um acompanhamento mais adequado do desempenho dessas estruturas, garantindo um melhor gerenciamento dos riscos, visto que estas estruturas são associadas a um potencial de dano maior em caso de ruptura.

Segundo Silva (2018), essas auditorias visam examinar as estruturas e obter um parecer sobre a estabilidade. Ao final de cada auditoria, é emitido um Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragens, contendo o laudo de segurança das estruturas e as recomendações de melhoria nas condições de segurança.

Com relação às nomenclaturas utilizadas na denominação da estabilidade das estruturas: estabilidade garantida, não garantida e não conclusiva, Silva (2018) salienta que estas podem causar dúvida aos leigos, uma vez que quando se diz “estabilidade garantida”, dá-se a impressão que essas estruturas não estão passíveis de sofrer algum tipo de acidente ou falha.

As denominações mais apropriadas, para Silva (2018), seriam: para estabilidade garantida a utilização de “risco aceitável”; para estabilidade não conclusiva, o emprego de

“risco não conclusivo”, visto que por falta de documentos ou dados não foi possível chegar a um parecer e, por fim, para estabilidade não garantida, o termo “risco não aceitável ou inaceitável”, situação na qual há um maior risco de ocorrência de incidente ou acidente.

Quanto à realização das auditorias, Ávila, Aragão e Sawaya (2017) afirmam que a certificação através dos laudos de estabilidade mostra a ineficiência do processo, uma vez que não há um protocolo estabelecido para tal e que muitas auditorias focam em aspectos rotineiros da operação da estrutura, atribuindo menor importância aos aspectos mais relevantes e que causam maior instabilização, dentre os quais podem-se citar as avaliações das condições do controle de percolação e da estabilidade, análises do manual de operação e relatórios de incidentes.

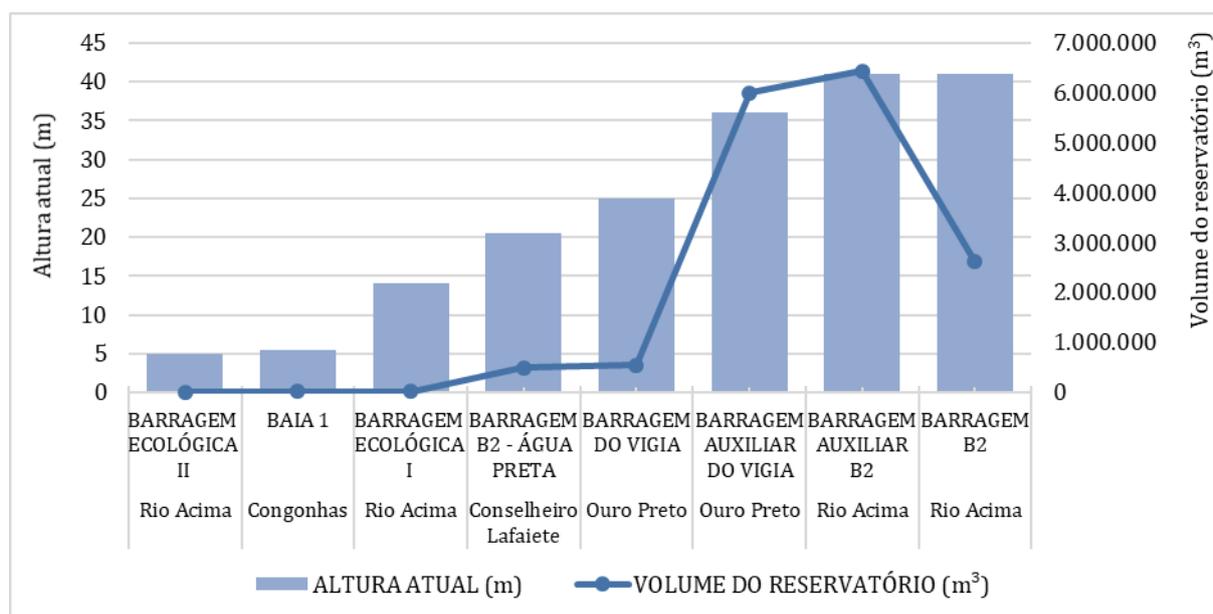
A estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes, teve uma maior importância a partir da década de 1980. Em um primeiro momento, o controle da segurança das barragens tinha sua orientação voltada para segurança estrutural e hidráulico-operacional, consistindo basicamente em investir na causa potencial da ruptura da barragem, optando pelo controle rigoroso do projeto, construção e operação. Em uma segunda fase, o controle de segurança em longo prazo foi reforçado pela utilização de técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação (ÁVILA, 2012).

A condição de estabilidade não garantida é emitida para a estrutura nas situações nas quais após o auditor efetuar análise dos estudos hidráulicos, hidrológicos e geotécnicos, bem como análise visual e das condições atuais da estrutura, concluir que esta não está segura por não apresentar estabilidade física do maciço ou não existir estabilidade hidráulica, representando risco de ruptura (FEAM, 2018).

O Gráfico 3 apresenta as barragens de contenção de rejeito que estão com a estabilidade não garantida pelo auditor, correspondendo a aproximadamente 2,7% das barragens cadastradas no Estado, e a representação das suas alturas e volumes.

Nota-se que, as barragens Auxiliar B2, localizada no município Rio Acima/MG e Auxiliar do Vigia, localizada no município Ouro Preto/MG possuem alturas consideráveis, 40 metros e 35 metros, além de volumes dos reservatórios de 6.000.000 metros cúbicos e 5.000.000 metros cúbicos respectivamente. Faz-se importante salientar que estas barragens estão operando em suas capacidades máximas de acordo com a FEAM (2017).

Gráfico 3 – Representação do volume e altura das barragens de rejeito com estabilidade não garantida pelo auditor no Estado de Minas Gerais – ano base 2017



Fonte: FEAM, 2018.

Observa-se ainda que metade das estruturas que não apresentaram a condição de estabilidade garantida estão localizadas no município de Rio Acima e pertencem ao Complexo Minerário de Fernandinho, da empresa Minérios Nacional S.A., subsidiária da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Essas estruturas foram objeto de uma ação civil pública, que devido ao risco iminente de ruptura, determinou a interdição destas (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2018).

As barragens B2 e Auxiliar B2, as mais altas dentre as barragens sem estabilidade garantida, foram construídas, respectivamente, em 1989 e 1994, pelo método de alteamento a montante. Além disso, a Barragem Auxiliar B2 está localizada à montante da Barragem B2 (SPELAYON CONSULTORIA, 2010). Destaca-se que este método de alteamento, conforme Soares (2010), é o que apresenta o menor coeficiente de segurança, possibilidade de ocorrência de *pipping* e o risco de ruptura por liquefação causada por sismos naturais ou vibrações. Além disso, no método de alteamento por montante há a dificuldade de controle geotécnico do rejeito adensado na praia (CARDOZO, PIMENTA, ZIGANO, 2016).

Os municípios de Ouro Preto e Conselheiro Lafaiete, detém respectivamente, duas e uma estrutura, que não apresentaram a estabilidade garantida, sendo que ambas possuem altura maior que 15 metros e são da Classe III. Dessa forma, se faz relevante que sejam

tomadas providências quanto a segurança dessas estruturas, visto que em caso de rompimento, o potencial de dano ambiental é alto.

Destaca-se que as estruturas Baía 1 (Congonhas), Barragem Ecológica I e Barragem Ecológica II (Rio Acima), dadas suas alturas e volumes de reservação, não são inseridas na PNSB, portanto não são obrigadas a implementar os instrumentos desta. Assim, as ausências do PSB e do PAEBM, podem se tornar um agravo caso ocorra um mau funcionamento ou rompimento da estrutura.

Salienta-se, dessa forma, que não basta somente o empreendedor declarar a não estabilidade no banco de dados, mas sim, tomar medidas para sanar os problemas existentes. Quanto aos órgãos reguladores, a fiscalização deve ser feita de forma efetiva, para que sejam implementadas melhorias nos sistemas. Assim, se faz necessário o acompanhamento das estruturas que não possuem a estabilidade garantida, para evitar que ocorram agravos e resultem em incidentes tais como o da Barragem de Fundão, em Mariana/MG.

5 Considerações finais

O Estado de Minas Gerais possui um papel importante no desenvolvimento econômico do país por meio da mineração. No entanto, em sua maioria, os minerais não são comercializados na forma como são encontrados na natureza, fazendo-se necessário o processo de beneficiamento destes, a fim de maximizar a concentração econômica do minério. Neste processo, juntamente com o concentrado de interesse é gerado o rejeito, que geralmente é depositado em barragens de contenção.

Dessa forma, esta pesquisa objetivou caracterizar as barragens de mineração do Estado de Minas Gerais, cadastradas no banco de dados da FEAM no ano de 2017. Notou-se, de maneira geral, que a maioria das estruturas cadastradas neste banco de dados corresponde às barragens de contenção de rejeito, podendo ser observados ainda diques e barragens de captação ou armazenamento de água.

A maior parte das estruturas de contenção de rejeito é categorizada como Classe III, indicando que tais estruturas possuem maior potencial de dano ambiental. Percebe-se assim que um gerenciamento inadequado pode influenciar na segurança dessas estruturas, provocando impactos negativos significativos.

Em relação à densidade de barragens de contenção de rejeito, a maioria dos municípios mineiros possuem três ou menos estruturas. No entanto, sete municípios

concentram a maior quantidade de barragens de contenção de rejeitos do Estado, sendo que o município de Ouro Preto detém a maior quantidade destas.

Considerando a altura das estruturas de contenção de rejeitos, é possível verificar que a maior parte das barragens do Estado possuem altura baixa, na faixa compreendida entre 0 e 15 metros, sendo que apenas duas barragens possuem altura acima de 100 metros.

Quanto ao volume de reservação foi possível identificar que poucas estruturas possuem volume inferior a 1.000 metros cúbicos, sugerindo que estas estão em seu início de vida útil. Verificou-se que a maior parte das barragens tem volume de reservação intermediário, porém, a parcela referente às barragens com os maiores reservatórios, também é expressiva. Salienta-se, desse modo, a importância do monitoramento dessas estruturas, pois na medida em que o maciço recebe maior volume de rejeitos, aumenta também o seu risco, tendo por consequência danos associados ainda maiores em caso de acidente.

A maioria das barragens de contenção de rejeitos está com a situação de estabilidade garantida pelo auditor. No entanto é importante salientar que uma minoria não possui estabilidade garantida pelo auditor, sendo que a metade destas está localizada no município de Rio Acima. Nota-se que estas estruturas podem apresentar um maior risco de rompimento, caso não sejam executadas ações a fim de garantir a estabilidade das estruturas e a segurança das áreas a jusante destas.

Ressalta-se, desse modo, a importância do gerenciamento dos riscos integrado ao monitoramento das estruturas. Neste sentido, recomenda-se um estudo aprofundado e pontual acerca das barragens de contenção de rejeitos que não possuem estabilidade garantida, obtendo informações acerca das anomalias que causam a instabilização, bem como proporcionando o desenvolvimento de melhorias no design e no gerenciamento de segurança da estrutura.

Os impactos negativos relacionados ao rompimento de uma estrutura de contenção são diversos, considerando tanto o âmbito socioeconômico quanto o ambiental. Por isso, faz-se necessário um eficiente plano de gerenciamento envolvendo o monitoramento eficaz da estrutura. Assim, mostra-se fundamental que os equipamentos estejam devidamente calibrados a fim de se obter informações precisas, além da capacitação e treinamento da equipe responsável pela obtenção e interpretação destes.

Além disso, mostra-se relevante uma fiscalização mais incisiva por parte dos órgãos reguladores, visando a garantia do cumprimento das regulamentações em vigor e principalmente, evitando que novos desastres tecnológicos ocorram.

Destaca-se que as limitações observadas nesta pesquisa corresponderam a falta de

dados referentes à localização das estruturas e ao fato de que barragens de armazenamento de água utilizadas na mineração e barragens de contenção de rejeito são tratadas da mesma forma na planilha, constituindo assim um grupo de barragens da mineração. Diante de tais fatos, sugere-se a atualização do sistema do banco de dados, para a inserção das localizações das estruturas, bem como suas coordenadas geográficas e a distinção das barragens que armazenam água do grupo de barragens de mineração.

Referências

ANDRADE, C. F. Relevo antropogênico associado à mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero: uma análise espaço-temporal do Complexo Itabira (Município de Itabira - MG). 2012. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ÁVILA, J. P. **Barragens de rejeito no Brasil**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), 2012. 308p.

ÁVILA, J. P.; ARAGÃO, G. A.; SAWAYA, M. **Aspectos atuais da fragilidade na gestão de segurança de barragens de rejeito: auditoria de segurança**. 2017.

AZAM, S; LI, Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. **Geotechnical News**. Dez.2010. p. 50-53.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 2ed. Edições 70: Portugal, 1997. Disponível em: <<https://goo.gl/FiK5bx>>. Acesso em 18 fev. 2018.

BERTONI, E.; ALMEIDA, R.; TONGLET, A. Mariana: a gênese da tragédia. **Nexojornal**. 04 nov. 2016. Disponível em: < <https://www.nexojornal.com.br/especial/2016/11/04/Mariana-a-g%C3%AAnese-da-trag%C3%A9dia> >. Acesso em 05 ago. 2018.

BOTELHO, J. M.; CRUZ, V. A. G. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 135p.

BRASIL. Lei N.º 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. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm >. Acesso em 03 mar. 2018.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, A. A.; ZINGANO, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão. **Holos**, v.08, ano 32, p.77-85. 2016.

CARMO, F. F. **Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre). Universidade Federal de Minas Gerais.

CARVALHO, D.; PASCHOALIN FILHO, J. A. P. Estudo da estabilidade de pequenas barragens de terra compactadas em três teores de umidade. **Exacta**. núm. 2, novembro, pp. 55-68, 2004.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 2ª Ed. V.1. São Paulo, Signus Editora, 2002. 269p.

COELHO, M. C. N.; WANDERLEY, L. J.; GARCIA, T. C.; BARBOSA, E. J. S. Regiões econômicas mínero-metalúrgicas e os riscos de desastres ambientais das barragens de rejeito no Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 13, n. 20, p. 83-108, 2017.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal do Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Inventário de barragem do Estado de Minas Gerais**, ano 2017. Belo Horizonte: FEAM, fevereiro de 2018. 40 p. Disponível em < http://www.feam.br/images/stories/2018/BARRAGENS/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2017.pdf>. Acesso em 03 mar. 2018.

GERHADT, T. T.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Orgs. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Minas Gerais. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em 04 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Gestão e manejo de rejeitos de mineração**. 1ª ed. Brasília: IBRAM, 2016.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS - ICOLD. **Constitution status**. 2011. Disponível em: <http://www.icold-cigb.net/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf>. Acesso em 03 ago. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17 de dezembro de 2002. Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5008>>. Acesso em 09 fev. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005. Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM N.º 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8251>>. Acesso em 09 fev. 2018.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 124, de 09 de outubro de 2008. Complementa a Deliberação Normativa COPAM Nº 87, de 06/09/2005, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais. Disponível em < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8572>>. Acesso em 09 fev. 2018.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Infra-estrutura Hídrica. Departamento de Projetos e Obras Hídricas. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília/DF, jul. 2002.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Ação civil pública**: autos do processo número 0188.18.002639-8. Disponível em: <<http://patrimoniocultural.blog.br/wp-content/uploads/2018/04/Complexo-Fernandinho-decisao-TJMG.pdf>>. Acesso em 01 set. 2018.

PEREIRA, Frank Marcos da Silva. **Gestão de riscos e planos de ações emergenciais aplicado à Barragem de contenção de rejeitos Casa de Pedra/CSN**. 2009. 159 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia de barragens). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

PEREIRA, O. F. M. **Análise da classificação de barragens de contenção de rejeitos no Brasil, quanto ao critério de categoria de risco**. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais). Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, Belém, Pará, 2016. 52f.

PIAUÍ. **Relatório técnico: avaliação das condições de segurança e estabilidade do dique Parnaíba**. 2017.

QUEIROZ, A. C.; ARAGÃO, G. A. S.; SCHAPER, D. V. **Crítérios de fechamento para barragens: Panorama da legislação Brasileira versus Diretrizes internacionais**. 2017.

RIBEIRO, L. C. B. **Geoparque Uberaba - Terra dos Dinossauros**. 2014. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RICO, M., BENITO, G., DÍEZ-HERRERO, A. Floods from tailings dam failures. **Journal of Hazardous Materials**, 154, p.79-87, 2008.

ROBERTSON, A. M. **Managing risk: doing, checking and checking the checkers for tailings, water and waste management**. 2017. Disponível em: <<http://www.eticaeventos.net.br/sngb2017/apresentacoes/snbr/abertura.pdf>>. Acesso em 01 set. 2018.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Revista Geonomos**, v. 18, n. 1, p.33-37, 2010. Disponível em: <http://igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/1.06_Hubertetal_33_37.pdf>. Acesso em 20 jul. 2018.

ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero—uma visão geral e discussão. **Revista Geonomos**, v. 8, n. 2, 2000.

SANTOS, W. F.; CARVALHO, I. S. A preservação do patrimônio geológico e paleontológico em Peirópolis-Uberaba (Minas Gerais): contribuição para o desenvolvimento socioespacial. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 254-254, 2007.

SILVA, L. C. N. **Barragens de rejeito da mineração: análise do sistema de gestão do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Lumens Juris, 2018. 188p.

SOARES, L. Capítulo 19: Barragens de Rejeito. IN: **Tratamento de minérios**. 5ª Ed. Eds: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Rio de Janeiro: CETEM, ago.2010. p. 829-896.

SOBREIRA, F. G.; FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. **Geotecnia**. n. 92. 2001. Disponível em:

<http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4105/1/ARTIGO_ImpactosF%C3%ADsicosSociais.pdf>. Acesso em 28 ago. 2018.

SPELAYON CONSULTORIA. **Estudo de impacto ambiental:** sistema de disposição de rejeitos Barragem B2-alteamento para elevação 905,00 m e Pilha B2-A. Rio Acima, 2010.

TONIDANDEL, R. de P.; CRUZ, L. O. M.; MACHADO, R. M. G.; FERNANDES, P. R. M.; SANTOS, C. G. do; ALEXANDRINO, R. C. S.; SOUZA, A. M. de; RODRIGUES, B. V.; BRAGA, G. F.. **Gestão de barragens de mineração no estado de Minas Gerais.** I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2009. São Paulo.

WORLD INFORMATION SERVICE ON ENERGY (WISE). Chronology of major tailings dam failures. **WISE Uranium Project.** 14.mar.2018. Disponível em: <<http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>>. Acesso em 26 mar. 2018.

XIN, Z.; XIAOHU, X.; KAIALI, X. Study of the risk assesment of the tailings dam break. **Procedia Engineering.** 26. 2011. p.2261-2269. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/82566219.pdf>>. Acesso em 14 ago. 2018.