



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

ANDRESSA DURIGUETTO

ESTUDO DAS BARRAGENS DE REJEITO

UBÁ/MG
2022

ANDRESSA DURIGUETTO

ESTUDO DAS BARRAGENS DE REJEITO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Érika Maria Carvalho Silva Gravina

UBÁ/MG
2022

RESUMO

A mineração é de grande importância para o desenvolvimento da economia, no entanto, o rompimento de uma barragem que armazena os rejeitos oriundos da mineração acaba gerando impactos econômicos, sociais e ambientais. Atualmente, a ocorrência de rupturas de barragens vem sendo mais discutida, devido ao atual cenário de acidentes envolvendo as barragens de rejeito e os prejuízos por ela gerados. Em virtude desses acontecimentos, esse trabalho tem como objetivo o estudo os métodos construtivos existentes, os fatores que levam aos rompimentos dessas barragens, os planos de segurança e as fiscalizações que os responsáveis pelas barragens devem seguir e os potenciais riscos ao meio ambiente e a sociedade caso ocorra o rompimento de uma barragem. Dessa forma, é possível notar uma necessidade de melhoria e investimento nos planos de segurança e fiscalizações por parte dos órgãos competentes e das mineradoras, além de monitoramentos frequentes na execução de projeto, na construção e na manutenção.

Palavras-chave: Barragem. Rejeitos. Rompimento. Segurança. Fiscalização.

ABSTRACT

The mining is of great importance for the development of the economy, however the rupture of a dam that stores the tailings from mining ends up generating economic, social and environmental impacts. Currently, the occurrence of dam failures has been more discussed due to the current scenario of accidents involving tailings dams and the damage generated by it. Due to these events, this work aims to bring the existing construction methods, the factors that lead to the failure of these dams, the safety plans and inspections that those responsible for the dams must follow and the potential risks to the environment and society in case a dam rupture occurs. In this way, it is possible to notice a need for improvement and investment in safety plans and inspections by the competent bodies and mining companies, in addition to frequent monitoring in project execution, construction and maintenance.

Keywords: Dam. Tailings. Rupture. Safety. Inspection.

1 INTRODUÇÃO

Uma barragem possui grande importância para a sociedade, por ser uma estrutura em um curso definitivo ou provisório de água utilizada no abastecimento de água, irrigação, geração de energia, contenção de rejeitos de mineração, entre outros. Por outro lado, essas construções são relacionadas a um grande risco de ruptura, causando sérios danos à estrutura, à sociedade, à economia e ao meio ambiente. Consequentemente, quanto maior a capacidade de armazenamento de uma barragem maior será o estrago em caso de colapso, por isso a necessidade de monitorar, fiscalizar e investir na segurança das barragens.

Nos últimos anos foi possível notar desastres relacionados ao rompimento de barragens de rejeitos, que são estruturas construídas para reter os materiais provenientes da extração do minério, ou seja, os materiais que não possuem valor comercial. À medida que esses rejeitos são gerados são construídos alteamentos para ampliação da barragem.

A construção dessas barragens de rejeitos são conhecidas por causarem um impacto ambiental considerável, além de prejuízos econômicos, ambientais e sociais quando se rompem.

Mesmo com legislações e tecnologias é possível observar que as barragens de rejeitos seguem rompendo, podendo ser apontadas falhas na construção e operação por não seguir os critérios de projeto. Essas falhas geram desastres ambientais e custam vidas. Além disso, vale ressaltar que essas construções possuem efluentes tóxicos e matérias potencialmente perigosas.

É válido destacar que apesar do histórico de acidentes causados, a mineração de forma geral para sociedade é de crucial importância, desde que seja realizada com planejamento, com a fiscalização de forma correta.

A partir dessas observações, este trabalho tem como objetivo o estudo dos tipos de barragens de rejeitos, os fatores que levam ao seu rompimento e os impactos causados no meio econômico, social e ambiental. Abrangendo os fatores essenciais em segurança e fiscalização de modo a prevenir acidentes futuros e corrigir falhas identificadas.

Considerando os últimos acidentes envolvendo barragens de rejeitos foi possível constatar a necessidade de um estudo mais aprofundado dos fatores que levam ao rompimento de barragens e os impactos causados.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Contexto Histórico

A construção de barragens tem ocorrido há milhares de anos. As primeiras referências que se tem a respeito de pequenos barramentos como uma possibilidade de reduzir os efeitos da seca se dão ao longo do rio Nilo, no Egito, na época dos faraós. No entanto, foi durante o século XX que uma parte significativa do mundo, a fim de suprir a necessidade de água e associado à ideia de que a construção de barragens direcionava ao progresso econômico e desenvolvimento, recorreu a tais obras. A partir disso, foi registrado um aumento considerável nas construções de barragens nas décadas de 30 e 70 (FRANCO, 2008).

Antigamente, as barragens de terra eram erguidas de acordo com a disponibilidade de materiais naturais, gerando um sólido monolito de terra formado por uma mistura de matérias, sem uma permeabilidade conhecida ou contida, procurando deter a água (LEÃO, 2021).

Na década de 30, os países iniciaram a construção de barragens para a distribuição dos rejeitos com o propósito de impedir que fossem despejados nos rios diretamente, diminuindo os efeitos da mineração no ambiente. Os serviços de mineração durante muito tempo eliminaram seus resíduos direto na natureza sem se importar com o meio ambiente, mas com o aumento da mineração o nível de resíduos aumentou ainda mais fazendo com que medidas judiciais chegassem para acabar com a eliminação de rejeitos de forma incorreta, dessa forma as fábricas de mineração se destinaram a construir as primeiras barragens de rejeitos (CBDB, 2011).

No Brasil, tem-se a informação que a barragem de água mais antiga foi construída em um local que hoje é uma área urbana em Recife-PE em meados do século XVI. Era conhecida como Apicuros, que em tupi quer dizer onde os caminhos se encontram (CBDB, 2011).

Grandes obras de barragens foram realizadas no Brasil nos anos de 1970 e 1980 para diversos tipos de uso, mas foi nessa época que surgiram vários projetos para a construção de barragens de rejeitos de mineração (NEVES, 2018).

2.2 Definição

Segundo o Comitê Brasileiro de Barragem (CBDB, 1999, p. 18) “o termo barragem provém etimologicamente da palavra francesa barragem, do século XII, que deriva das palavras barre, do francês e barra do latim vulgar, que significam travessa, tranca de fechar porta”.

Na literatura, Ferla (2018, p. 34) ressalta que:

A definição de barragem é apresentada em concordância em que é exposto na lei 12.334/2010 e também, na resolução nº143/2012 do ministério do meio ambiente (MMA) – CNRH, que indicam que uma barragem é 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.

Denomina-se barragem de rejeito uma construção de terra erguida em solo compactado a fim de depositar rejeitos originários de indústrias, especialmente os da mineração, esses rejeitos nada mais são que uma mistura de resíduos sólidos e resíduos líquidos oriundos das práticas da mineração. As barragens de rejeitos, geralmente são erguidas e ampliadas de acordo com a demanda e a geração de rejeitos (LIMA *et al.*, 2019).

Esses rejeitos são originados da mineração e não possuem valor comercial, normalmente são partículas pequenas, com pouca capacidade de sedimentação, causando uma turbidez muito elevada ao líquido, sendo necessário a realização de um tratamento para a reutilização dessa água nas indústrias ou para sua devolução ao meio ambiente. Geralmente, utiliza-se o método de decantação para o tratamento dos rejeitos líquidos do minério. Nesse caso, o principal objetivo de uma barragem de rejeito é decantar os sólidos suspensos a fim de separar as partes, para que o líquido possa ser reutilizado (IBRAM, 2016).

A construção de uma barragem segue parâmetros geotécnicos e técnicos com a finalidade de reter o rejeito produzido durante a separação do minério, a construção de uma barragem vai variar de acordo com sua finalidade de uso na mineração, topografia do local, a natureza do rejeito, as características granulométricas do solo, entre outros. Além disso, as barragens devem ser construídas em solos de qualidade capazes de suportar o peso do rejeito a cada alteamento, ou seja, aumento da altura da barragem e de resistir para que não aconteçam deslizamentos (MACHADO, 2007).

2.3 Métodos Construtivos

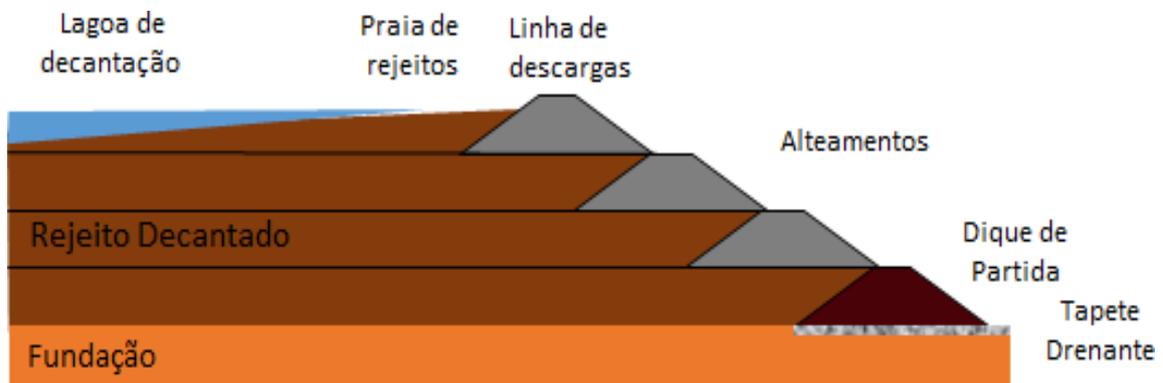
Ao longo dos anos as barragens de contenção foram construídas a fim de armazenar os materiais provenientes da extração do minério que não possuem valor comercial após seu beneficiamento, dessa forma são construídos alteamentos consecutivos para armazenar esses rejeitos. Sendo assim, um dique de partida é confeccionado no início da barragem e passa por alteamentos durante sua vida útil. Os materiais utilizados na construção de uma barragem são

compactos e oriundos de área de empréstimo ou o próprio rejeito da mineração. Com isso, são utilizados três métodos construtivos: montante, jusante ou linha de centro (DUARTE, 2008).

2.3.1 Método a Montante

Esse método de construção é o mais fácil, barato e antigo, com isso o mais utilizado no Brasil. A primeira fase dessa construção se dá com o dique de partida, geralmente feito de material argiloso ou enrocamento compactado, ou seja, um montante de pedras ou blocos, sobrepostos, aplicados sobre a água ou em terrenos argilosos, exercendo o papel de fundação ou proteção da barragem. Após a construção do dique os rejeitos são despejados hidráulicamente, com o auxílio de canhões de hidrociclones, desde a parte mais alta, ou seja, a crista em sentido a montante do dique de partida, gerando assim uma praia de deposição que servirá como fundação e conseqüentemente irá disponibilizar material para a próxima elevação da altura do dique, ou seja, para o próximo alteamento, esses alteamentos serão construídos a partir do material dos rejeitos. Esse procedimento irá ocorrer até atingir a cota máxima prevista em projeto (ARAUJO, 2006) (FIG.1).

Figura 1 – Método de Alteamento por Montante



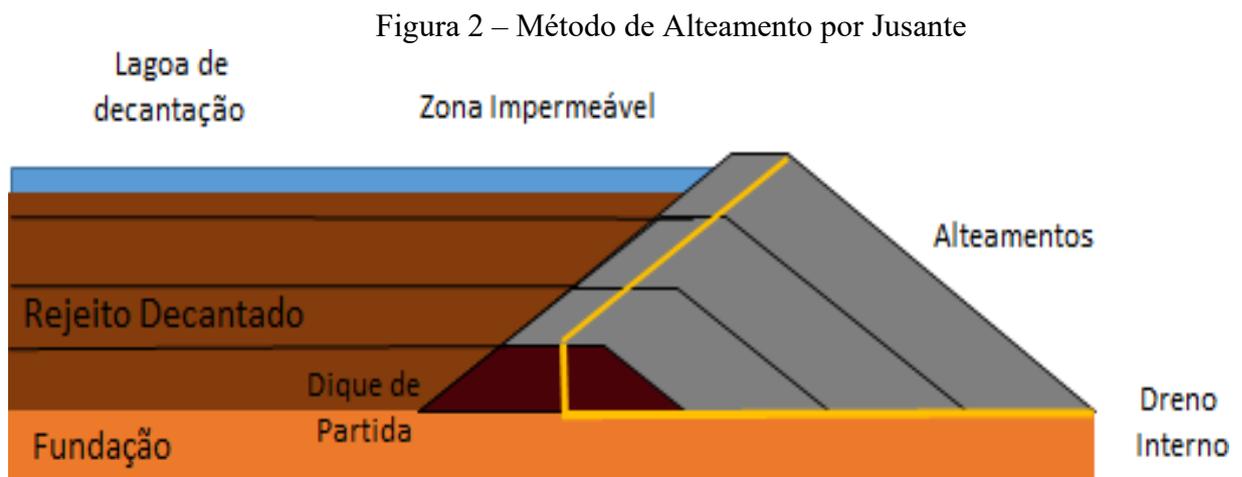
Fonte: Congonhas – MG (2019).

Neste método, a parte compacta da obra é movida a montante, utilizando o rejeito anteriormente armazenado como componente para a construção da estrutura. Ao longo da disposição, a parte mais grossa do rejeito é colocada perto do maciço e a lama, ou seja, a parte mais fina é jogada na lagoa de decantação. Na utilização de rejeitos como material para o próximo alteamento, 40 a 60% da sua composição deve ser de baixa densidade, facilitando o afastamento granulométrico (SOARES, 2010).

Mesmo sendo o método mais usado, o método a montante é o mais barato a curto prazo, pois possui pequeno controle construtivo e é perigoso em relação à segurança. Esse fato se deve aos alteamentos serem construídos em cima de materiais previamente colocados e não consolidados. Dessa forma, os rejeitos estão sujeitos a uma baixa resistência de cisalhamento e suscetíveis à liquefação, ou seja, quando o material que é rígido passa a se comportar como fluido. A liquefação ocorre quando o fluxo de água presente nesse material exerce uma força que anula o peso e a aderência de suas partículas, fazendo com que elas fiquem soltas por carregamentos dinâmicos e estáticos, devido sua condição saturada e estado de compacidade fofo. Além disso, esse método possui impasses na implantação de um sistema interno de drenagem eficaz para conter o nível d'água dentro da barragem, gerando mais um problema em resposta à estabilidade da estrutura (DUARTE, 2008).

2.3.2 Método a Jusante

No método de jusante, a primeira fase consiste na construção de um dique de partida, geralmente de solo ou enrocamento compactado. Logo após a conclusão dessa etapa, os alteamentos seguintes são feitos a jusante do dique de partida. Esse procedimento acontece até que seja atingida a cota prevista no projeto (FIG. 2). Esses alteamentos podem ser realizados com o próprio rejeito. No entanto, é mais comum o uso de materiais provenientes de áreas de empréstimo (ARAÚJO, 2006).



Fonte: Congonhas – MG (2019).

O método a jusante tem como vantagem a resistência a carregamentos dinâmicos, tais como cravação de estacas, alguma explosão no local ou por abalos sísmicos, devido a maneira

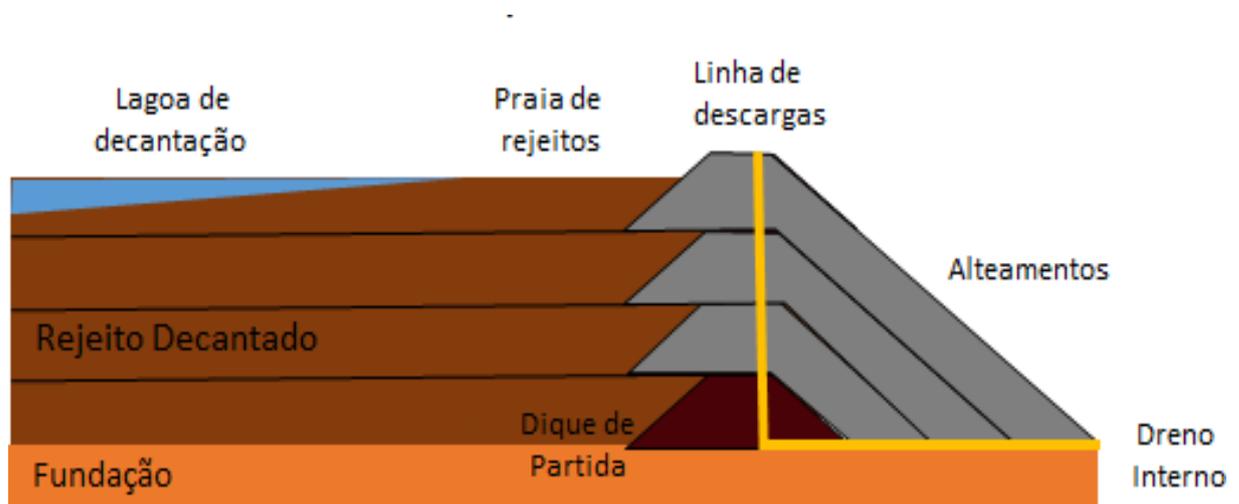
como é realizada sua construção sem intervir na segurança. A operação da barragem ocorre de forma simples, com baixa vulnerabilidade a liquefação e facilidade na drenagem (CARDOZO; PIMENTA; ZINGANO, 2016).

A construção de uma barragem a jusante demanda um investimento financeiro maior quando comparada ao método de construção a montante, uma vez que se utiliza volumes maiores de materiais, uma grande quantidade de rejeito nas fases iniciais de construção e um sistema de drenagem, além disso ocupa uma área maior. É um método seguro por causa do rigor de sua construção, o que evita a possibilidade de ruptura por liquefação (MACHADO, 2007).

2.3.3 Método de Linha de Centro

Linha de Centro é um método intermediário entre o método a montante e o método a jusante. A primeiro momento, um dique de partida é construído e os rejeitos são despejados a montante do mesmo, criando uma praia. O alteamento posterior é efetuado em cima da praia formada antes e sobre o talude de jusante do dique de partida (FIG. 3). Esse método é um intermédio entre o método montante e jusante, é mais estável que uma barragem a montante e gasta menos material quando comparada ao método a jusante (SOARES, 2010).

Figura 3 – Método de Alteamento por Linha de Centro



Fonte: Congonhas – MG (2019).

2.4 Vantagens e Desvantagens dos métodos construtivos de barragens

Segundo Campos (1986) o QUADRO 1 abaixo apresenta uma comparação das vantagens e desvantagens dos métodos construtivos de barragens a montante, a jusante e linha de centro.

Quadro 1: Comparação dos métodos de alteamento

Método	Vantagens	Desvantagens	Observações
Montante	<ul style="list-style-type: none"> - Menor custo. - Maior velocidade de construção. - Melhor aproveitamento da areia. - Menor vazão V_{areia} / V_{lama}. - Não existe erosão eólica e hidráulica nos taludes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície freática elevada. - Maior risco de ruptura por <i>piping</i>¹. - Superfície provável de ruptura passando pelo material de baixa resistência ao cisalhamento. - Dificuldade de sistema de drenagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aterro hidráulico com o próprio rejeito bombeado. - Diques geralmente construídos com rejeito retirado ao redor da água
Jusante	<ul style="list-style-type: none"> - Menor probabilidade de ruptura interna. - Superfície provável de ruptura passando sempre ao longo de material resistente e compactado. - Abatimento da linha freática, uma vez que se impõe um sistema de drenagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo mais elevado. - Menor aproveitamento da área disponível. - Maior volume de material compactado. 	<ul style="list-style-type: none"> - O alteamento pode ser realizado com o próprio rejeito. No entanto, é mais comum o uso de materiais provenientes de áreas de empréstimo.
Linha de Centro	<ul style="list-style-type: none"> - Economia de espaço físico. - Menor volume de material compactado. - Drenagem interna eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de ocorrência de fissuras no corpo da barragem. - Maior risco de ruptura por <i>piping</i>. - Dificuldade de implementação de sistema de drenagem eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caso particular do método à jusante

Fonte: Campos (1986).

2.5 Incidentes e Acidentes

Incidente é a ocorrência de um fato indesejado, de proporção pequena, que atrapalha o funcionamento da barragem com capacidade de provocar possíveis acidentes se não forem reparados a tempo. Acidente é uma irregularidade de grande porte com ruptura total ou parcial de uma barragem e a perda de sua funcionalidade por completo, acarretando sérios problemas econômicos, ambientais e sociais. A erradicação e gerenciamento dos incidentes devem ser o

¹Desenvolvimento progressivo de erosão interna por infiltração, aparecendo a jusante como um buraco vertendo água

principal cuidado para prevenir acidentes e gestão de perdas. As barragens de contenção de rejeitos são construções difíceis que necessitam de atenção no desenvolvimento de um projeto de engenharia, na operação, na manutenção das estruturas (VIEIRA, 2005).

Todas as obras de engenharia estão propensas a falhas, inclusive as barragens. Os estragos gerados pelo rompimento de uma barragem podem ser trágicos, sobretudo se houver comunidades urbanas ou rurais. Outro fato que se deve atentar é que as barragens dispõem de substâncias com grande risco de contaminação e quando entram em contato com a natureza são capazes de prejudicar a fauna e flora local (MACHADO, 2017).

2.6 Fatores que levam ao rompimento

Frequentemente as barragens de rejeitos estão propícias a deformações e deslocamentos devido a sua natureza, suas dimensões e a ação de agentes internos e externos (MACHADO, 2007).

Análises de incidentes nas barragens de mineração mostram uma série de motivos que podem levar ao seu rompimento, tais como o monitoramento incorreto das estruturas de drenagem, falta de vistorias durante a construção e a operação, expansão das barragens sem devidos métodos de segurança e o excesso de carga a partir de rejeitos de mineração. Outros fatos que possibilitam a ocorrência desses desastres no Brasil e devem ser ressaltados são a ausência de regulamentação a respeito dos critérios de projetos, as políticas frágeis, instituições públicas de controle e prevenção desorganizadas (SOUZA, 2019).

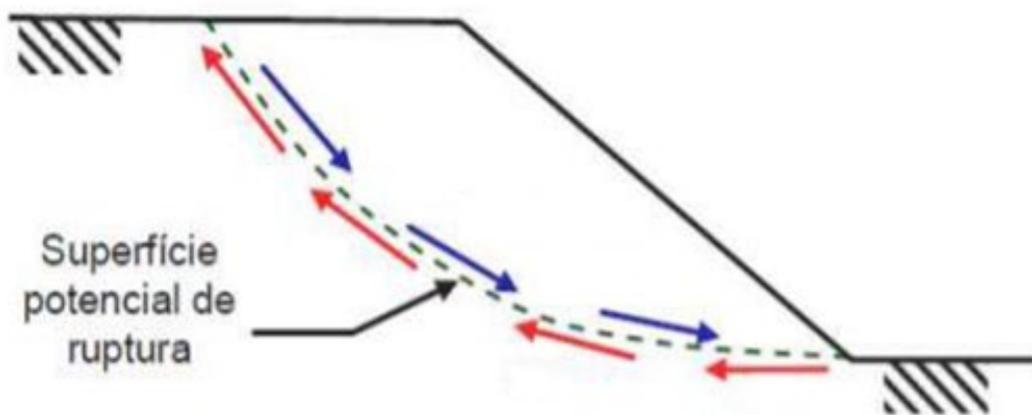
Dentre os principais modos de ruptura pode-se citar: Ruptura por instabilidade do Talude; Ruptura por Galgamento, Ruptura por Liquefação, Ruptura Hidráulica por “*piping*” /erosão progressiva e Falha Humana.

2.6.1 Ruptura por Instabilidade do Talude

Os taludes das barragens de rejeito em sua maior parte são compostos de materiais estéreis, ou seja, materiais oriundos da extração do minério ou de solos de empréstimo. O peso específico desses materiais, juntamente com as sobrecargas no corpo da barragem, permeabilidade do solo, piezometria (influenciada pelo regime de chuvas, evaporação e geração de resíduos) são capazes de influenciar diretamente na segurança dessa estrutura (ARAÚJO, 2019).

De acordo com Araújo (2019) todo talude seja natural ou construído tem predisposição ao deslizamento, com isso surge a necessidade de projetos bem elaborados e vistoriados, além de entendimento sobre os parâmetros geotécnicos. Uma vez que, a falta de controle e conhecimento desses parâmetros é um dos fatores responsáveis pela instabilidade do talude (FIG. 4).

Figura 4 – Processo de ruptura de barragem por instabilidade do talude



Fonte: GERSCOVICH (2008)

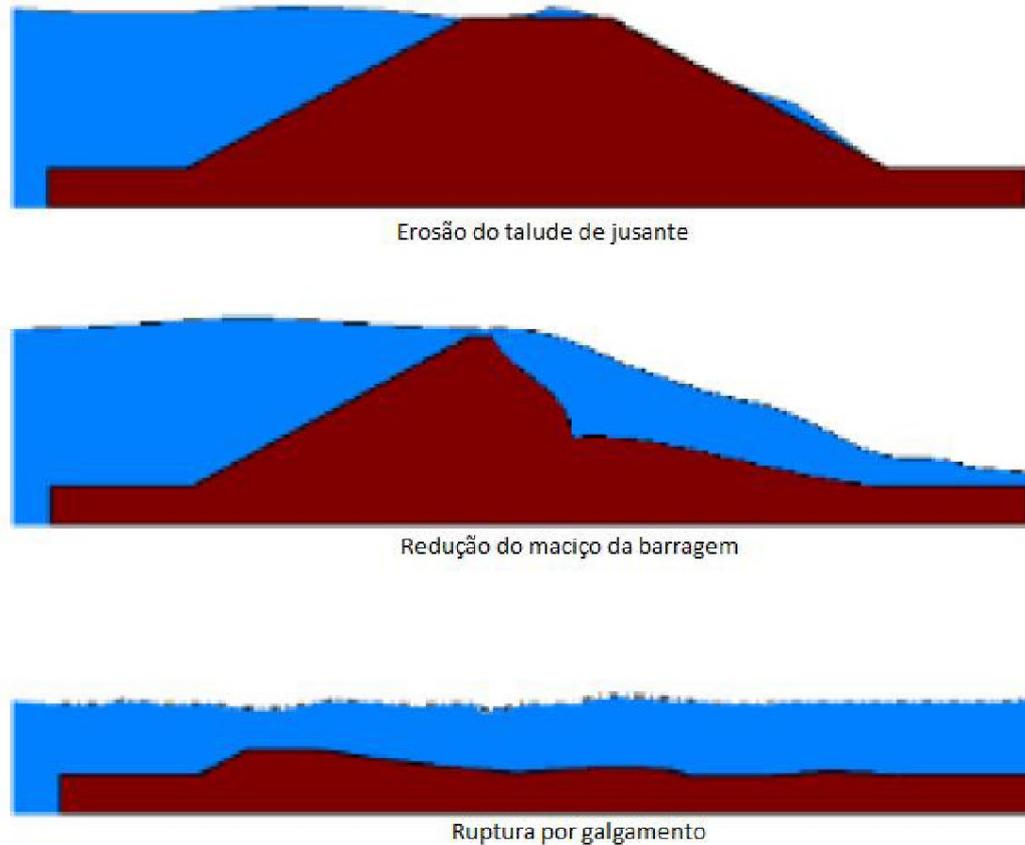
2.6.2 Ruptura por Galgamento

O processo de galgamento ocorre quando a barragem atinge seu nível máximo e por conta da incapacidade do vertedouro ela acaba entornando sobre a crista da barragem, dando início ao processo de erosão no talude provocando a ruptura da barragem. Portanto, as causas do galgamento podem ser pela manipulação inadequada do reservatório durante o período de cheia, quando o vertedouro não consegue desempenhar seu papel com eficiência ou quando há formação de ondas dentro do reservatório sendo de origem sísmica ou iniciada pelo deslizamento e deslocamento de uma grande parte de terra das vertentes da barragem (LAURIANO, 2009).

Essa ruptura ocorre devido a um erro operacional ou por conta de um dimensionamento hidráulico incorreto. Dessa forma, um erro nos cálculos pode gerar volumes maiores que a capacidade da barragem e não previstos em projeto fazendo com que a estrutura não seja capaz de aguentar. Além disso, o dimensionamento incorreto impossibilita o aumento da vazão de escoamento. Portanto, é essencial que as estruturas estejam bem dimensionadas e em condições de aguentar o impacto da água (VALÉRIO, 2016).

O processo de ruptura por galgamento pode ser observado na FIG. 5 a seguir:

Figura 5 – Processo de ruptura de barragem por galgamento



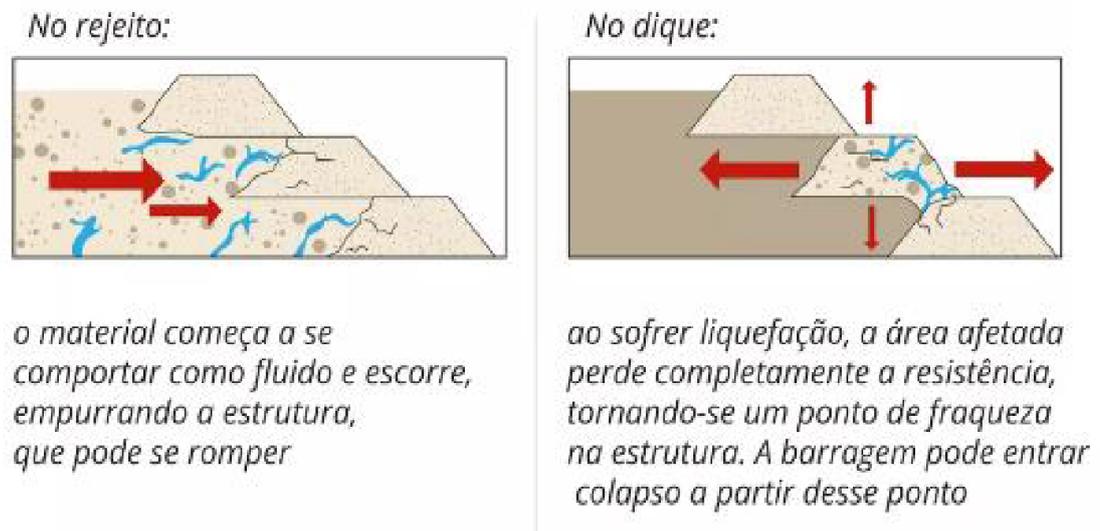
Fonte: PEREIRA (2009).

2.6.3 Ruptura por Liquefação

Nesse processo o material sólido passa a se comportar como líquido, tanto no rejeito como na barragem, em função do aumento da pressão no solo. O rejeito fica mais fluido e conseqüentemente começa a escoar, empurrando a estrutura da barragem podendo assim resultar em um rompimento. Já nas barragens, os diques podem ser atingidos pela liquefação levando a área do barramento a perder totalmente a sustentação deixando a estrutura frágil e suscetível ao colapso. Além disso, o excesso de chuvas aumenta o volume de água que por sua vez pode causar pressão no rejeito caso ele esteja saturado e a drenagem não seja eficiente. A liquefação pode ser evitada através do monitoramento adequado da estrutura, com instalações de sistemas de drenagem e filtros eficientes, além de manutenções periódicas (LIMA *et al.*, 2019).

O processo de liquefação pode ser observado na FIG. 6 a seguir:

Figura 6 – Processo de liquefação em barragens de rejeito



Fonte: Globo Comunicação e Participações S.A (2019^o).

2.6.4 Ruptura Hidráulica por “piping”/erosão progressiva

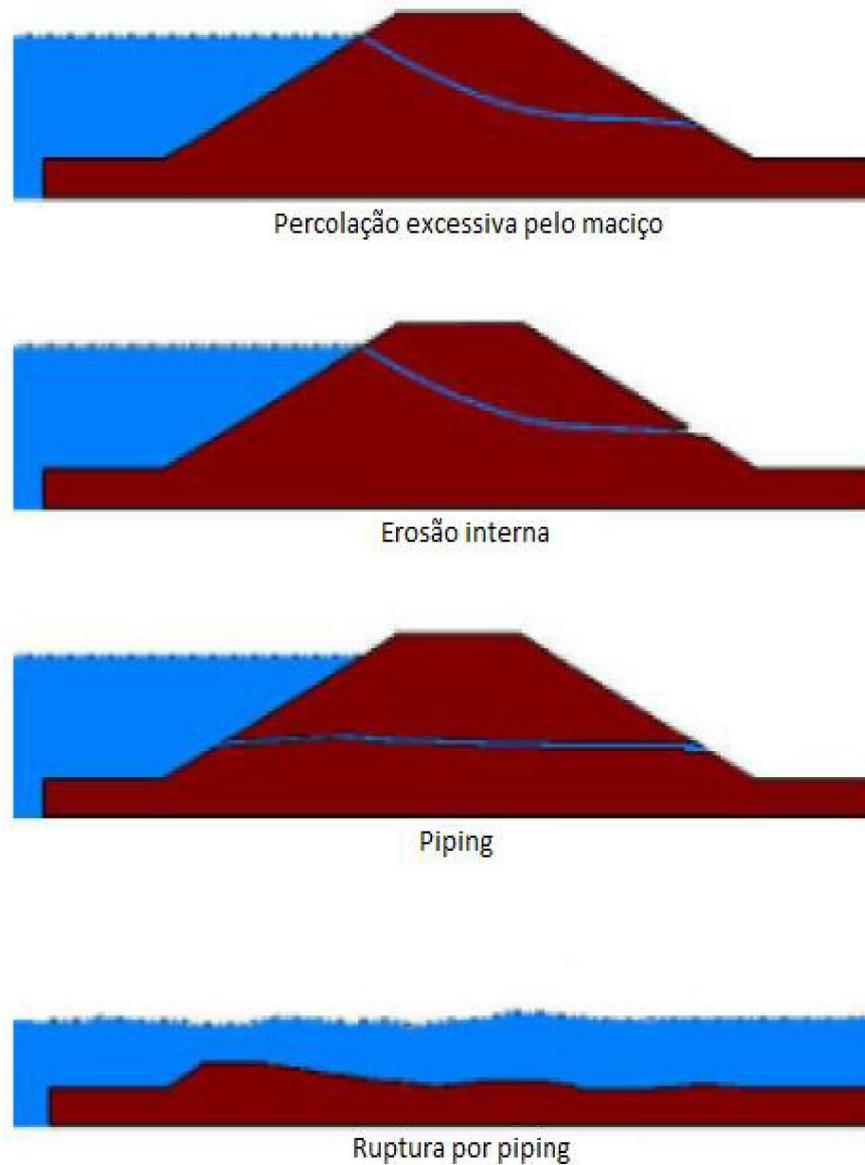
Ruptura hidráulica é causada pela ausência de resistência e perda da estabilidade do solo por conta do excesso de água absorvida. Com a diminuição da resistência iniciada em um ponto acontece nesse local a erosão acarretando uma concentração de líquido nesta região. Essa infiltração é conhecida também como *piping* ou erosão progressiva, ela é capaz de fazer com que a estrutura entre em colapso devido ao mau dimensionamento dos filtros, com isso o solo se rompe na parte interna gerando a percolação da água sucedida por uma ação erosiva, com isso, ocorre a passagem dessa água com partículas por esse solo erosivo e origina a geração de canais dentro do solo prejudicando e comprometendo a estrutura, contribuindo para seu rompimento (LIMA, 2016).

Esse modo de erosão interna na maioria das vezes é acentuado por defeitos no sistema de drenagem, devido à pressão e o peso da lama de rejeitos em cima do fundo da estrutura, deformando os filtros que na maioria das vezes acabam ficando entupidos (INSTITUTO MINERE, 2019)².

Observa-se na FIG. 7 um processo de ruptura de barragem por erosão interna (*piping*).

²<https://institutominere.com.br/blog/tragedia-em-brumadinho-o-que-sao-liquefacao-e-piping-os-dois-principais-problemas-em-barragens-no-brasil>

Figura 7 – Processo de ruptura de barragem por erosão interna (piping)



Fonte: PEREIRA (2009).

2.6.5 Falha Humana

Os prováveis motivos que a falha humana leva ao rompimento de uma barragem são os erros de projeto, operação imprópria no reservatório e a falta de monitoramento das estruturas. Devido ao alto risco do projeto é preciso cumprir as normas de segurança de barragem de acordo com o Plano de Segurança da Barragem com o objetivo de prevenir e reduzir possíveis danos. É de responsabilidade do empreendedor dispor dos recursos essenciais para garantir a segurança de sua barragem (PEREIRA, 2009).

2.7 Rupturas de Barragens

O avanço da engenharia ocorre por meio de erros vivenciados, por exemplo rupturas de barragens e grandes acidentes servem de aprendizado e análise para refletir se os conhecimentos a respeito de barragens estão sendo empregados de forma correta. O rompimento de uma barragem de mineração em operação pode acarretar diversos problemas, como tornar a barragem inutilizável, provocar diversas mortes, conseqüentemente o custo de um acidente é muito elevado. Com base nas circunstâncias de um acidente, os responsáveis pela geotecnia da mineradora precisam garantir a segurança e controle das barragens, além da gestão de riscos (OLIVEIRA, 2010).

O rompimento de uma barragem é um transtorno que vem preocupando cada dia mais, os donos, os engenheiros, instituições responsáveis pelo projeto, assim como aumentaram a preocupação com a construção e operação da estrutura, e o licenciamento. No contexto de segurança de barragens é possível notar um aumento progressivo na compreensão do potencial risco que uma barragem pode oferecer à população que reside próximo dessas construções, pois os estragos causados podem gerar mortes e danos inestimáveis ao meio ambiente (PEREIRA, 2009).

O primeiro rompimento de uma barragem de rejeito foi a do método construtivo a montante em Barahona no Chile, em decorrência de um grande terremoto no ano de 1928, ocasionando uma inundação catastrófica, no qual mais de 50 pessoas perderam suas vidas. Um tempo depois essa barragem foi trocada por uma mais segura e estável usando o método construtivo a jusante (ICOLD, 2001).

No Brasil, é possível notar historicamente o predomínio de ruptura de barragens de mineração, e as principais causas dessas eventualidades foram desde incidentes identificados na irregularidade da construção até a ruptura total da estrutura, conseqüentemente provocando danos ambientais, econômicos e sociais com perdas significativas (PEREIRA, 2009).

Recentemente no Brasil podem ser citadas o rompimento de duas barragens de rejeitos em Minas Gerais, são elas a barragem da Mina do Fundão, distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, e a barragem da Mina do Feijão em Brumadinho. No dia 05 de novembro de 2015 o distrito de Bento Rodrigues enfrentava o acontecimento mais destruidor da história, no qual a barragem da Mina do Fundão se rompeu lançando mais de 40 milhões de m³ de lama tóxica sobre a cidade matando 19 pessoas e seguiu rumo ao Rio Doce, maior bacia hidrográfica do estado, causando um grande desastre ambiental e social, essa lama percorreu 280 quilômetros chegando no estado do Espírito Santo. Os moradores perderam suas casas, o acesso

a água tratada e sua fonte de renda que vinha da pesca, pecuária e turismo. Segundo o Ministério Público do Estado de Minas Gerais o rompimento teria sido causado devido à realização de um recuo no eixo da barragem que foi iniciado em 2013 para realizar o conserto em uma galeria secundária que apresentava vazamentos. Segundo o relatório apresentado desde a realização desse recuo teriam sido construídos novos alteamentos nessa área, na qual sua fundação era menos resistente e menos permeável fazendo com que em 2015 a barragem se rompesse no local no qual foi iniciado o recuo (PASSARINHO, 2019)³.

Na FIG. 8 é possível observar o caminho percorrido pela lama e a destruição que ela causou na região.

Figura 8 – Imagens apresentam o antes e o depois das regiões atingidas pela lama



Fonte: Globo: g1 (2015).

Anos depois, o Brasil sofreu com mais um rompimento, mais precisamente na cidade de Brumadinho (MG), no dia 25 de janeiro de 2019 a barragem da Mina do Feijão se rompeu despejando em torno de 12 milhões de m³ de rejeitos devastando tudo por onde passava, mais de 250 pessoas perderam suas vidas, a natureza ao redor foi destruída, foram encontrados sinais de metais pesados nos rios da região, afetando a utilização da água para o abastecimento público, a agricultura e a pecuária. Até o momento não se sabe ao certo os motivos que levaram a esse rompimento, o que existe são apenas suposições e investigações. A princípio as suspeitas são a de que tenha acontecido o processo de liquefação no solo, na qual podem ter sido influenciadas por explosões com dinamites que ocorriam próximo ao local da barragem. Outra

³<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/fiscalizacao-de-barragens-orgao-federal-de-controle-e-o-2-mais-exposto-a-fraudes-e-corrupcao-diz-tcu,94384c562a19d58b199de0daf67fdae35uknl03c.html>

causa que deve ser considerada é a gestão incorreta da estrutura, sabe-se que desde 2016 a Agência Nacional de Mineração (ANM) não realizava fiscalização na barragem (PASSARINHO, 2019).

Na FIG. 9 é possível ter uma noção do caminho percorrido pela lama e a destruição que ela causou na região.

Figura 9 – Comparativo da cidade de Brumadinho antes e depois da tragédia.



Fonte: Globo: g1 (2019).

De acordo com Pereira (2019) o rompimento de uma barragem é uma tragédia anunciada e pode ser compreendido como o poder desregulado das entidades responsáveis por elas. Nos dois casos havia medidas que podiam ser tomadas pelas mineradoras para diminuir os riscos e a falta de segurança, mas foram ignoradas. Dentre os erros cometidos pode-se citar em ambos os casos a proximidade das barragens com a comunidade, a falta de um sistema de sirenes para servir como alerta a população, falta de instrução a população de como agir em situações de rompimento, falta de fiscalização por parte das mineradoras, falhas e emissões no processo de licenciamento ambiental.

A ruptura de uma barragem acarreta prejuízos econômicos de grandes proporções para a mineradora e para a sociedade que é atingida de forma direta e indireta. As consequências dessas rupturas são a perda de diversas vidas, prejuízos econômicos, danos ambientais e sociais, suspensão temporária ou definitiva das atividades de mineração. Portanto, para prevenir acidentes é essencial investir na segurança dessas estruturas (ROCHA, 2015).

2.8 Avaliação da Segurança de Barragens

Normalmente, a estrutura de uma barragem é considerada segura quando cumpre os critérios técnicos de segurança estrutural, isto é, quando há conformidade entre o projeto, a

execução e a manutenção, garantindo dessa maneira o funcionamento adequado das barragens e manutenções preventivas. Outro fator que deve ser considerado é se o método construtivo é a montante ou a jusante. Portanto, a segurança de uma barragem deve ser a junção entre a qualidade da sua estrutura, o local onde foi construída e o método de construção (AGUIAR, 2014).

De acordo com Peck (1984) a cada 10 rupturas de barragens 9 ocorrem por falta de troca de informações entre o projetista e o executor da obra, por negligência, por confiar nas condições geológicas da região sem antes realizar um estudo do local. Essas falhas foram observadas em vários acidentes ocorridos.

Nas últimas décadas viu-se a necessidade de aumentar o envolvimento e o cuidado do estado brasileiro com a segurança de barragens, visto que essas estruturas expõem a sociedade a vários riscos. Os cuidados com uma barragem devem ir desde sua criação, sua manutenção, até o dia que suas atividades se encerraram, buscando conservar a integridade e o funcionamento de uma barragem, diminuir os riscos de acidentes e incidentes, proteger a vida, saúde, a comunidade e o meio ambiente (NEVES, 2018).

Com isso, em setembro de 2010 era criada no Brasil a Lei Federal nº 12.334/2010 que inicia a Política Nacional de Segurança de Barragens que tem como propósito manter os padrões de segurança, incentivar o monitoramento e as ações de segurança estabelecidas pelos órgãos fiscalizadores, de modo que os proprietários de barragens em construção, operação ou desativadas devem seguir as regulamentações e o cronograma de implantação para obter aprovação da fiscalização. A segurança em barragens é um meio de reduzir a chances de um acidente e suas consequências (CBDB, 2011).

De acordo com Souza e Silva (2017) as leis de segurança em barragens devem ser aplicadas quando fazem parte dos seguintes critérios:

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

Além disso, segundo Guimarães (2018) a Política Nacional de Segurança usa instrumentos para classificar as barragens de acordo com seu risco, seu potencial de destruição e seu volume. São elas:

- classe I: barragem de baixo potencial de dano ambiental, devem ser auditadas a cada três anos;
- classe II: barragem de médio potencial de dano ambiental, devem ser auditadas a cada dois anos;
- classe III: barragem de alto potencial de dano ambiental, devem ser auditadas anualmente.

2.9 Descaracterização e Descomissionamento de Barragens

De acordo com a ANM, O Brasil possui 218 barragens que foram classificadas com alto risco de rompimento e estragos, sendo que 84 destas barragens de rejeitos foram construídas pelo método a montante. Devido ao histórico rompimento de barragens desse método construtivo e levando em consideração sua baixa eficiência e falta de segurança a ANM, através da Resolução N° 4, de 15 de fevereiro de 2019, determina que: (ARAÚJO, 2019)

- Será proibido a utilização do método de construção ou alteamento de barragens de mineração denominado “a montante” em todo o território nacional;
- Levando em consideração diminuir ou acabar com o risco de rompimento, principalmente a ruptura por liquefação as mineradoras devem concluir a elaboração de projeto técnico de descomissionamento ou descaracterização da estrutura, que deverá contemplar, no mínimo, obras de reforço da barragem à jusante ou a construção de nova estrutura de contenção à jusante.

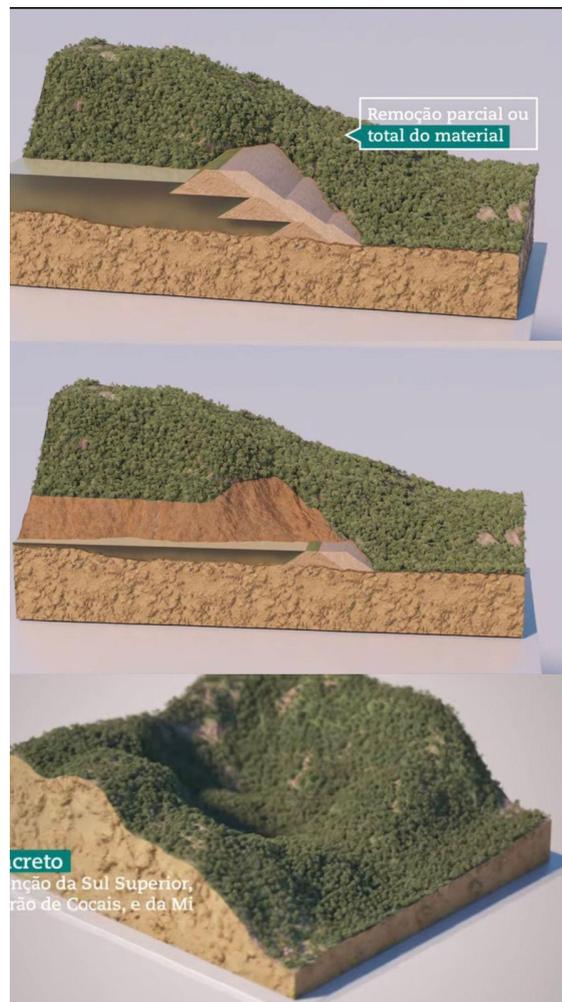
Em setembro de 2020 a Lei Federal n°12.334/2010 foi alterada pela Lei n° 14.066/2020 que proíbe a construção ou alteamento de barragens pelo método construtivo a montante. Portanto, foi estabelecido que até 25 de fevereiro de 2022 os empreendedores deveriam concluir a descaracterização ou descomissionamento das barragens que utilizassem o método a montante, esse prazo pode vir a ser prorrogado de acordo a estrutura desde que seja autorizado por uma entidade fiscalizadora (ANM, 2022).

2.9.1 Processo de Descaracterização

No Brasil, foram aprovadas leis e regulamentações que determinam a descaracterização em todas as barragens a montante, esse processo consiste em recuperar a estrutura de uma barragem fazendo sua drenagem sem necessariamente realizar a extração do rejeito e replantando sua vegetação na área onde antes era depositado o rejeito proveniente da extração

de minério. O processo de descaracterização é complexo, pois é necessário a realização de um projeto específico para cada barragem. Antes de realizar esse projeto, especialistas fazem um estudo para identificar qual a forma mais segura para executar a obra, esse processo é acompanhado especialistas técnicos, fiscalizadores de órgãos públicos, de auditorias externas e por representantes da comunidade (VALE, 2021). Na FIG. 10 a seguir é possível observar como ocorre o processo de descaracterização.

Figura 10 – Descaracterização de uma Barragem de Rejeitos.



Fonte: VALE (2019).

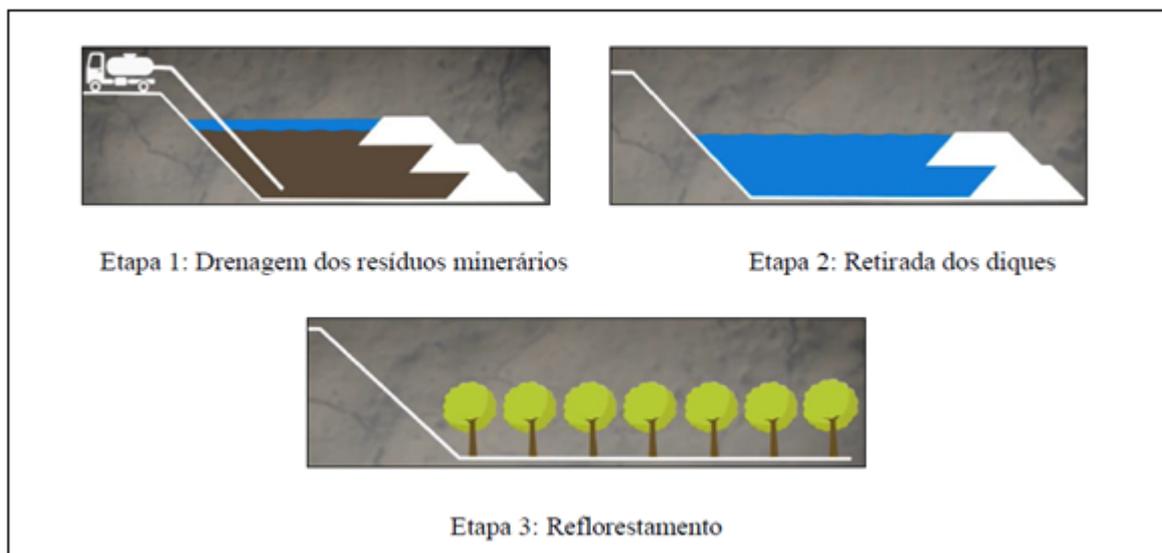
Para executar a eliminação, ou seja, a descaracterização da barragem em alguns casos é construído um reforço no maciço da barragem para melhorar a estabilidade da estrutura para que logo em seguida essa barragem perca sua função de armazenamento. Cada barragem requer um tempo para esse processo conforme sua complexidade. A etapa final da obra é a revegetação para reintegrar a área ao ambiente local (VALE, 2021).

2.9.2 Processo de Descomissionamento

O processo de descomissionamento é muito complexo, pois requer o monitoramento da estrutura da barragem e dos rejeitos retidos, cada barragem precisa de um projeto específico. O descomissionamento trata-se do desmanche total da estrutura da barragem e o início do processo de esvaziar o reservatório de rejeito para a implantação da vegetação (AGÊNCIA BRASIL, 2021).⁴

A primeira etapa do processo consiste em drenar os resíduos sólidos que estão dentro da barragem, esses resíduos podem ser reaproveitados na construção de estradas e na construção civil, a água presente na barragem pode ser tratada e reintegrada ao meio ambiente e o local é realizado a recuperação do solo e o reflorestamento (TREVIZAN, 2019) (FIG. 11).

Figura 11 – Descomissionamento de uma Barragem de Rejeitos.



Fonte: ARAÚJO (2019).

Desse modo, independentemente se o método utilizado for o de descaracterização ou descomissionamento, ambos apresentam riscos e por isso a necessidade de monitoramento durante todo o processo, estudos do local, das barragens, dos riscos da antes realização de cada projeto para analisar a forma mais segura de realizar esse procedimento (ARAÚJO, 2019).

2.10 Fiscalização e Licenciamento de Barragens

⁴<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-07/ibram-algumas-barragens-precisam-de-prazo-de-descomissionamento-maior>

A fiscalização oferece segurança para os órgãos responsáveis e para a população que reside próximo às áreas de risco. O ato de fiscalizar está ligado à percepção de falhas, erros e irregularidades. A fim de diminuir os danos gerados pela mineração é preciso aumentar as obrigações ambientais e a fiscalização buscando alterações na conduta das mineradoras (PENNA, 2009).

A divisão dos órgãos fiscalizadores é realizada de acordo com o tipo de barragem e sua função. O órgão responsável pela fiscalização de barragens de rejeito é a Agência Nacional de Mineração (ANM), instituição que concede direitos às mineradoras para a disposição final ou provisória dos rejeitos. Associado com o Ministério de Minas e Energia (MME) que tem como objetivo promover o planejamento, a forma correta de exploração, o aproveitamento correto dos recursos minerais, coordenar pesquisas geológicas, de tecnologia a respeito dos minerais, assim como garantir a segurança e fiscalização das atividades de mineração (NEVES, 2018).

No Brasil, os empreendedores têm como principal responsabilidade o controle da segurança das barragens, devendo obedecer a legislação e atender às solicitações do órgão fiscalizador, garantindo uma gestão correta das barragens desde sua fase de construção até o dia que for desativada. Durante a operação de uma barragem é de suma importância que os empreendedores façam inspeções, manutenções, obras quando necessário, mantenham a organização, utilizem sistemas de emergência e sempre manter a entidade fiscalizadora a par das informações (ANA, 2014).

Para regularizar seus empreendimentos, os responsáveis pelas barragens devem requisitar os processos de outorga, licenciamento ambiental e segurança de barragens nos órgãos competentes. A solicitação de licenças ambientais pode ser realizada no IBAMA e na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) que tem como objetivo organizar e planejar a realização de políticas referentes à fiscalização, normatização, organização e controle das ações referentes à exploração e preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. A escolha do órgão responsável por emitir a licença vai depender do impacto ambiental que essa barragem pode gerar (ANA, 2019).

Para o processo de outorga fica a cargo do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) a responsabilidade de analisar as outorgas dos empreendimentos, essas análises são realizadas por meio das Unidades Regionais de Gestão das Águas (URGAS) que dispõem de informações a respeito da localização e da área de abrangência (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2021).

Para o processo de segurança de barragens a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) determinou que a ANM juntamente com o Sistema Nacional do Meio

Ambiente (SISNAMA) seriam os responsáveis por fiscalizar as estruturas e fornecer informações ao Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SISNIB) (INSTITUTO MINERE, 2022).⁵

De acordo com Lima (2021)⁶ para que a fiscalização de uma barragem ocorra de forma correta devem ser seguidas as etapas a seguir:

- Informações Gerais e Declaração de Classificação da Barragem quanto ao Risco e Dano Potencial Associado;
- Documentação técnica do Empreendimento;
- Planos de operação e Procedimentos;
- Registros e Controles de operação, manutenção, monitoramento e instrumentação;
- Revisão Periódica de Segurança da Barragem;
- Resumo Executivo.

No entanto, o serviço de fiscalização da Secretaria de Meio Ambiente e a Agência Nacional de Mineração possuem poucos técnicos aptos para realizar as inspeções nas barragens, por esse motivo essa responsabilidade é passada para as mineradoras, que por sua vez realizam o processo de autofiscalização, ou seja, contratam empresas para emitir os laudos de fiscalização. Outro fator que impede a fiscalização por parte do governo é o fato de não haver estruturas que possibilitem a capacitação de novos técnicos (BBC NEWS BRASIL, 2019)⁷.

2.11 Problemas Ambientais

Ao contrário do que se conhece as barragens não impactam o ambiente apenas quando rompem, esses impactos já começam a ser notados quando ocorre o desmatamento para a realização das obras, contaminação da água ao longo do funcionamento da mina e a formação de poeira na praia de rejeito. O Brasil possui ocorrências de negligência ou incompetência na segurança de barragens por parte de administradores públicos. Na maioria dos casos é usual tomar medidas para fugir dos problemas ao invés de promover ações que possam evitar essas situações (BARBOSA; DIAS, 2016).

O rompimento de uma barragem de rejeito pode causar vários impactos negativos no local, atingindo meio socioeconômico, biológico e físico. No meio socioeconômico com o óbito

⁵<https://institutominere.com.br/blog/tragedia-em-brumadinho-o-que-sao-liquefacao-e-piping-os-dois-principais-problemas-em-barragens-no-brasil>

⁶<https://www.grupodiefra.com.br/site/mineracao/fiscalizacao-de-barragens/>

⁷<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47077083>

de moradores locais, perda na reserva pesqueira, inviabilidade do uso da água para fornecimento rural e urbano. No meio biológico foi observado impacto em processos ecológicos, como a eliminação de regiões de reprodução de peixes, perda significativa da vegetação nativa com provável extinção, após a redução da biodiversidade na região. Entre os impactos ao meio físico encontra-se a deterioração da paisagem, alteração nas propriedades da água e mudança em cursos naturais de rios. A primeiro momento, é possível observar os impactos ambientais provenientes dos rompimentos, são eles a chegada de sedimentos no curso d'água, movimento de massa, diminuição da área de vegetação nativa, mudanças nas particularidades do solo e danos à infraestrutura (OLIVEIRA, 2019).

2.12 Barragens e Saúde Pública: riscos potenciais

É evidente que a construção de uma barragem de modo geral apresenta vantagens socioeconômicas, contudo elas podem trazer consequências e sérios riscos ao meio em que se encontra, por isso a necessidade de se implantar o programa de segurança em barragens que visa acompanhar desde a construção realizando um planejamento adequado, garantindo o controle e segurança de sua operação até o final da vida útil dessa barragem levando sempre em consideração as áreas que serão impactadas diretamente e indiretamente caso a barragem entre em colapso. O que faz esses empreendimentos serem prejudiciais à saúde humana e aos sistemas sociais e ambientais são os impactos que eles causam devido seu potencial risco quando se rompem. Esses rompimentos trazem como consequência o surgimento de doenças e danos à saúde, o aumento da mortalidade e morbidade, a vulnerabilidade econômica, política e social afetando assim as condições de vida. Os danos à saúde pública e ao bem estar não se encerram no limite geográfico onde ocorreu o acidente, a longo prazo esses efeitos ainda podem ser notados (SILVA; SILVA, 2020).

As medidas de preparação caso esse acidente aconteça tem como base tipos de eventos que podem ocorrer e seus impactos, os profissionais do Sistema Único de Saúde (SUS) e a população que reside na região das barragens recebem orientações técnicas a respeito dos cuidados que devem ser tomados e os riscos que eles estão expostos quando uma barragem se rompe (SILVA; SILVA, 2020).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração no Brasil mostraram uma necessidade imediata de investimento por parte das mineradoras na aplicação de planos de segurança e na administração sustentável dos rejeitos. As empresas responsáveis pela mineração devem respeitar a legislação em prol da sociedade, pelo exercício racional da cidadania, cumprindo seus deveres. Por isso, a importância de seguir as normas.

O Brasil é um país que não investe em fiscalização, o que contribui ainda mais para a ocorrência de falhas e rupturas em barragens. Sendo assim, cabe a instituições governamentais responsáveis investir mais em fiscalizações e executá-las, visto que o país possui poucos profissionais capacitados para a realização desse trabalho, o que acaba impossibilitando o controle e vistorias das mineradoras. Outra falha por meio desses órgãos fiscalizadores é que devido ao fato de o número de profissionais capacitados serem reduzidos, as empresas mineradoras para conseguir sua licença ambiental realizam o processo de autofiscalização, ou seja, elas mesmo contratam empresas fiscalizadoras que preenchem os formulários de acordo com as informações passadas pelas mineradoras, conseqüentemente como é de interesse da mineradora esse licenciamento, nem todas as informações serão passadas.

Além das falhas na fiscalização, estudos mostram que existem fatores primários que podem desencadear as causas de um rompimento. O primeiro são os fenômenos naturais intensos, capazes de abalar a estrutura da barragem e o segundo fator é a falta de planejamento que pode fazer com que a estrutura entre em colapso devido aos erros de cálculos e erros no projeto. O método construtivo utilizado pode influenciar e contribuir para que esses acidentes aconteçam.

Por isso, devido ao histórico de rompimento de barragens de método construtivo a montante e os desastres por ela causado viu-se a necessidade de pôr fim a esse método de alteamento, sendo proibido por lei a construção de novas barragens a montante e a obrigatoriedade de realizar a descaracterização e o descomissionamento da barragem.

Com isso, pode-se observar a necessidade de uma mudança no sistema de monitoramento e uma metodologia de fiscalização mais eficiente, com o intuito de fazer com que as mineradoras cumpram as normas de segurança e invistam mais na implementação de sistemas de monitoramento, projetos de reforço estrutural, elaboração de diagnósticos sobre as condições de segurança das barragens e sejam mais rigorosas nas avaliações de riscos nos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens**. Manual para a ANA e entidades fiscalizadoras. Brasília, 2014.

Disponível em:

<https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/pr-oduto-07-manual-de-politicas-e-praticas-de-seguranca-de-barragens-manual-para-empreendedores-guia-de-orientacao-e-formularios-dos-planos-de-acao-de-emergencia.pdf>.

Acesso em: 01 de out. de 2022.

_____. **Manual de regularização de Barragens Fiscalizadas pela SEMA-MT: Guia de Procedimentos para Regularização de Barragens**, Cuiabá, 2019. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/ferramentas-de-gestao/ferramentas-fase-1/mt/manual-de-regularizacao-de-barragens-em-mato-grosso_mt.pdf>. Acesso em: 20 de out. de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINÉRIO – ANM. **Descaracterização de Barragens a Montante**. Brasília, 2022. Disponível em:

<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-de-barragens-de-mineracao/arquivos/nota_tecnica_2021_descaracterizacao-3.pdf>. Acesso em: 01 de nov. de 2022.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao Estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB**. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, na área de concentração em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Engenharia Civil, na área de concentração em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais. Disponível em: <

<https://pdfs.semanticscholar.org/02cb/5f9d70342f562103717a857681e5175260ef.pdf>>.

Acesso em: 25 de set. de 2022.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro**. Dissertação (Pós-graduação) em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:<<https://docplayer.com.br/3306129-Contribuicao-ao-estudo-do-comportamento-de-barragens-de-rejeito-de-mineracao-de-ferro-cecilia-bhering-de-araujo.html>>. Acesso em: 02 de out. de 2022.

ARAÚJO, H. A. O. **Avaliação da Estabilidade das Estruturas de Desativação de Barragens de Rejeito**. Monografia (Graduação) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em:<

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/25940/1/2019_HenriqueAntonioOliveiraAraujo_tcc.pdf>.

Acesso em: 08 de out. de 2022.

BARBOSA, D. J. G; DIAS, F. M. **Barragem de Rejeitos de Mineração no Brasil - Construção, impactos e desastres ambientais**. 17ª Semana de Iniciação Científica e 8ª Semana de Extensão: A Ciência e o Cuidado com a Casa Comum. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, 2016. Disponível em:

<<https://unileste.catolica.edu.br/portal/wp-content/uploads/2020/05/BARRAGEM-DE-REJEITOS-DE-MINERACAO-NO-BRASIL-CONSTRUCAO-IMPACTOS-E-DESASTRES-AMBIENTAIS.pdf>>. Acesso em: 02 de nov. de 2022.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M. ZINGANO, A. C. **Métodos Construtivos de Barragens de Rejeito de Mineração: uma revisão.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367/pdf>>. Acesso em: 03 de out. de 2022.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. Apresentação das Barragens. **Comitê Brasileiro de Barragens**, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens>>. Acesso em: 13 de set. 2022.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – VALE. **Projeto de Descaracterização de Barragens.** Informativo das obras do projeto de descaracterização de barragens e projetos geotécnicos. Belo Horizonte, 2021.

CAMPOS, T. M. P. Geotecnia e Meio Ambiente: Relato do Estado da Arte. **In VIII COBRAMSEF.** Porto Alegre, 1986. p. 123 – 157.

CONGONHAS – MG. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Conselho Municipal do Meio Ambiente. **Plano Municipal de Segurança de Barragens PMSB.** Congonhas, 2019. Disponível em: <http://www.congonhas.mg.gov.br/wpcontent/uploads/2019/04/RELAT%C3%93RIO-FINALPlano-Municipal-de-Seguran%C3%A7a-de-Barragens-PMSB-convertido-1.docx>. Acesso em: 07 de out. de 2022.

DUARTE, A. P. **Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos.** Dissertação (Pós-graduação) em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>>. Acesso em: 01 de out. 2022.

FERLA, R. **Metodologia Simplificada para Análise de Aspectos Hidráulicos em Rompimentos de Barragens.** Dissertação (Pós-Graduação) – Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/180112>>. Acesso em: 07 de set. 2022.

FRANCO, C. S. S. P. A. **Segurança de Barragens: Aspectos Regulatórios.** Goiânia, 2008.

GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÕES S.A. G1 MINAS. **Há 3 anos, o rompimento da barragem de Mariana causou o maior desastre ambiental do país e matou 19 pessoas.**

Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/ha-3-anos-rompimentode-barragem-de-mariana-causou-maior-desastre-ambiental-do-pais-e-matou-19-pessoas.ghtml>. Acesso em: 09 out. 2022.

GUIMARÃES, J. I. **Impacto do Rompimento de uma Barragem de Rejeitos de Minério de Ferro sobre a Qualidade das Águas Superficiais - estudo de caso: bacia do rio doce.**

Dissertação (Pós graduação) em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. **Manual on tailings dams and dumps**. International Commission on Large Dams, Paris, 1982. Disponível em: < <https://ussdams.wildapricot.org/resources/Documents/ICOLD%202001%20Bulletin%2021.pdf>>. Acesso em: 15 de out. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Brasília, 2016. Disponível em: < <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf>>. Acesso em: 07 de set. 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – Igam. Outorga. **Portal Meio Ambiente**, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/outorga#:~:text=A%20Outorga%20%C3%A9%20o%20instrumento,o%20direito%20de%20seu%20uso.> Acesso em: 24 de out. de 2022.

INSTITUTO MINERE. **Tragédia em Brumadinho**: o que são liquefação e ‘piping’, os dois principais problemas em barragens no Brasil. 2019. Disponível em: < <https://institutominere.com.br/blog/tragedia-em-brumadinho-o-que-sao-liquefacao-e-piping-os-dois-principais-problemas-em-barragens-no-brasil>>. Acesso em: 12 de out. de 2022.

_____. **Normativas aplicadas à segurança de barragem**: conflitos e sobreposições de competência, 2022. Disponível em: < <https://institutominere.com.br/blog/normativas-aplicadas-a-seguranca-de-barragem-conflitos-e-sobreposicoes-de-competencia>>. Acesso em: 24 de out. de 2022.

LAURIANO, A. W. **Estudo de Ruptura da Barragem de Funil: Comparação entre os modelos FLDWAV E HEC-RAS**. Monografia (Especialização) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/REPA-82THXE/1/andrelaurianofinal.pdf>. Acesso em: 08 de out. de 2022.

LIMA, D. J. D. Qual a importância da tecnologia na fiscalização de barragens na mineração. **DIEFRA**, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: < <https://www.grupodiefra.com.br/site/mineracao/fiscalizacao-de-barragens/>>. Acesso em: 26 de out. de 2022.

LIMA, D. S. et al. **Análise do Rompimento das Barragens de Rejeitos**. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2020. Disponível em: <https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2021/Artigo_An%C3%A1lise_do_rompimento_de_barragens_de_rejeitos.pdf>. Acesso em: 01 de out. de 2022.

LIMA, S. R. S. **Caracterização e Análise dos Acidentes com Barragens de Rejeito de Mineração no Estado de Minas Gerais**. Monografia (Pós Graduação) Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu Aberto do Instituto de Geociências da Universidade

Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em:
<<https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/1981>>. Acesso em: 08 de out. de 2022.

MACHADO, N. C. **Retroanálise da Propagação Decorrente da Ruptura da Barragem do Fundão com Diferentes Modelos Numéricos e Hipóteses de Simulação**. Dissertação (Pós-graduação) Saneamento, Meio ambiente e Recursos hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-AV3MTA>>. Acesso em: 05 de out. de 2022.

MACHADO, W. G. F. **Monitoramento de Barragens de Contenção de Rejeitos da Mineração**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31032008-154124/publico/DissertacaoWillianGladstoneMachado.pdf>>. Acesso em: 01 de out. de 2022.

NEVES, L. P. **Segurança de Barragens: Legislação federal brasileira comentada**. Belo Horizonte, 2018.

OLIVEIRA, J. A. **Impactos socioambientais provocados pelos rompimentos de barragens de contenção de rejeitos de mineração no estado de Minas Gerais**. Dissertação (Pós - Graduação) apresentada ao curso de Gestão Ambiental, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://itr.ufrj.br/portal/impactos-socioambientais-provocados-pelo-rompimento-de-barragens-de-contencao-de-rejeitos-de-mineracao-no-estado-de-minas-gerais/#:~:text=Dentre%20os%20impactos%20sobre%20o,e%20a%20degrada%C3%A7%C3%A3o%20da%20paisagem.>>. Acesso em: 02 de nov. de 2022.

OLIVEIRA, L. B. V. R. **Manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como requisito essencial ao gerenciamento dos rejeitos e à segurança de barragens**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em:
https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2330/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Manualopera%C3%A7%C3%A3oBarragens.pdf. Acesso em 26 de set. 2022.

PASSARINHO, N. **Fiscalização de barragens: órgão federal de controle é o 2º mais exposto a fraudes e corrupção, diz TCU**. **Terra Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/fiscalizacao-de-barragens-orgao-federal-de-controle-e-o-2-mais-exposto-a-fraudes-e-corrupcao-diz-tcu,94384c562a19d58b199de0daf67fdae35uknl03c.html>>. Acesso em 24 de out. de 2022.

_____. **Tragédia em Brumadinho: as 5 lições ignoradas após a tragédia de Mariana**. **BBC NEWS BRASIL**, Londres, 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47077083>>. Acesso em: 25 de out. de 2022.

PECK, R. B. **Judgement in Geotechnical Engineering – The Professional Legacy of Ralph B. Peck**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 332p.

PENNA, C. G. Efeitos da mineração no meio ambiente. **O Eco**, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<https://oeco.org.br/colunas/20837-efeitos-da-mineracao-no-meio-ambiente/>>. Acesso em 17 out. 2022.

PEREIRA, Frank Marcos da Silva. **Gestão de riscos e plano de ações emergenciais aplicado à barragem de contenção de rejeitos Casa De Pedra/CSN**. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/110654055-Dissertacao-de-mestrado.html>. Acesso em: 07 out. 2022.

PEREIRA, K. C. **Tragédia anunciada: o caso do rompimento da barragem de Brumadinho à luz do princípio da prevenção do Direito Ambiental**. Revista Jus Navigandi, 2019. Disponível em: < <https://jus.com.br/artigos/73867/tragedia-anunciada-o-caso-do-rompimento-da-barragem-de-brumadinho-a-luz-do-principio-da-prevencao-do-direito-ambiental>>. Acesso em: 12 de out. de 2022.

ROCHA, F. F. **Retroanálise da ruptura da barragem São Francisco – Miraf**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A9VN49> >. Acesso em: 07 de out. de 2022.

RODRIGUES, L. Ibram: algumas barragens precisam de prazo de descomissionamento maior. **Agência Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-07/ibram-algumas-barragens-precisam-de-prazo-de-descomissionamento-maior>>. Acesso em: 01 de nov. de 2022.

SILVA, E. L.; SILVA, M. A. **Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública**. Saúde Debate. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/GxCcNJjsWLzNqmN9HbsFgqG/> >. Acesso em: 25 de out. de 2022.

SOUZA, J. G. S.; SILVA, I. M. C. F. **Classificação de barragem quanto à categoria de risco e dano potencial associado – um estudo de caso**. Encontro Regional dos Estudantes de Engenharia Civil, João Pessoa, 2017.

SOARES, L. Barragem de rejeitos. In: **Tratamento de minérios**, 5ªed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.19. p. 831-888. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>. Acesso em: 02 de out. de 2022.

SOUZA, T. S. A. **Evolução Histórica da Legislação Brasileira e do Estado de Minas Gerais Relacionado ao Tema de Disposição de Rejeitos de Mineração em Barragens**. Dissertação (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em:https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2342/1/MONOGRRAFIA_Evolu%C3%A7%C3%A3oHist%C3%B3ricaLegisla%C3%A7%C3%A3o.pdf . Acesso em: 05 de out. de 2022.

TREVIZAN, K. Descomissionamento: entenda o processo anunciado pela Vale para acabar com barragens iguais às de Mariana e Brumadinho. **G1 Notícias**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/29/descomissionamento-entenda-o-processo-anunciado-pela-vale-para-acabar-com-barragens-iguais-as-de-mariana-e-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 01 de nov. de 2022.

VALERIO, I. F. **Estudo e Análise de Metodologias Preventiva para Segurança de Barragens**. Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2016. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Isabella_Fernandes_Valerio.pdf>. Acesso em: 09 de out. de 2022.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de riscos em recursos hídricos** – Fundamentos e Aplicações. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre, 2005.