

Barragens de terra: características de seus alteamentos

Earth dams: features of your raising

Presas de tierra: características de sus elevaciones

Recebido: 27/07/2022 | Revisado: 09/08/2022 | Aceito: 13/08/2022 | Publicado: 22/08/2022

Daniele Cristina Lopes Mariano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3501-7086>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: daniele.clopesm@gmail.com

Juliana Braga Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0411-8252>
Universidade Paulista, Brasil
E-mail: juliana.silva1@docente.unip.br

Resumo

Uma barragem é uma estrutura construída transversalmente a um vale cuja função é a contenção de água ou de resíduos provenientes de um processo produtivo. Este estudo teve como objetivo reunir informações sobre a construção de barragens de terra e de terra com enrocamento para contenção de rejeitos de mineração e de água, com ênfase nos modelos construtivos de alteamentos mais comuns no Brasil. Neste sentido, foi conduzida uma revisão de literatura a partir de uma pesquisa descritiva qualitativa com foco em materiais bibliográficos que estudam as questões construtivas do alteamento deste tipo de obra. Essas construções possuem três métodos executivos para a contenção de rejeitos, o de alteamento à jusante, à montante e à linha de centro, e um, o de alteamento único, para represamento de água. Ambos devem seguir os critérios estabelecidos para a construção do maciço terroso ou rochoso, utilizando materiais adequados e executando a compactação com acompanhamento de ensaios laboratoriais, de forma a garantir que o aterro tenha bom desempenho estrutural. Além do mais é de extrema importância o dimensionamento do sistema externo de drenagem, para evitar a erosão do solo no entorno da construção e prevenir desastres. As principais causas para rompimento de barragens incluem, ausência de monitoramento contínuo, controle austero durante sua construção/operação e deficiência do sistema de drenagem. Constatou-se, portanto, que para realizar a escolha apropriada do modelo construtivo do alteamento da barragem deve-se analisar a sua finalidade, além de efetuar o monitoramento contínuo e se necessário o descomissionamento, desativação ou descaracterização.

Palavras-chave: Retenção de rejeitos; Represamento de água; Alteamento à jusante; Alteamento à montante; Alteamento à linha de frente.

Abstract

A dam is a structure built across a valley whose function is to contain water or waste from a production process. This study aimed to gather information about the construction of earth and earth dams with rockfill to contain mining and water tailings, with emphasis on the most common raising construction models in Brazil. In this sense, a literature review was conducted based on qualitative descriptive research focusing on bibliographic materials that study the constructive issues of the heightening of this type of work. These constructions have three executive methods for the containment of tailings, one of raising downstream, upstream and at the center line, and one, the one-off raising, for the damming of water. Both must follow the criteria established for the construction of the earth or rock mass, using suitable materials, and carrying out the compaction with monitoring of laboratory tests, to ensure that the landfill has good structural performance. Furthermore, it is extremely important to design the external drainage system to avoid soil erosion around the building and to prevent disasters. The main causes of dam failure include the absence of continuous monitoring, austere control during its construction/operation and deficiency of the drainage system. It was found, therefore, that to make the appropriate choice of the constructive model of the dam heightening, its purpose must be analyzed, in addition to carrying out continuous monitoring and, if necessary, decommissioning, deactivation or de-characterization.

Keywords: Tailings retention; Water impoundment; Downstream raising; Upstream raising; Front line raising.

Resumen

Una presa es una estructura construida a través de un valle cuya función es contener agua o desechos de un proceso de producción. Este estudio tuvo como objetivo recopilar información sobre la construcción de presas de tierra y tierra con escollera para contener relaves mineros y de agua, con énfasis en los modelos de construcción de elevaciones más comunes en Brasil. En este sentido, se realizó una revisión bibliográfica a partir de una investigación descriptiva cualitativa centrada en materiales bibliográficos que estudian las cuestiones constructivas del realce de este tipo de obras. Estas construcciones cuentan con tres métodos ejecutivos para la contención de relaves, uno de levantamiento

aguas abajo, aguas arriba y en la línea de crujía, y uno, el de levantamiento, para el embalse de agua. Ambos deberán seguir los criterios establecidos para la construcción del macizo de tierra o roca, utilizando materiales adecuados y realizando la compactación con seguimiento de pruebas de laboratorio, a fin de asegurar que el relleno sanitario tenga un buen comportamiento estructural. Además, es extremadamente importante diseñar el sistema de drenaje externo para evitar la erosión del suelo alrededor del edificio y prevenir desastres. Las principales causas de la falla de las represas incluyen la falta de monitoreo continuo, un control estricto durante la construcción/operación y la deficiencia del sistema de drenaje. Se constató, por tanto, que para realizar la elección adecuada del modelo constructivo del recrecimiento de la presa, se debe analizar su finalidad, además de realizar un seguimiento continuo y, en su caso, el desmantelamiento, desactivación o descaracterización.

Palabras clave: Retención de relaves; Embalse de agua; Elevación aguas abajo; Elevación aguas arriba; Elevación a la primera línea.

1. Introdução

Uma barragem é uma estrutura construída transversalmente a um vale cuja principal função é a contenção de água ou de resíduos provenientes de processos produtivos, como por exemplo o de mineração, no qual a barragem é usada para fazer a contenção de sedimentos por meio da decantação. Quando esse tipo de construção é executada utilizando como materiais construtivos solos e/ou rochas, ficam conhecidas como barragens de terra ou de terra e enrocamento. O método construtivo mais adequado é determinado de acordo com a finalidade e o tamanho final que a barragem terá. Por razão deste tipo de obra ser executada a partir de materiais (solos e/ou rochas) permeáveis, deve-se analisar com critério os aspectos mecânicos da construção, a hidráulica interna e externa (sistema de drenagem), além de se estudar o solo e a vegetação que ficará ao redor da obra, pois a superfície pode não suportar algum tipo e/ou tamanho construtivo, tornando necessário uma fundação mais profunda e específica, de forma a se prevenir riscos da construção (CBDB; 2013; Das, 2010; Massad, 2010).

O estudo das barragens é algo complexo, pois imprecisões em seu planejamento podem ocasionar impactos irreparáveis (Barbosa, et al., 2002). Por se tratar de uma obra de grande porte, falhas técnicas na sua estrutura podem ocasionar graves acidentes, que não envolvem apenas a construção, mas também a população ao seu redor e o meio ambiente, compreendendo consequências futuras que podem ser irreparáveis. As formas disponíveis de prevenção de acidentes, atualmente, são constantes inspeções para análise da estrutura e de sua estanqueidade, a fim de detectar possíveis imperfeições. Assim como, existem nos dias de hoje, diversos tipos de instrumentação que podem ser utilizados, tendo como função detectar variações incomuns na estrutura. Como exemplo de instrumentação, pode-se citar o sensor do tipo sonda, que pode ser cravado no solo próximo a barragem e/ou sobre ela, de forma a detectar variações de umidade, vibrações e estabilidade do solo, sendo assim possível tomar uma providência quando alguma adversidade ainda pode ser resolvida ou então evacuar a área, no caso da possibilidade de ocorrer o rompimento da barragem (Barbosa, et al., 2002; Duarte, 2008).

1.1 Embasamento Teórico

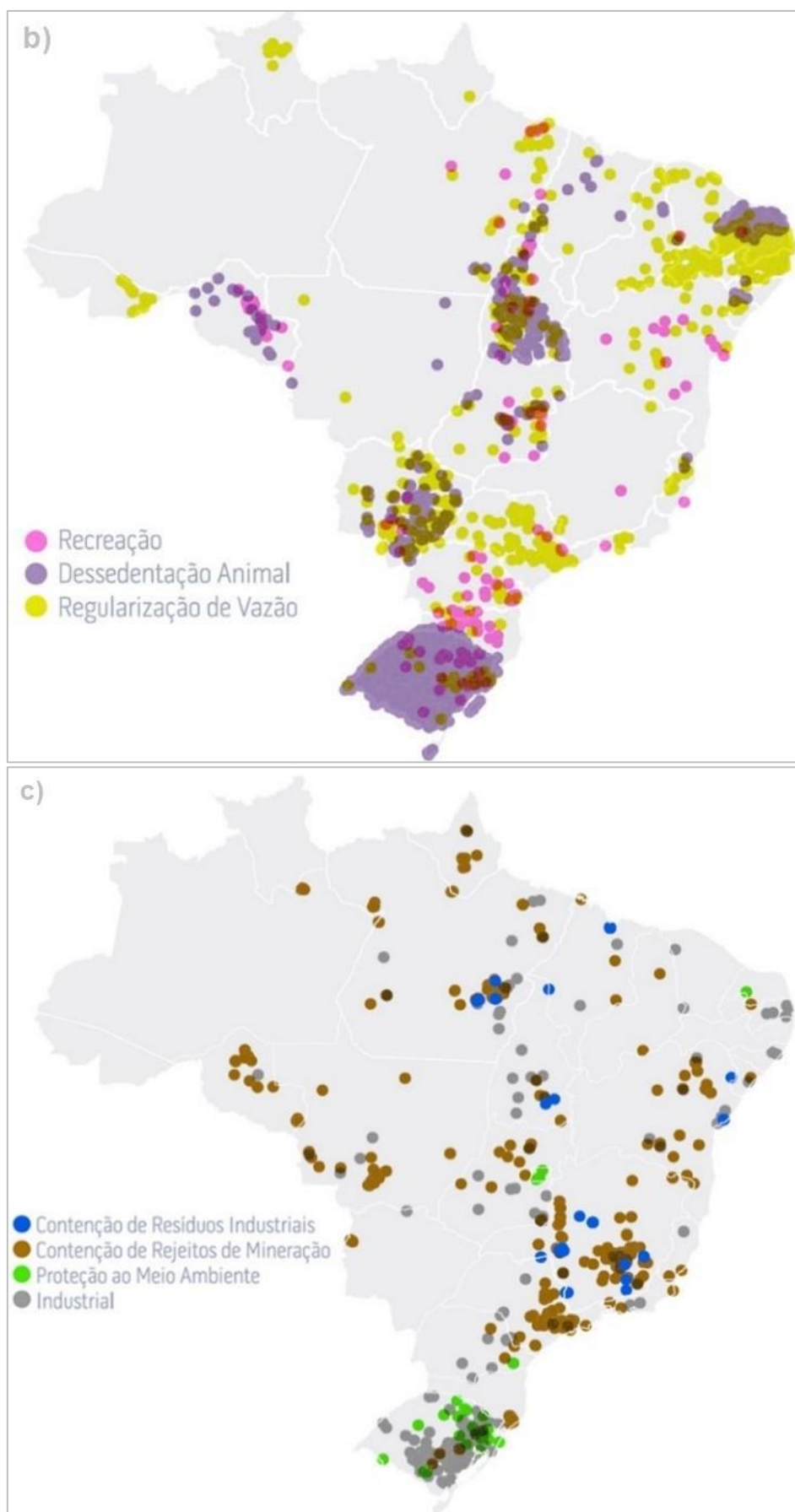
Uma das principais funções de uma barragem, desde a antiguidade, é a contenção de água em períodos de abundância, para que em períodos de seca esta água possa abastecer a quem necessite. Uma das barragens mais antigas conhecidas e ainda em funcionamento é do tipo terra e enrocamento construída aproximadamente em 1.300 a.C., na área que hoje corresponde à Síria. Além dessa barragem existem outras que mesmo com o tempo, e a constante mudança do ambiente, encontram-se em uso e em condições satisfatórias como, por exemplo, um sistema de barragens e canais construído em 2.280 a.C. na China, ou as construções criadas entre o século XIII ao XVI no Irã (CIGB, 2020). Este tipo de construção pode ser classificado de acordo com a sua finalidade, seja ela uma barragem para acúmulo de água para qualquer uso ou para contenção de materiais particulados. Outra forma de classificar uma barragem é de acordo com o material usado em sua construção, ou seja, concreto, solos, blocos de rocha argamassados, rejeitos de mineração, enrocamento e até mesmo de madeira (São Paulo, 2019).

Existem aproximadamente 56 mil (cinquenta e seis mil) barragens de rejeito espalhadas ao redor do mundo, sendo a

maioria delas concentrada na China (23.842), em seguida Estados Unidos (9.260), Índia (5.100), Japão (3.112) e Brasil (1.400), conforme pode-se ver na Figura 1 que apresenta todas as barragens existentes e conhecidas no país, classificadas de acordo com a sua finalidade (ITV, 2020).

Figura 1 - Tipos de barragem e suas localizações no Brasil: (a) hidrelétrica, irrigação e de defesa contra inundação; (b) recreação, dessedentação animal e regularização de vazão e (c) contenção de resíduos industriais, contenção de rejeitos de mineração, proteção ao meio ambiente e industrial.





Fonte: ANA (2019).

As barragem de terra, enrocamento ou de terra com enrocamento se constituem de um aterro compactado e, portanto, independentemente de ter seu alteamento feito em uma única fase ou em várias fases, deve seguir as normas concernentes sobre a compactação dos solos (ABNT, 2016a,b,c, Pereira, et al., 2006). Neste processo as camadas de solo são compactadas de 20 em 20cm com os aparelhos de compactação de solos (rolo compressor, rolo pneumático, aparelho de vibração, entre outros) e cada camada compactada deve ter sua compactação verificada quanto à umidade ótima e densidade seca máxima do solo, que são em seguida comparadas com os valores obtidos para o mesmo tipo de solo, em laboratório, pelo Ensaio de Proctor, de forma a garantir a eficiência máxima do maciço terroso e/ou de enrocamento (Massad, 2010).

Barragens de contenção de rejeitos são estruturas projetadas pelas mineradoras com o objetivo de armazenar os rejeitos produzidos em grande escala no ato do beneficiamento do minério (Machado, 2007). São três os tipos construtivos de barragens de rejeitos ainda existentes no Brasil, os de alteamento à montante, alteamento à jusante e alteamento por linha de centro. O método construtivo de alteamento à montante foi proibido de acordo com a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (Brasil, 2010), onde em seu artigo segundo afirma que fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante. Cada um desses métodos construtivos tem características diferentes, o que implica em um resultado e custo-benefício variado (ANA, 2016a). Barragens de contenção de água são, estruturas que cruzam córregos ou rios com a finalidade de conter ou acumular a água desses cursos de água (São Paulo, 2019). As barragens de contenção de água variam de tamanho e forma construtiva, desde pequenos maciços de terra usados para contenção de água em fazendas até grandes estruturas com variadas finalidades, assim como podem ser também empregadas para o armazenamento de água para uso populacional e geração de energia elétrica (CIGB, 2020).

1.2 Objetivo

Este estudo teve como objetivo reunir informações essenciais sobre as características construtivas de barragens de terra para contenção de água e de rejeitos de mineração, apresentando os métodos à montante, à jusante e à linha de centro para conter rejeitos e de alteamento único para represamento de água, zonadas ou homogêneas. Pretendeu-se, portanto, reunir informações cruciais para que profissionais da área pudessem embasar a sua tomada de decisão ao escolher o método construtivo e todos os aspectos mais adequados ao contexto da construção.

2. Metodologia

Para realizar este estudo utilizou-se o processo de pesquisa descritiva qualitativa, com levantamento de material técnico e científico, no intuito de descrever as características dos métodos construtivos de alteamentos de barragens de terra e de terra com enrocamento, partindo de revisão bibliográfica composta por autores que estudam tanto as questões construtivas desse tipo de obra, quanto de reportagens de agências de notícia. A pesquisa descritiva qualitativa de levantamento também foi utilizada para estabelecer a relação de causa e efeito sobre como a construção de barragens de terra e de terra com enrocamento pode afetar as comunidades que vivem em regiões vizinhas.

A revisão bibliográfica foi baseada no método de revisão de literatura narrativa, ou seja, não se utilizaram critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica do material. A busca foi feita na plataforma Google e Google Acadêmico, de forma que nem todos os materiais apresentados pelos buscadores foram integrados a este estudo. Somente foram utilizados conteúdos (materiais) que continham informações técnicas e baseadas em normas, com ênfase nos seguintes termos-chave:

- Barragem de terra.
- Barragem de terra com enrocamento.
- Modelos construtivos de barragens.
- Contenção de rejeitos.

- Contenção de água.
- Barragem com alteamento à jusante.
- Barragem com alteamento à montante.
- Barragem com alteamento à linha de frente.
- Barragem com alteamento único.

Para tanto, essa pesquisa foi baseada em materiais de autores que tratam de obras de terra, tais como Braja M. Das, Faïçal Massad, T. William Lamb e Robert V. Whitman, em obras de órgãos de gestão de barragens, tais como o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) e a Agência Nacional de Águas (ANA), em normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em artigos científicos e outros trabalhos publicados por autores como Luís Flávio Pereira, Gabriela de Barros Cruz, Ricardo Morato Fiúza Guimarães, Dayana Santos Silva, Alexandre Vaz de Melo e, por fim, em reportagens de agências de notícias tais como o Portal G1.

3. Resultados e Discussão

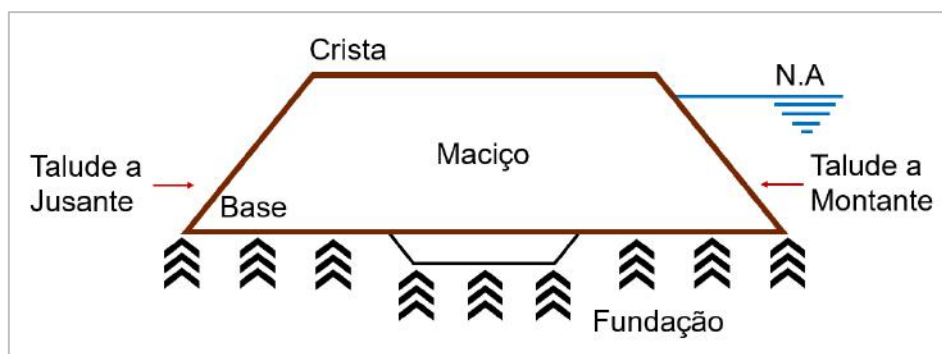
3.1 Barragens de Terra e Enrocamento

O recurso essencial e vital para manter todas as formas de vida na Terra é a água. Ela é o elemento básico para o bem-estar, crescimento e desenvolvimento do meio ambiente, assim como é um requisito básico para uma boa saúde (CIGB, 2020). Porém, em muitas ocasiões a água não está disponível quando necessário, por este motivo a construção de barragens é uma técnica empregada a tempos para evitar este problema, pois ela permite que o abastecimento de água na região de construção do reservatório sempre aconteça (CIGB, 2020).

O principal motivo destas construções tão antigas ainda estarem em funcionamento e não apresentando riscos, são as formas construtivas de suas comportas, vertedouros e enrocamento de proteção, que de acordo com a averiguação de estudos recentes apresentada pela CIGB (2020) estão em conformidade com os princípios e critérios modernos de projetos. É importante destacar, também, que independentemente de serem construídas para contenção de rejeitos ou armazenamento de água, qualquer tipo de barragem (Figura 2) deve possuir os seguintes elementos construtivos (Massad, 2010):

- Crista.
- Taludes de jusante e de montante.
- Fundação.
- Sistema de drenagem interno e externo.

Figura 2 - Elementos construtivos de uma barragem de terra e/ou enrocamento.



Fonte: Adaptado de Maragon (2004).

O maciço de uma barragem de terra, enrocamento ou de terra com enrocamento se constitui de um aterro compactado

e, portanto, independentemente de ter seu alteamento feito em uma única fase ou em várias, deve seguir as normas concernentes sobre a compactação dos solos, como a ABNT NBR 7182:2016 - Solos - ensaio de compactação; ABNT NBR 6457:2016 versão corrigida 2016 - Amostras de Solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização; ABNT NBR 9813:2016 - Solo - determinação da massa específica aparente in situ com emprego de cilindro de cravação, entre outras (ABNT, 2016a,b,c, Pereira, et al., 2006).

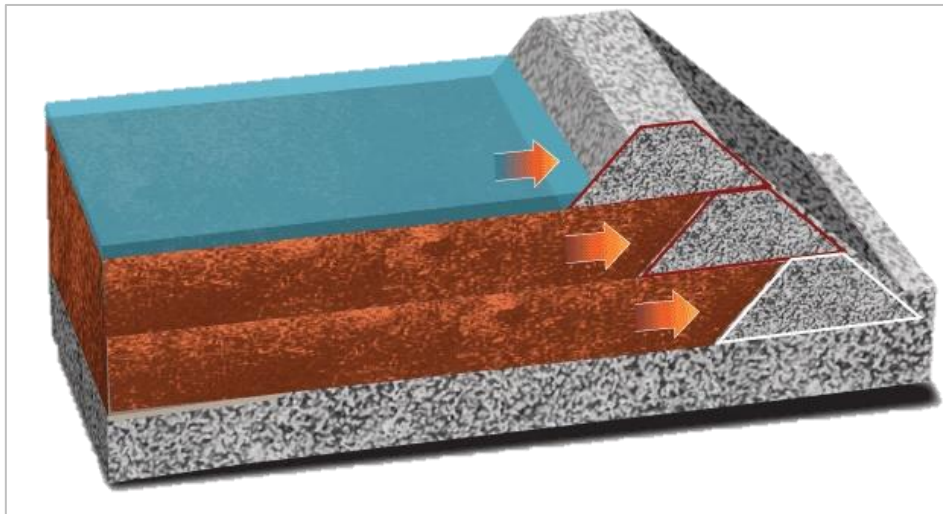
As camadas de solo devem ser compactadas de 20 em 20cm com os aparelhos de compactação e cada camada deve ter sua compactação verificada quanto à umidade ótima e densidade seca máxima do solo. Os dimensionamentos da crista, base e as inclinações dos taludes da barragem dependem do tipo de material utilizado para a sua construção e do tamanho da própria barragem. A fundação é composta pelo próprio solo e/ou rocha sobre o qual a barragem é construída, e seu sistema hidráulico é feito em duas etapas, somando os dispositivos hidráulicos internos e os dispositivos externos ao maciço da barragem (MASSAD, 2010).

3.2 Barragens de Contenção de Rejeitos

Barragens de contenção de rejeitos são estruturas projetadas pelas mineradoras com o objetivo de armazenar os rejeitos produzidos em grande escala no ato do beneficiamento do minério (Machado, 2007). O beneficiamento do minério nada mais é do que o processo utilizado para separar o minério, que é o material rochoso que tem valor econômico no mercado, do restante de material rochoso, que é o rejeito resultante deste processo (Araujo, 2006). O rejeito que é despejado hidráulicamente sofre um processo de decantação, isto é, as partículas maciças, se movimentam até a base do lago de decantação pela ação da gravidade (ANA, 2016a).

São três os tipos construtivos de barragens de rejeitos utilizados no Brasil, os de alteamento à montante, alteamento à jusante e alteamento por linha de centro. Cada um desses métodos construtivos tem características diferentes, o que implica em um resultado e custo-benefício variado (ANA, 2016a). Barragens à montante são estruturas construídas sobre rejeitos. Assim, a partir de seu dique de partida, sempre que a capacidade da barragem precisa ser superior à existente, isto é, quando há a necessidade de um alteamento, é feita uma nova estrutura de aterro compactado que é sobreposta à montante do dique de partida, sobre os rejeitos existentes (ANA, 2016a). Quando a barragem demanda uma capacidade maior é feito o alteamento, sendo que o novo dique é feito com o material de rejeito já existente, dentro da barragem (Figura 3). Este processo pode ser feito sempre que for necessária uma capacidade maior, até que se atinja o alteamento máximo previsto no projeto da barragem, porém, por se tratar de uma forma construtiva não segura, foi proibida a sua execução e solicitado que fosse realizado seu descomissionamento, porém pode-se ainda existir locais onde este método pode estar empregado mesmo com sua irregularidade.

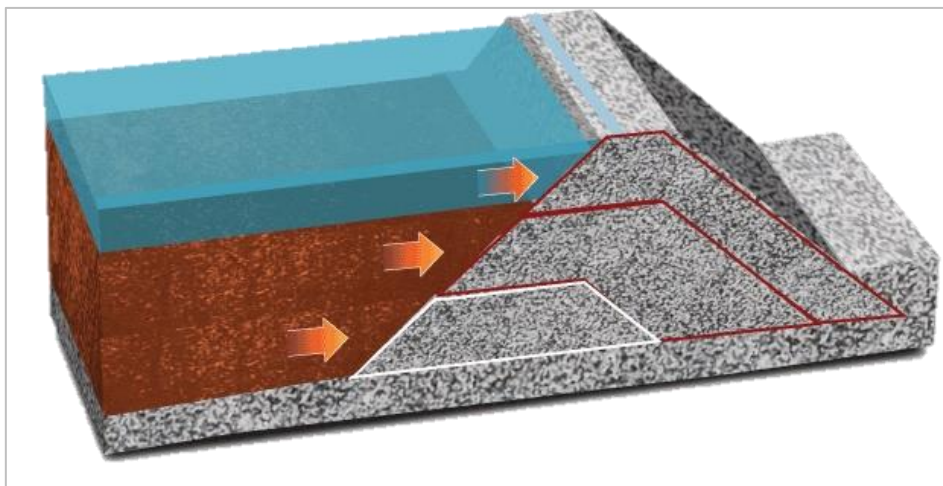
Figura 3 - Barragem de rejeitos com alteamento à montante.



Fonte: Ronchi (2020).

Barragens com alteamento à jusante são estruturas que, quando são necessários aumento da sua capacidade, o alteamento é feito à jusante do dique de partida, ou seja, para fora da barragem (ANA, 2016a). Neste tipo de construção a estrutura vai sendo expandida proporcionalmente tanto em altura como em largura (Figura 4) e, sendo assim, o maior ponto positivo deste tipo de contenção é a sua estabilidade (ANA, 2016a). Sempre que um alteamento for necessário a base da barragem se expande, a complexidade de execução da obra tende a aumentar, levando a um maior tempo de execução. Por estes motivos, a execução de barragens de contenção de rejeitos à jusante na maior parte das vezes são descartadas (ANA, 2016a).

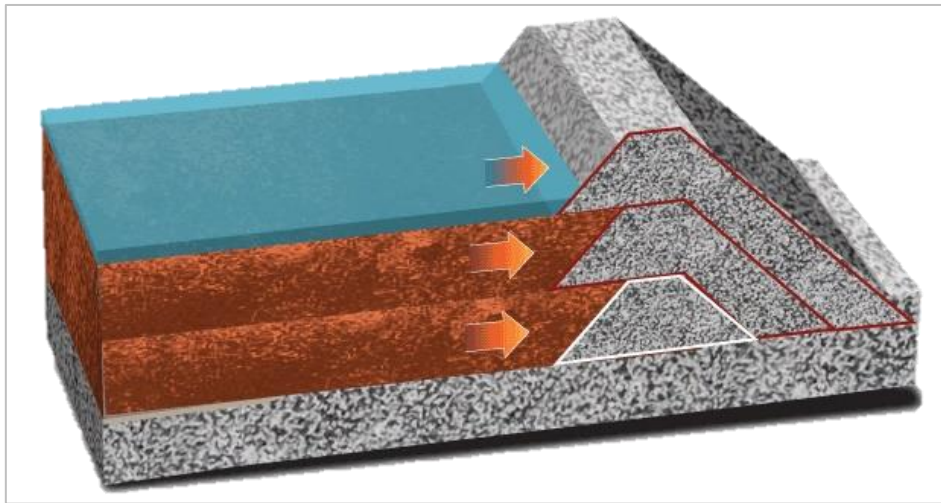
Figura 4 - Barragem de contenção de rejeitos com alteamento à jusante.



Fonte: Ronchi (2020).

Barragens de linha central são estruturas nas quais o alteamento é sempre feito em apenas um eixo, porém quando se faz um novo alteamento a sua base cresce proporcionalmente (Figura 5), criando assim maior estabilidade à barragem que aquela encontrada nas barragens com construção à montante, mas menor estabilidade que aquela encontrada em barragens de contenção de rejeitos com construção à jusante (ANA, 2016a).

Figura 5 - Barragem de contenção de rejeitos com alteamento de linha central.



Fonte: Ronchi (2020).

3.3 Barragens de Contenção de Água

Barragens de contenção de água são estruturas que cruzam córregos ou rios com a finalidade de conter ou acumular a água desses cursos de água (São Paulo, 2019). As barragens de contenção de água variam de tamanho e forma construtiva, indo de pequenos maciços de terra usados para contenção de água em fazendas até grandes estruturas com variadas finalidades, desde o armazenamento de água para uso populacional até geração de energia elétrica, conforme exposto anteriormente (CIGB, 2020).

A classificação das barragens pode ser feita de acordo com o material que é usado em sua construção, podendo ser de diversos tipos de solo, de enrocamento ou de uma mistura de ambos (CIGB, 2020). Para as barragens de terra e/ou enrocamento, as construídas de pedra são classificadas como barragens de gravidade. Barragens construídas de terra ou uma combinação de terra e rochas são classificadas como barragens de aterro e este tipo é mais comumente utilizado em locais onde há um acúmulo maior de terra ou rochas para a sua construção e onde o solo permita que esse tipo de barragem seja construído. Assim como, as barragens construídas integralmente de terra são conhecidas como barragens de terra, as construídas de **matacões** podem ser classificadas como barragens de enrocamento. Já as barragens constituídas de terra e **matacões** de rocha podem ser classificadas como barragens de terra e enrocamento (CIGB, 2020).

3.4 Métodos de Proteção Externa

O método de proteção externa dos taludes à montante de barragens de terra é constituído por blocos de enrocamento (rip-rap). Para garantir a segurança deste tipo de construção, os materiais devem ser submetidos aos ensaios previstos nas especificações técnicas do projeto desenvolvido, com ênfase nos ensaios relacionados à granulometria e durabilidade dos materiais (ANA, 2016b). A colocação dos revestimentos deve acompanhar a construção dos aterros, com o principal objetivo de assegurar proteção contra ravinamentos. O procedimento mais comum adotado é o material ser lançado e espalhado em camadas de espessura máxima equivalente ao diâmetro máximo do enrocamento, assim como apresentado na Figura 6 (ANA, 2016b).

Figura 6 - Proteção do talude de montante em enrocamento.



Fonte: ANA, 2016b.

Os taludes de montante podem também ser protegidos por cascalhos, solo-cimento, gabiões, placas de concreto, rip-rap, placas de metal e colchões tipo reno, entre outros métodos (ANA, 2016b). A utilização de rip-rap é uma prática comum quando se trata de barragens de contenção de água. Esta estrutura é constituída de rochas e fragmentos de rochas que têm como finalidade a dissipação da energia da água, sendo ela uma cobertura parcial que vai desde o meio do talude até a crista (Figura 7), sendo usada para a proteção do talude à montante da barragem (Silva, 2016).

Figura 7 - Talude de montante de barragem com rip-rap.



Fonte: Carvalho (2011).

Nos taludes à jusante é comumente utilizada cobertura vegetal (Figura 8), que além de ter boa função estrutural também

contribuiu para a integração de paisagem da obra e para a sua sustentabilidade. Levando em consideração que a cobertura vegetal requer cuidados específicos deve-se detalhar devidamente a solução adotada, o tipo de espécie vegetal usada, a época do ano que se deve realizar a aplicação, suas condições de irrigação e de drenagem (ANA, 2016a). Um dos tipos vegetais mais utilizados é a grama, ainda existe a possibilidade de se aplicar cascalho, geotêxteis, cimento, entre outros (ANA, 2016b).

Figura 8 - Proteção do talude de jusante com cobertura vegetal.



Fonte: ANA, 2016b.

3.5 Critérios de Segurança

Uma barragem pode ser classificada como segura quando os critérios de aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais são atendidos e o seu desempenho satisfaça as exigências necessárias de comportamento, evitando assim acidentes. Quando se trata de barragens já existentes e em fase de construção é de crucial importância que sejam feitas avaliações regulares das instalações e estrutura. A segurança das barragens pode ser garantida por meio de correções em qualquer deficiência prevista ou constatada. Operações de segurança continuada, manutenções e inspeções, bem como preparação adequada para emergências, são de vital importância para que acidentes não aconteçam tão frequentemente (Barbosa, 2002). Ainda de acordo com Barbosa (2002), o período de reavaliação de uma barragem é determinado de acordo com a classificação da consequência de ruptura da mesma, sendo que esta classificação é feita através do potencial de consequência de ruptura (Tabela 1).

Tabela 1 - Consequência de ruptura.

CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA	PERDAS DE VIDAS	ECONÔMICO, SOCIAL E DANOS AMBIENTAIS
Muito alta	Significativa	Dano excessivo
Alta	Alguma	Dano substancial
Baixa	Nenhuma	Dano moderado
Muito Baixa	Nenhuma	Dano Mínimo

Fonte: Barbosa (2002).

Após ser determinada a consequência de ruptura é analisada a frequência com que as reavaliações devem ser realizadas na barragem (Tabela 2).

Tabela 2 - Frequência de reavaliações da segurança da barragem.

CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA	PERÍODO DE REAVALIAÇÕES
Muito alta	5 anos
Alta	7 anos
Baixa	10 anos
Muito baixa	10 anos

Fonte: Barbosa, 2002.

A reavaliação deve incluir uma inspeção adequada do local, estrutura, dispositivos de descarga, dispositivos de saídas, reservatórios, áreas ao seu redor, dispositivos de auscultação, vias de acesso e documentação. Estas reavaliações são de extrema importância. Entretanto não isentam os responsáveis pela barragem de que existam inspeções rotineiras, sendo que estas não irão gerar relatórios específicos, tendo como principal finalidade detectar e comunicar possíveis anomalias (Barbosa, 2002). De acordo com Gomes (2019) apud Brasil (2012) um dos principais documentos inseridos no Plano de Segurança de Barragens é o PAE, este documento tem como finalidade apresentar as situações nas quais as barragens possuem Dano Potencial Associado Alto ou em qualquer caso, de acordo com o Departamento Nacional de Produção de Mineral.

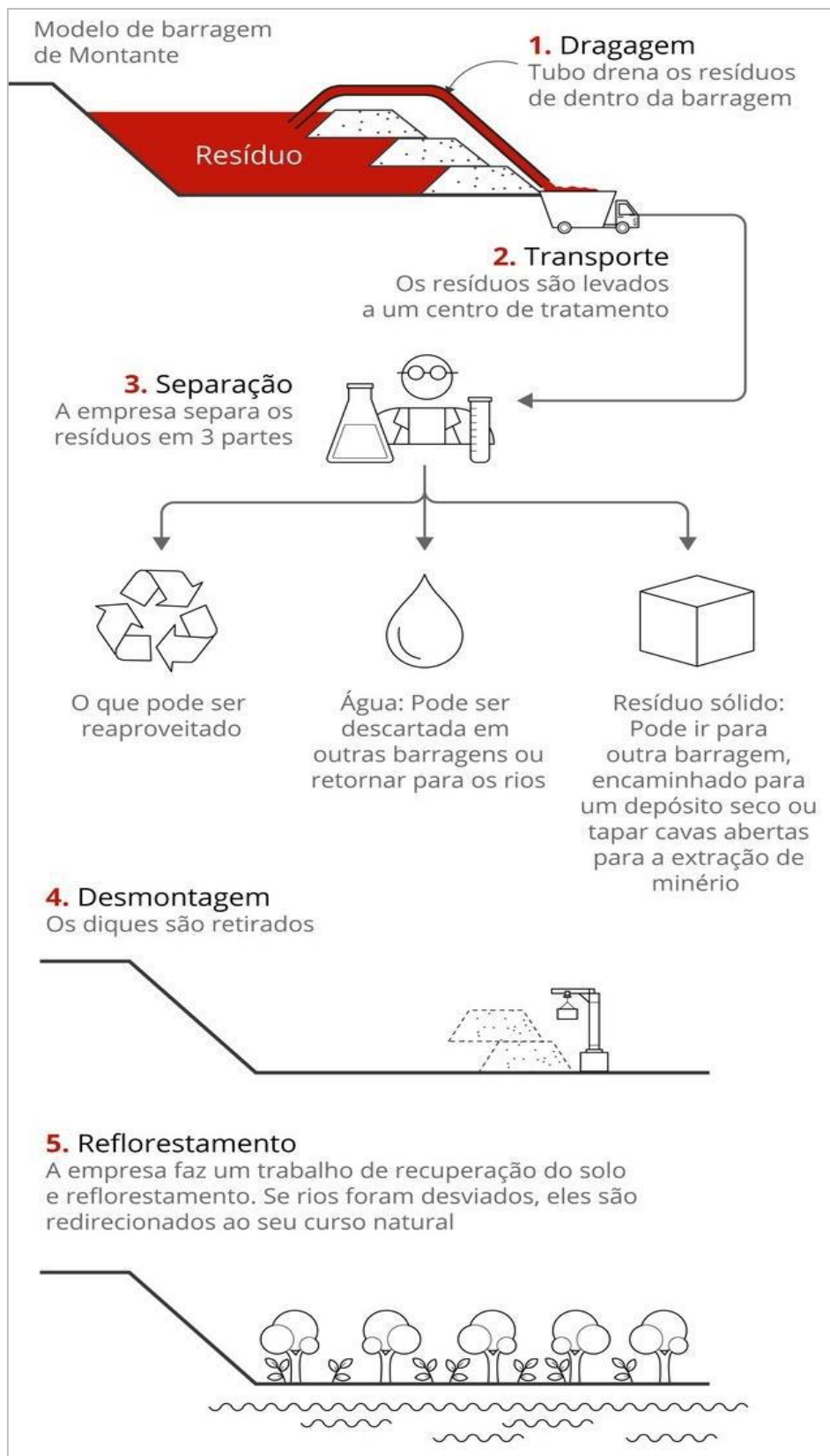
3.6 Descomissionamento, Desativação e Descaracterização

O descomissionamento de uma barragem significa o processo de finalização de suas atividades, após o qual a barragem não é mais uma estrutura funcional. Para barragens de contenção de rejeitos, essa etapa equivale à situação em que a barragem atingiu sua cota máxima, não sendo mais possível adicionar volume de rejeitos nela, e então adotam-se medidas para que se torne uma estrutura estável a longo prazo (São Paulo, 2019). O descomissionamento por esvaziamento de barragens é o método que se inicia com a drenagem dos resíduos (Figura 9), ou seja, todos os resíduos que foram despejados na barragem ao longo da sua vida útil são retirados. Seu destino é um centro de tratamento onde é feita a separação dos resíduos (SINDSEMA, 2019).

Para a elaboração de um projeto de descomissionamento ou descaracterização, as informações coletadas pré-existent sobre a barragem tem grande importância para facilitar o processo, e evitar desperdício de tempo e recurso em um processo que se não for feito de forma planejada pode ser falho. A realização de estudos preliminares é essencial para melhor efetividade do processo de descomissionamento, alguns destes estudos são: sondagem da percussão do subsolo, ensaios de permeabilidade e características do rejeito, análise das condições hídricas, levantamento topográfico e planialtimétrico e determinação de jazidas

(Gigolotti, *et al.*, 2022).

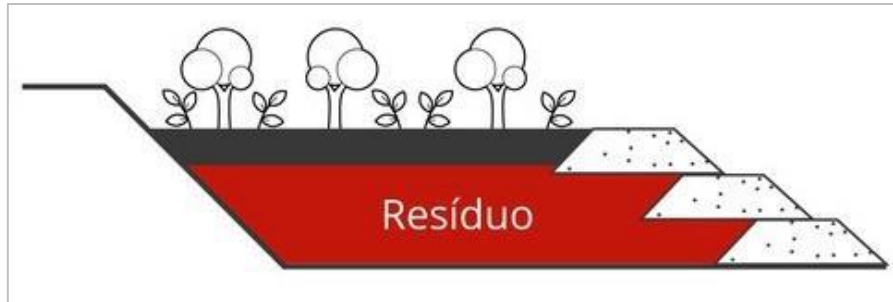
Figura 9 - Processo de descomissionamento de barragens por esvaziamento.



Fonte: Fernandes e Lanzarotto (2019) apud G1 (2019).

Já o descomissionamento por aterro é feito colocando terra sobre a barragem, ou seja, os rejeitos e os diques continuam no local, apenas ocorre uma drenagem para a retirada da água, e sobre o montante restante coloca-se terra e em seguida se faz o reflorestamento da área (Figura 10), de acordo com o SINDSEMA (2019).

Figura 10 - Descomissionamento por aterro de barragens.

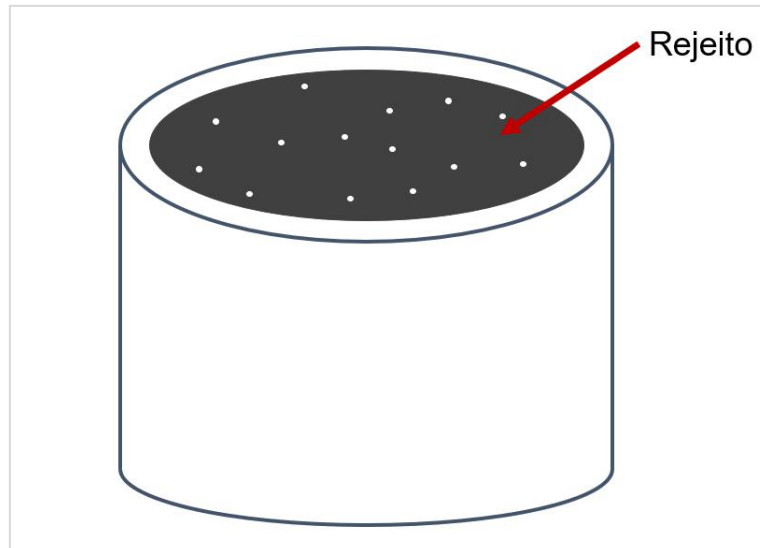


Fonte: Fernandes e Lanzarotto (2019) apud G1 (2019).

3.7 Sistemas Alternativos

Um sistema alternativo de barragem bastante conhecido é o sistema a seco. O sistema a seco se trata de um piscinão de concreto (Figura 11), onde o rejeito é dispensado. Esta forma alternativa de barragem não é muito utilizada no Brasil, já que é geralmente mais aplicável e viável em pequenos projetos de mineração (SINDSEMA, 2019).

Figura 11 - Barragem com sistema a seco.



Fonte: Adaptado de Sindsema (2019).

4. Conclusão

Barragem é o método mais utilizado para a contenção de algum rejeito ou água. Este tipo de construção deve ser executado com muita atenção e buscando sempre a melhor forma de alteamento, de forma que seja feito de maneira correta e segura. A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, teve como objetivo estabelecer uma política nacional em relação a barragens, assim como proibir a forma construtiva de alteamento a montante, já que ele apresenta pouca estabilidade e segurança, podendo ocasionar acidentes quando a barragem já não suporta a capacidade de rejeitos que nela são contidos. Para as barragens deste modelo construtivo existentes e em uso foi determinado, portanto, que realizassem o seu descomissionamento, implicando na

sua desativação e evitando a ocorrência de possíveis acidentes.

Para suprir a demanda de uso de barragens para contenção de rejeitos, ainda é viável e a execução de barragens de terra com alteamento a jusante ou linha de centro, as de alteamento a jusante são feitas de forma que em cada nova solicitação de aumento da capacidade de retenção é realizado um novo alteamento. Ainda é possível usar o tipo construtivo de barragem com alteamento de linha de centro, este método também apresenta mais segurança, porém não é o mais indicado por também apresentar uma menor estabilidade. Neste sentido, para que as barragens apresentem maior estabilidade são utilizados métodos de proteção para os taludes, como por exemplo a utilização de enrocamentos ou vegetação, sendo os métodos mais comuns e mais acessíveis. Todos os critérios de segurança devem ser levados em consideração na escolha do método de alteamento, para que a barragem tenha um nível de segurança adequado e não apresente risco a comunidade ao seu redor. Quando a barragem já está em uso e nota-se que pode ocorrer algum tipo de problema ou ruptura, o ideal é iniciar o processo de descomissionamento, desativação ou descaracterização.

Agradecimentos

Agradeço a UNIP - Universidade Paulista de Bauru (SP) pela oportunidade de desenvolver minha iniciação científica, da qual resultou este trabalho. Agradeço, também, ao Governo Federal do Brasil pela bolsa concedida através do Programa Universidade para Todos - PROUNI, que me possibilitou estar no ambiente universitário, e a todos os professores que contribuíram indiretamente para a realização desta pesquisa de iniciação científica.

Referências

- ABNT. (2016a). *NBR 7182:2016 - Solos - Ensaios de Compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2016b). *NBR 6457:2016 versão corrigida 2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2016c). *NBR 9813:2016 - Solo - Determinação da Massa Específica Aparente in situ com emprego de cilindro de cravação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ANA. (2016). *Manual do empreendedor sobre segurança de barragens: diretrizes para a construção de barragens*. v. 6. Agência Nacional de Águas. Brasília.
- ANA. (2018). *Relatório de segurança de barragens*. v. 6. Agência Nacional de Águas. Brasília.
- Araújo, C. B. (2006). *Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Barbosa, L., Melo, R., Christofidis, D., Rocha, C., Neves, L., & Persechini, M. (2002). *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens*. Ministério da Integração Nacional. Brasília.
- BRASIL (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010*. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 181 - Seção 1. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm
- CBDB. (2019). *Revista brasileira de engenharia de barragens*. n. 7. Comitê Brasileiro de Barragens. <http://www.cbdb.org.br/6-142/Revista%20Brasileira%20de%20Engenharia%20de%20Barragens>.
- CIGB. (2020). *As barragens e a água do mundo: Um livro que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo*. Núcleo Regional da Paraná do Comitê Brasileiro de Barragens - CBDB. Paraná.
- Das, B. M. (2010). *Principals of Geotechnical Engineering*. Ed. 7. Stamford: Cengage Learning.
- Duarte, A. P. (2008). *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- G1 São Paulo. (2019). Brasil tem 88 barragens do tipo 'a montante ou desconhecido', metade com alto potencial de dano, diz agência. *Globo, Economia*. Retrieved Nov., 2020. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/31/brasil-tem-88-barragens-do-tipo-a-montante-ou-desconhecido-metade-com-alto-potencial-de-dano-diz-agencia.ghtml>.
- Gigolotti, J. C. J., França de Faria, F. L., Gurgel Júnior, F. (2022). J. Descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração: marcos regulatórios, técnico-normativos e procedimentos. *Cadernos UniFOA*, 17(49), 29-47. <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/3911>.

Gomes, N. C., Santos, R. K. Dos, Cordeiro, J., Duarte, M. B. A., Quintão, P. L., Cordeiro, J. L. (2019). Characterization of dams containing rejects located in the state of Minas Gerais. *Research, Society and Development*, 8(2), e4382683. 10.33448/rsd-v8i2.683.

ITV. (2020). *Tecnologia de Barragens e disposição de rejeitos*. Instituto de Tecnologia Vale. <http://www.itv.org/linha-de-pesquisa/tecnologia-de-barragens-e-disposicao-de-rejeitos/#:~:text=Atualmente%2C%20existem%20no%20mundo%20pouco,com%20mais%20de%201.400%20barragens>.

Machado, W. G. F. (2007). *Monitoramento de barragens de contenção de rejeito da mineração*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Minas e de Petróleo. São Paulo.

Massad, F. (2010). *Obras de Terra: Curso básico de Geotecnia*. v. 2. Oficina de textos.

Pereira, D. M., Ratton, E., Blasi, G. F., Filho, W., & Costa, R. (2006). Introdução à terraplenagem. *Universidade Federal do Paraná - UFPR*. Paraná.

Ronchi, G. (2020). Barragem de rejeitos com alteamento à montante, à jusante e a linha central. *Gazeta Online, Infográficos*. Retrivied, Fev., 2020. <https://www2.gazetaonline.com.br/infograficos/represasminasdesk/>.

São Paulo. (2019). *Barragens no Estado de São Paulo*. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente e Casa Militar do Gabinete do Governador. São Paulo.

SINDSEMA. (2019). *Descomissionamento: Entenda o Processo Anunciado pela Vale para Acabar com Barragens Iguais às de Mariana e Brumadinho*. Sindicato dos Servidores Estaduais do Meio Ambiente e da Arsae. Retrivied Nov. 2020. Minas Gerais. <http://www.sindsemamg.com.br/descomissionamento-entenda-o-processo-anunciado-pela-vale-para-acabar-com-barragens-iguais-as-de-mariana-e-brumadinho/>.