



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

ALEXANDER FERNANDES MARQUES

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO ACERCA DA DISPOSIÇÃO DE
REJEITO EM BARRAGENS A MONTANTE NO BRASIL**

CRATEÚS - CE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M315a Marques, Alexander Fernandes.
Análise da evolução da legislação acerca da disposição de rejeito em barragens a montante no Brasil/
Alexander Marques. – 2026.
66 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús,
Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2026.

Orientação: Prof. Me. Emanuel Itaquê de Negreiros Moreira.

1. Disposição Rejeitos. 2. Barragens à montante. 3. Legislação mineral. I. Título.

CDD 622

ALEXANDER FERNANDES MARQUES

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO ACERCA DA DISPOSIÇÃO DE
REJEITO EM BARRAGENS A MONTANTE NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso I apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Emanuel Itaquê de Negreiros Moreira.

Aprovado em 28/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Emanuel Itaquê de Negreiros Moreira (Orientador)

Profa. Dra. Tiany Cota Guedes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Me Thaíla Ravena
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esta vitória a minha família, namorada, professores, amigos e todos que contribuíram de alguma forma para o alcance desta conquista.

RESUMO

A técnica de disposição de rejeito em barragem a montante é a mais econômica e antiga na construção de barragens. Apesar de projetos seguros e monitoramento ininterrupto, a técnica de alteamento a montante tem sido associada a rupturas de barragens, evidenciando lacunas no conhecimento sobre sua complexa engenharia e comportamento. Nessa perspectiva, o objetivo central da pesquisa é analisar como as leis no cenário nacional concebem a disposição de rejeitos em barragens a montante, bem como seus riscos e aspectos técnicos. Também visa discorrer acerca dos impactos que as deposições de rejeitos em barragens podem provocar. Para obtenção de resultados aplicar-se-á, como metodologia, a pesquisa qualitativa, com objetivo descritivo, tendo como procedimento adotado a revisão bibliográfica sistemática. Ademais, considera-se a pesquisa de suma relevância, uma vez que o setor da mineração além de gerar efeitos para a economia, também reverbera em campos sociais e ambientais, sendo indispensáveis leis para a regulamentação e manuseio adequado de rejeitos em barragens. Espera-se que este trabalho evidencie a problemática envolvida para disposição de rejeitos, elucidando a necessidade de aprofundamento nos estudos para a segurança das barragens ou estruturas que venham a comportar este material.

Palavras-chave: Barragens de rejeitos; Alteamento a montante; Legislação; Revisão sistemática; Segurança de barragens; Impactos ambientais; Riscos.

ABSTRACT

The upstream tailings dam deposition technique is the most economical and oldest method in dam construction. Despite safe designs and continuous monitoring, the upstream raising technique has been associated with dam failures, evidencing gaps in knowledge regarding its complex engineering and behavior. From this perspective, the central objective of this research is to analyze how laws in the national scenario conceive the deposition of tailings in upstream dams, as well as their risks and technical aspects. It also aims to discuss the impacts that tailing dam depositions can have. To obtain results, a qualitative research approach with a descriptive objective will be applied as methodology, adopting a systematic literature review as the procedure. Furthermore, this research is considered of paramount relevance, given that the mining sector, in addition to generating economic effects, also reverberates in social and environmental fields, making laws indispensable for the regulation and proper handling of tailings in dams. It is expected that this work will highlight the issues involved in tailings deposition, elucidating the need for further studies to ensure the safety of dams or structures designed to contain this material.

Keywords: Tailings dams; Upstream raising; Legislation; Systematic review; Dam safety; Environmental impacts; Risks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Distribuição geográfica das barragens e suas destinações	15
Figura 02 - Esquema dos Principais Tipos de Barragem de Concreto	16
Figura 03 - Métodos de alteamento em barragens	17
Figura 04 - Alteamento a montante	18
Figura 05 - Alteamento a jusante	19
Figura 06 - Alteamento por linha de centro	20
Figura 07 - Dados relativos ao investimento na prevenção de desastres naturais no país	42
Figura 08 - Desastres naturais mais recorrentes no país de 1991 a 2010	43
Figura 09 - Gráfico de distribuição de barragens no Brasil registradas no PNSB 2022	44
Figura 10 - Gráfico de distribuição de barragens no Brasil registradas no PNSB 2024	44
Figura 11 - Gráfico de distribuição geográfica de barragens a montante em 2024	45
Figura 12 - Gráfico de distribuição geográfica de barragens a montante em 2022	46
Figura 13 - Gráfico de distribuição geográfica de barragens a montante	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA** – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ANM** – Agência Nacional de Mineração
- CNBM** – Cadastro Nacional de Barragens de Mineração
- CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CRI** – Classificação de Risco Integrado
- DNPM** – Departamento Nacional de Produção Mineral
- DPA** – Dano Potencial Associado
- IBRAM** – Instituto Brasileiro de Mineração
- MME** – Ministério de Minas e Energia
- PAE** ou **PAEBM** – Plano de Ação de Emergência (para Barragens de Mineração)
- PIB** – Produto Interno Bruto
- PNSB** – Política Nacional de Segurança de Barragens
- PSB** – Plano de Segurança de Barragem
- PGRBM** – Plano de Gestão de Risco para Barragens de Mineração
- RSB** – Relatório de Segurança de Barragens
- RPSB** – Revisão Periódica de Segurança de Barragem
- SIGBM** – Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração
- SINIMA** – Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente
- SNISB** – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	12
3	OBJETIVOS	13
3.1	Objetivos Específicos	13
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1	Barragens	14
4.2	Contexto histórico acerca das barragens de rejeito.....	20
4.3	Histórico da legislação mineral no Brasil	23
4.4	Legislação vigente	25
4.5	O rejeito de usina de beneficiamento	28
4.6	Tipos de Revisões Bibliográficas	33
5	METODOLOGIA.....	36
5.1	Estratégia de Busca e Seleção das Fontes	36
5.2	CrITÉrios de Elegibilidade	37
5.3	Processo de Análise e Síntese	37
6	RESULTADOS.....	40
7	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A mineração desempenha um papel fundamental para a economia de qualquer país. No Brasil, a indústria mineral contribui significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) e para as exportações. Em 2023, o saldo comercial do setor mineral correspondeu a 32% do saldo total do Brasil, com mais de \$42,98 bilhões de dólares oriundos das exportações brasileiras e mais de 9.000 vagas geradas entre janeiro e novembro de 2023 em várias regiões do país (IBRAM, 2023).

O processo de mineração abrange uma sequência integrada de etapas que inicia com a prospecção e pesquisa mineral (identificação e avaliação de jazidas economicamente viáveis) (Luz; Sampaio; Almeida, 2010), prosseguindo para o desenvolvimento da mina (preparação de infraestrutura e acessos) e a lavra (extração do minério bruto, conhecida como ROM – Run of Mine, por métodos a céu aberto ou subterrâneos) (Chaves; Peres, 2015). Em seguida, realiza-se o beneficiamento (tratamento por operações unitárias físicas ou físico-químicas, como cominuição, classificação, concentração e desaguamento, gerando o concentrado comercializável e o rejeito – material sem aproveitamento econômico imediato) (Luz; Sampaio; Almeida, 2010). Finalmente, a disposição de rejeitos constitui etapa crítica de manejo ambiental, envolvendo técnicas seguras como empilhamento a seco, pasta adensada ou backfill em cavas esgotadas, influenciadas pelas características do minério e do beneficiamento anterior (Chaves; Peres, 2015).

O beneficiamento de minérios é o processo industrial que prepara o minério, usando métodos físicos ou físico-químicos, para purificá-lo, enriquecê-lo e ajustar seu tamanho, aumentando seu valor econômico sem alterar sua composição química (ARAUJO, 2006). Neste processo, normalmente tem-se a geração de dois produtos, o concentrado e o rejeito. Segundo Lima (2006), o rejeito é composto por minerais descartados no beneficiamento por não apresentarem teor ou tamanho adequados para valor econômico. Suas propriedades dependem do processo de beneficiamento e dos minerais presentes, influenciando diretamente no método de descarte.

A disposição de rejeitos em barragens a montante é uma prática muito utilizada na mineração no Brasil e no mundo. Essa prática envolve a construção de barragens sobre o próprio material de rejeito depositado, criando camadas sucessivas que se acumulam para formar a estrutura da barragem. As mineradoras têm adotado, preferencialmente, o método de montante, pois este apresenta como principais vantagens o baixo custo de sua construção, a necessidade

de menor volume de materiais, a rapidez e a simplicidade na execução dos alteamentos, normalmente realizados pela equipe técnica da própria mineradora, (VICK, 1983).

Este trabalho busca explorar os aspectos técnicos, ambientais, sociais e regulatórios associados à disposição de rejeitos em barragens a montante no Brasil. Ao longo deste trabalho, serão examinadas as práticas atuais de disposição de rejeitos, os impactos ambientais e sociais decorrentes dessas práticas, os principais desafios enfrentados pela indústria de mineração e as regulamentações existentes em diferentes países.

Partindo de uma revisão abrangente da literatura disponível, este estudo procura fornecer uma análise crítica e imparcial dos diversos aspectos relacionados à disposição de rejeitos em barragens a montante. Ao fazer isso, visa-se contribuir para um entendimento mais profundo dos benefícios, riscos e desafios associados a essa prática, bem como para o desenvolvimento de políticas, legislações e práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos da mineração.

2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A mineração, apesar de ser uma atividade econômica imprescindível para a manutenção da sociedade moderna, acarreta com seu desenvolvimento algum nível de impacto ambiental. Além disso, acidentes inerentes a qualquer atividade humana podem ocorrer e na mineração não é diferente. Acidentes como o rompimento das barragens de rejeito em Brumadinho- MG e Mariana-MG, trouxeram um intenso debate sobre a disposição de rejeitos em barragens a montante e sobre a responsabilidade governamental em regular tal prática.

A disposição de rejeitos em barragens a montante é um método comum de disposição de resíduos na indústria de mineração. Nesse processo, os rejeitos gerados durante a extração de minerais são depositados em uma barragem a partir de um dique inicial. À medida que os rejeitos são lançados, diques subsequentes são construídos acima do material já depositado e sedimentado. Assim, a altura da barragem é elevada, utilizando o próprio rejeito como material de construção. Esse método é relativamente simples e econômico de implementar. No entanto, traz consigo preocupações significativas em termos de segurança e impacto ambiental devido ao potencial de falhas na estrutura da barragem e ao risco de vazamentos de materiais tóxicos para o meio ambiente (Vick, 1983).

Entender o panorama atual no que tange à barragem de rejeitos com disposição a montante e a legislação vigente, se faz necessário para que acidentes como os de Mariana (MG) e Brumadinho (MG) sejam evitados. Além disso, implementar uma legislação mais rigorosa para lidar com essa prática e seus riscos, é uma forma de garantir a segurança da sociedade e do meio ambiente que circundam essas estruturas. A implementação de métodos e técnicas mais seguros e eficazes para construção de barragens, diminui riscos associados à atividade mineradora.

3 OBJETIVOS

Evidenciar a problemática a respeito das políticas de segurança voltadas para disposição de rejeitos em barragens a montante no Brasil.

3.1 Objetivos Específicos

- Examinar a evolução da legislação brasileira sobre segurança de barragens de rejeito, com ênfase no período pós-2015;
- Diagnosticar quantidade e risco de barragens de rejeito cadastradas no Brasil;
- Explanar sobre os impactos ambientais e sociais decorrentes de acidentes com barragens de rejeitos;
- Investigar alternativas técnicas seguras e eficazes para a disposição de rejeitos;
- Identificar oportunidades de melhoria na elaboração e aplicação de leis com foco na disposição de rejeitos da mineração.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão discutidas as normas estabelecidas para disposição de rejeito em barragens a montante no Brasil, abrangendo a legislação e sua evolução, explicando algumas características deste tipo de disposição e como se dá o controle de segurança desses dispositivos.

4.1 Barragens

De acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), as barragens são estruturas artificiais projetadas para reter água, líquidos, rejeitos ou detritos, com finalidades que incluem armazenamento, controle de cheias, geração de energia hidrelétrica, irrigação e outras aplicações. Essas estruturas podem variar desde pequenos maciços de terra, comuns em propriedades rurais, até grandes obras de concreto ou aterro, utilizadas em projetos de grande escala.

Segundo a Agência Nacional de Água e Saneamento - ANA (2024), a maior parte das barragens no Brasil tem como função principal o armazenamento de água, garantindo reservas hídricas para períodos de seca. Além disso, essas estruturas também são utilizadas para controlar o excesso de água proveniente dos períodos chuvosos, reduzindo os impactos de enchentes. Os reservatórios de água no país atendem a diversos fins, como irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal, geração de energia elétrica, aquicultura e controle de cheias. Na figura 1 é possível visualizar a distribuição das barragens existentes hoje no Brasil, de acordo com o uso ao qual é destinado cada uma.

Figura 1 - Distribuição geográfica das barragens com uso principal para disposição de Rejeitos de Mineração, disposição de Resíduos Industriais e Hidrelétricas



(Fonte: SNISB, 3 de janeiro de 2024).

4.1.1 Barragem para armazenamento de água

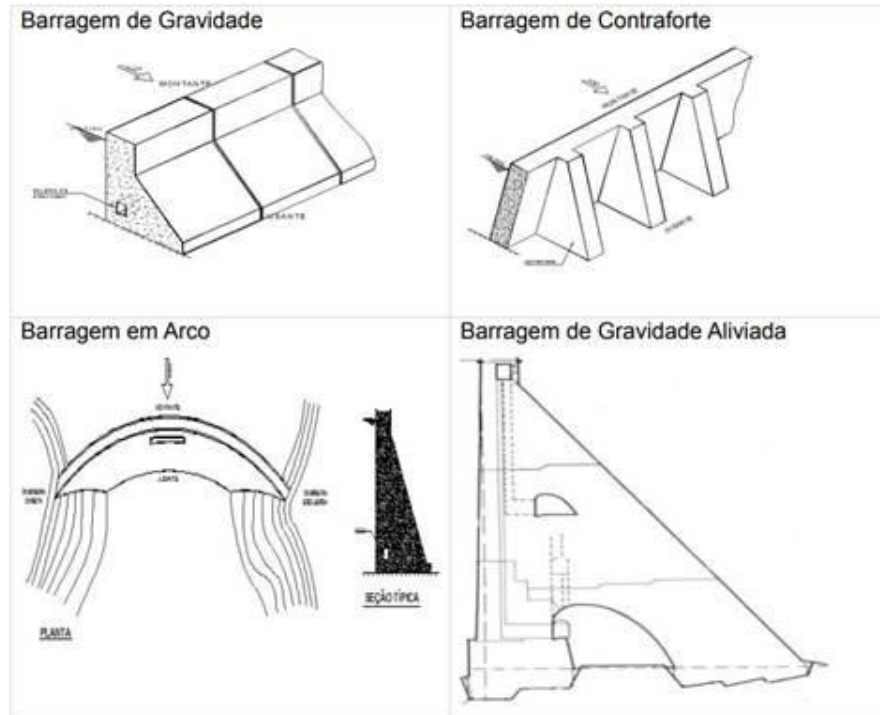
Segundo a BRK Ambiental (2020), as barragens para armazenamento de água são estruturas que exercem impacto significativo tanto no ecossistema local quanto nas áreas rurais e urbanas próximas, influenciando diretamente a bacia hidrográfica onde estão inseridas. Essas construções atuam como barreiras artificiais para reter grandes volumes de água, formando reservatórios. Sua utilização remonta ao início das civilizações, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento das sociedades humanas ao longo da história.

As primeiras barragens foram construídas para armazenar água e suprir a escassez durante os períodos de seca. Com o avanço da Revolução Industrial, a demanda por água e energia cresceu, impulsionando a evolução das técnicas de construção e projeto dessas estruturas. Esse progresso levou ao surgimento das barragens modernas, como as de concreto, que representam um marco no desenvolvimento da engenharia hídrica, de acordo com a BRK Ambiental (2020).

Consoante Possan (2015), às barragens de concreto (Figura 2) são estruturas construídas principalmente com materiais granulares, como areia natural ou brita artificial, combinados,

combinados com aglomerantes (cimento, pozolanas) e aditivos químicos (incorporadores de ar, retardadores de pega, entre outros).

Figura 2 - Representação Esquemática dos Principais Tipos de Barragem de Concreto



Fonte: VIEIRA JUNIOR e SALLES, 2011

Essas barragens são classificadas conforme sua forma e geometria em diferentes tipos, como barragens de gravidade, de contrafortes, em arco ou arco-gravidade, e de gravidade aliviada.

4.1.2 Barragem de rejeito da mineração

As barragens de contenção de rejeitos ainda são o método mais comum para armazenar esses materiais. Elas podem ser construídas usando solos, estéreis (resíduos da lavra) ou até mesmo o próprio rejeito. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2016), como a quantidade de rejeitos gerados é enorme e os custos para descartá-los são altos, usar esses materiais na construção das barragens acaba sendo uma opção viável e econômica. No entanto, é preciso seguir certas regras e condições para garantir que isso seja feito de forma segura e eficiente.

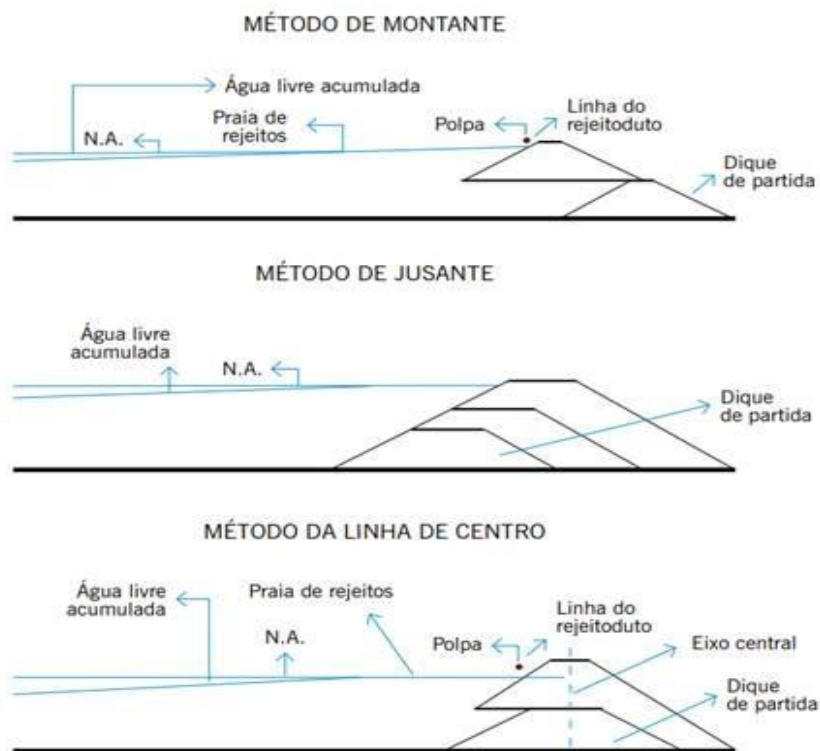
Segundo Carvalho *et al.* (2018, p. 362), as barragens de rejeitos são iniciadas com a construção de um dique inicial, que normalmente é feito com solo retirado de outro local (solo

de empréstimo). Depois, para aumentar a capacidade de armazenamento, são feitos alteamentos, que podem ser construídos com mais solo de empréstimo ou até mesmo com os próprios rejeitos da mineração, ajudando a ampliar o espaço para depositar os rejeitos.

É importante lembrar que a escolha do método de alteamento deve considerar vários fatores do projeto, como a topografia, a hidrologia, a geologia e as características do solo. Além disso, é preciso analisar o tipo e a granulometria dos rejeitos, a velocidade com que eles são depositados e como a capacidade de armazenamento do reservatório muda conforme a altura aumenta. A disponibilidade de equipamentos para terraplenagem e compactação, assim como a equipe de controle, também são pontos essenciais a serem levados em conta (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2016), as barragens de contenção de rejeitos são construídas gradualmente, com o objetivo de distribuir os custos ao longo do tempo. Inicialmente, é construído um dique de partida, e, à medida que a barragem é ampliada, são feitos alteamentos sucessivos. Esses alteamentos podem ser realizados com material compactado retirado de áreas de empréstimo ou com o próprio rejeito, utilizando os métodos à montante, à jusante ou por linha de centro, como mostra a figura 3.

Figura 3 - Métodos de alteamento em barragens



Fonte: Espósito (2000).

Dentre os métodos supracitados, o método à montante é o mais antigo, simples e econômico. O início da operação deste tipo de barragem consiste na construção de um dique inicial, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado, (Araújo 2006).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2016), após a etapa inicial, o rejeito é lançado por canhões em direção à parte superior da barragem, formando uma área denominada praia de disposição. Essa praia serve como base para a estrutura e, ao mesmo tempo, fornece material para a construção dos próximos alteamentos. O processo se repete até que a barragem atinja a altura final planejada. A figura 4 mostra um esquema de alteamento de barragem a montante.

Para Carvalho *et al.* (2018), o método de alteamento a montante (Figura 4) é simples e econômico, mas está ligado à maioria dos casos de rompimento de barragens de rejeitos no mundo.

Figura 4 - Alteamento a montante



Fonte: Acervo IBRAM, 2016.

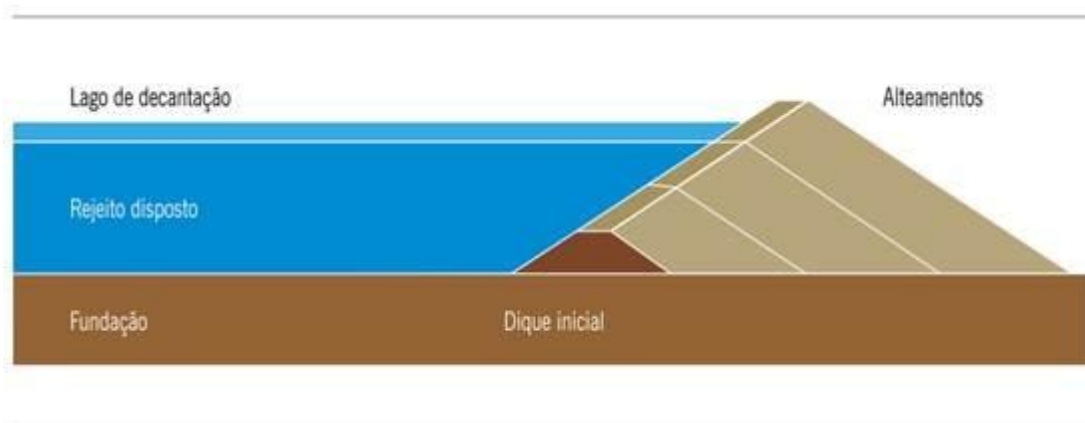
Já no modelo a jusante, de acordo com Vick (1983), inicialmente, os rejeitos são depositados à montante de um dique inicial. Os alteamentos subsequentes são realizados pela construção de aterros na encosta a jusante do alteamento anterior. Esse método permite a incorporação de medidas estruturais no aterro, como núcleos impermeáveis e drenos internos, para controle eficaz da superfície freática. Essas medidas podem possibilitar o armazenamento de grandes volumes de água diretamente contra a face interna do aterro. No entanto, em alguns casos, a disposição periférica dos rejeitos, formando uma praia ampla e bem controlada, pode resultar em um bom controle da superfície freática sem a necessidade de zonas impermeáveis e

drenos internos, desde que não ocorra acumulação de água contra a face interna do aterro e que o próprio aterro seja suficientemente permeável.

Nesse método, apenas os rejeitos mais grossos são usados para os alteamentos, e a barragem pode ser projetada para atingir grandes alturas, sempre incluindo sistemas de impermeabilização e drenagem. Os rejeitos passam por um processo de hidrociclonagem, e a parte mais grossa (*underflow*) é depositada no talude de jusante, com compactação e controle rigoroso durante a construção (SOARES, 2010).

O método a jusante é mais seguro que o método a montante. Ele foi criado para diminuir os riscos de rompimento de barragens causados por liquefação, especialmente em áreas sujeitas a terremotos ou vibrações provocadas por desmontes com uso de explosivos na mineração (Carvalho et al. 2018). A figura 5 apresenta um desenho ilustrativo de um alteamento a jusante.

Figura 5 - Alteamento a jusante

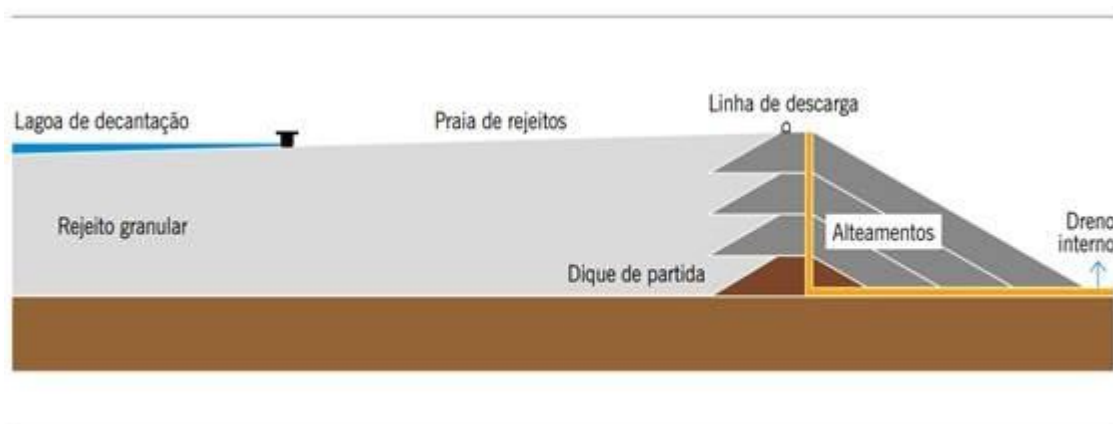


Fonte: Acervo IBRAM, 2016.

O método linha de centro (Figura 6) é uma opção intermediária entre o método a montante e o método a jusante. Primeiro, é construído um dique inicial. Depois, os rejeitos são lançados ao redor da parte superior desse dique, formando uma área chamada praia (Vick 1983).

Para aumentar a barragem, os rejeitos são colocados sobre essa praia e sobre a parte inferior do dique inicial, onde somente os rejeitos mais grossos são utilizados nesse método de alteamento. A linha central do dique inicial e dos diques que são construídos após se mantém na posição horizontal. Por isso, a estrutura da barragem feita por esse método se comporta de forma mais parecida com o método a jusante, sendo mais segura (SOARES, 2010).

Figura 6 - Alçamento por linha de centro



Fonte: Acervo IBRAM, 2016.

Conforme Carvalho *et al.* (2018), o método de linha de centro é um intermediário entre os métodos a montante e a jusante, oferecendo maior estabilidade que o primeiro e menor demanda de material que o segundo.

4.2 Contexto histórico acerca das barragens de rejeito

Antes de adentrar na discussão acerca dos dispositivos legais que regem a disposição de rejeito de minérios em barragens no Brasil, se faz necessário tecer considerações a respeito da importância da mineração e entender a história das barragens de rejeito.

Os minerais são matéria-prima para um leque de setores da indústria, desde a produção de ligas metálicas para o uso na indústria automobilística e naval, bem como a aplicação na indústria bioquímica e de eletroeletrônicos. Essa necessidade demonstra a relevância da atividade minerária para a manutenção da sociedade moderna. No panorama nacional, a mineração corresponde a 1,4% do Produto Interno Bruto do País (PIB), tendo papel de notoriedade nos debates políticos e econômicos (IBRAM, 2018).

A Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD, 2008), afirma que as primeiras barragens foram construídas há mais de 2000 anos em alguns países localizados na Ásia, ao longo do que é considerado mediterrâneo e América Central.

De acordo com Santos (2019), a história das barragens de rejeitos é permeada por um capítulo multifacetado e arraigado no desenvolvimento da mineração e engenharia civil. Desde os primórdios de sua aplicação tem ocorrido uma evolução recorrente nas práticas de construção e no entendimento dos perigos que envolvem estas estruturas. No início, as barragens de rejeitos

foram concebidas como uma resposta prática ao desafio de controlar os resíduos consequentes do processamento mineral. À medida que as operações mineiras foram sendo expandidas, essas barragens se transformaram em questões complexas e maiores no quesito tamanho.

Ao longo da história as barragens foram usadas com a finalidade de adaptação da civilização ao meio ambiente e a busca por uma melhoria na qualidade de vida das pessoas. Estas estruturas tinham como funções: irrigação e abastecimento de água em períodos de seca. As barragens eram construídas no começo do século XIX, na maioria das vezes, de forma transversal aos cursos de água, de modo que quando as chuvas aconteciam, poucas vezes as estruturas continuavam estáveis (CBDB, 2004).

No tempo passado, as construções de barragens eram visivelmente rudimentares e necessitavam de um projeto mais complexo e de minuciosas avaliações. À medida que a consciência e o conhecimento ambiental foram se desenvolvendo, assim como as preocupações com riscos e falhas, surgiram regulamentações mais rígidas e métodos de engenharia mais elaborados para a construção e manutenção dessas barragens. É importante mencionar que as fontes históricas apontam o mau funcionamento das barragens de rejeitos, pois demonstra uma suscetibilidade contínua à ruptura desastrosa e de danos imensos ao longo da história (CARDOZO, 2019).

As barragens para a utilização de disposição de rejeitos, passaram a ser construídas na década de 1930, tendo como uma de suas intenções evitar que os rejeitos fossem lançados de modo direto em cursos de água, reduzindo assim as implicações ambientais da atividade mineradora (CBDB, 2011).

Vale ressaltar que os números de barragens de rejeitos passaram a crescer de forma exponencial após a Segunda Guerra Mundial, quando a demanda por metais e minerais se ampliou em razão da necessidade de reconstrução das nações impactadas pela Grande Guerra Mundial (AZAM, LI, 2010).

Ávila (2012) assevera que a partir da década de 1940, com a criação de equipamentos com alta capacidade de conseguir movimentar a terra, especialmente em minas a céu aberto, torna-se viável a construção de barragens de contenção de rejeitos com técnicas como compactação e maior grau de segurança. Desse modo, na década de 1950, boa parte dos princípios fundamentais da geotecnia já estavam sendo implementados em obras de barragens de rejeitos.

Nas décadas de 1970 e 1980, foram construídos imensos empreendimentos de barragens no país, no entanto a sua maioria para usos diversos. Na década de 1970 também foram formulados e aplicados diversos projetos de barragens com foco na geração de energia,

exemplos disso são as Usinas Hidrelétricas de Sobradinho, Tucuruí, Itaipu e Balbina. De modo que, variados projetos de mineração progrediram nesse período com barragens de rejeitos de mineração inseridos (NEVES, 2018).

A SNISB é o órgão responsável pelo cadastro de barragens existentes no Brasil. Segundo dados da SNISB, existem no Brasil cerca de 29.789 barragens catalogadas que são utilizadas para variados objetivos. Desse total, somente 922 são usadas para a disposição de rejeitos na mineração, segundo o Relatório Anual de Segurança de Barragens de Mineração de 2024.

Para dispor desses rejeitos, geralmente são construídas barragens, estruturas que tem como pretensão a retenção de partículas sólidas e água, as quais não são aproveitadas durante esse processo de beneficiamento do minério. Boa parte das vezes, estas estruturas exibem imensos volumes de armazenamento, podendo apresentar elevado índice de toxicidade, além de partículas que acabam por serem dissolvidas e em suspensão, metais pesados e com a presença de reagentes químicos (LOZANO, 2006).

Em consonância, Ribeiro (2015) afirma que, nos últimos 30 anos, as técnicas de disposição de rejeitos têm progredido significativamente, evoluindo da disposição convencional em polpa (20–40 % de sólidos) para métodos mais avançados, como rejeito espessado (50–70 % de sólidos), em pasta (65–75 % de sólidos) e filtrado/seco (> 80 % de sólidos, com empilhamento a seco). Tais avanços permitiram elevar a taxa de recirculação de água de cerca de 40–60 % (método convencional) para até 85–95 % nos sistemas filtrados, eliminar a praia saturada, reduzir drasticamente o risco de liquefação estática e possibilitar pilhas a seco com maior estabilidade geotécnica e menor impacto ambiental (RIBEIRO, 2015; COSTA, 2018).

É importante pontuar que apesar da existência de variadas alternativas para a disposição de rejeitos, um número elevado de empresas de mineração ainda tem preferência por barragens de contenção de rejeitos. Esse método é recorrentemente escolhido em decorrência das possibilidades de usar materiais locais tais como solo ou estéril, e até o próprio rejeito na construção de barragem (CAMPOS, POZNYAKOV, 2021).

As barragens de rejeitos indicam uma faceta de teor crítico em relação à infraestrutura na indústria de mineração, exercendo um papel crucial na gestão de resíduos. No entanto, a falha dessas estruturas pode implicar em danos severos. Os colapsos que ocorreram nas barragens de Brumadinho e Mariana, no panorama nacional, são exemplos concretos das falhas das barragens. Essas falhas podem provocar devastação ambiental expressiva, assim como perdas humanas imensuráveis (CABRAL, 2022).

As barragens, como qualquer obra de engenharia, estão suscetíveis a falhas. Apesar da chance de ocorrência ser baixa, os danos resultantes disso podem ser profundos, especialmente se houver comunidades urbanas ou rurais no vale a jusante, ou seja, essa probabilidade não pode ser descartada (MACHADO, 2017).

Conforme Davies (2002), entre os anos de 1970 e 2001, aconteceram a nível mundial, em média, pelo menos 2 a 5 acidentes com barragens por ano. Esse resultado é decorrente de um inventário de 3.500 barragens, esse dado também é resultado de uma probabilidade de falha anual de 1/700 a 1/750 por barragem. Em paralelo, Blight et al (2003) mencionam que em anos recentes, ocorreram rupturas de estruturas projetadas e controladas com cautela.

4.3 Histórico da legislação mineral no Brasil

Desde o período colonial se estendendo para contextos políticos como Brasil Império, republicano, democrático ou ditatorial, o setor da mineração é alvo de disputas na produção dos marcos legais e institucionais. Desse modo, conhecer as regras do Regime Jurídico do Aproveitamento dos Recursos Minerais no Brasil é de extrema relevância para quem pretende executar qualquer extração. Obter o poder de modificá-las é tarefa essencial para a hegemonia desempenhar e prescrever os rumos posteriores destes considerados territórios extrativo-mineral (ANTONINO, 2019).

Conforme com o Ministério de Minas e Energia (2018), a história da mineração no âmbito nacional demonstra diversos fatores marcantes, com destaque para transformações na regulamentação e planejamento desse setor e as modificações nas instituições de governo, sempre tendo efeitos na economia do país, além disso, gera impactos expressivos no desenvolvimento das atividades relacionadas ao setor mineral.

Vale destacar que durante a evolução da legislação mineral e das instituições vinculadas ao setor, ocorreram eventos marcantes no final do século XX e no início do século XXI (BRASIL, 2018).

Nessa perspectiva, recorre-se a fatos históricos para ressaltar como a legislação brasileira no decorrer do século XIX até o século XXI avança em relação à mineração. De modo, retorna-se ao século XIX, mais precisamente ao ano de 1891 para evidenciar quais medidas legislativas foram aplicadas no setor da mineração no cenário nacional. A história da mineração brasileira é marcada por uma crescente regulamentação e nacionalização de recursos.

1. Final do Século XIX - Início do Século XX:

- **1891:** A Constituição Republicana inicialmente associava a propriedade do subsolo à do solo.
- **1907:** Criação do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, um passo inicial para a organização do setor.

2. Era Vargas e Nacionalização (Anos 1930-1940):

- **1930s:** Getúlio Vargas promoveu a nacionalização das reservas minerais, suspendeu a alienação de jazidas e criou o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em 1934, que separou a propriedade do solo e subsolo.
- **1938:** O Conselho Nacional do Petróleo (CNP) foi estabelecido, nacionalizando o refino de petróleo e regulando a importação e transporte.
- **1940:** O primeiro Código de Minas (Decreto-Lei nº 1.985) definiu direitos sobre jazidas e regulou a intervenção estatal. O imposto único sobre minerais começou a ser cobrado.
- **Início dos anos 1940:** Criação de grandes estatais como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em 1941 e a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em 1942.

3. Pós-Guerra e Expansão (Anos 1940-1960):

- **1946:** A nova Constituição permitiu a participação de capital estrangeiro na mineração e estendeu a tributação única a todos os minerais.
- **1960:** Criação do Ministério das Minas e Energia, incorporando o DNPM.

4. Reformas e Descobertas (Anos 1960-1970):

- **1964:** Lei nº 4.425 consolida o Imposto Único sobre Minerais (IUM).
- **1967:** Descoberta da Serra dos Carajás. Um novo Código da Mineração (Decreto-Lei nº 227) regulamentou os direitos sobre recursos minerais e a fiscalização, substituindo o Código de 1940. O monopólio sobre pesquisa e lavra de petróleo tornou-se constitucional.
- **1969:** Criação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

É possível perceber conforme a citação acima, que desde o século XIX, ocorreram modificações expressivas em relação à legislação direcionada à mineração no âmbito nacional.

Sendo possível identificar a criação de companhias destinadas à mineração. Ademais, é visível que somente no ano de 1960 foi instituído o Ministério das Minas e Energia.

Convém salientar que a mineração está vinculada de forma intrínseca com o desenvolvimento do sistema capitalista, é o eixo crucial no avanço da tecnologia industrial. No cenário nacional, o desenvolvimento adquire contornos durante o governo de Getúlio Vargas na década de 1930, com a intervenção do poder estatal em áreas como a economia, defendendo aspectos como industrialização, o intervencionismo pró-crescimento e a favor do nacionalismo (FONSECA, 2012).

O Código de Mineração de 1934 estabeleceu regras em relação aos proprietários do solo onde ocorre a mineração, onde os proprietários ou possuidores do solo são obrigados, contra reparação integral e prévia do dano, a permitir que sejam executados os trabalhos de pesquisa, sendo que os de prospecção, inclusive medições, levantamentos de planta, colheita de amostras e outros semelhantes, independem de indenização (BRASIL, 1934).

Durante o final da década de 70, foi implementada no Brasil a legislação referente à segurança de barragens, porém houve poucos progressos nessa área ao longo das décadas de 80 e 90, segundo a Agência Nacional de Mineração (2022). Esta lacuna na atualização da legislação durou até meados da década de 2000, quando houve a declaração da PL n° 1.181/2003. Após anos de discussão sobre o tema, o projeto de lei deu origem à Lei n° 12.334/2010.

4.4 Legislação vigente

A Resolução ANM n° 95, de 07 de fevereiro de 2022, determina medidas regulatórias para segurança de barragens de mineração, consolidando atos normativos anteriores. Revoga a Portaria DNPM n° 70.389/2017 e resoluções anteriores da ANM. Define diretrizes para garantir a segurança das barragens e promover a prevenção de acidentes ambientais e socioeconômicos.

A referida Resolução, publicada pela Agência Nacional de Mineração (ANM), tem como principal objetivo fortalecer as regulamentações referentes à segurança das barragens de mineração em território brasileiro. Esta resolução estabelece diretrizes específicas e rigorosas para garantir a estabilidade estrutural das barragens, incluindo normas detalhadas de monitoramento, manutenção e fiscalização. Além disso, aborda de forma abrangente a gestão de riscos, a elaboração de planos de emergência e a comunicação com as comunidades impactadas.

Por meio dessa medida, a ANM visa prioritariamente promover a segurança e prevenir a ocorrência de acidentes ambientais e socioeconômicos resultantes de eventuais falhas em barragens de mineração. Ademais, busca-se fomentar a transparência e a responsabilidade das empresas atuantes no setor minerador, mediante a exigência de relatórios periódicos de monitoramento e inspeções técnicas.

A Resolução ANM nº 95/22, representa um marco na regulamentação da segurança de barragens de mineração no Brasil, consolidando e aprimorando as medidas existentes. Entre as transformações mais significativas, destaca-se a proibição expressa da construção ou alteamento de barragens pelo método a montante em todo o território nacional, visando aprimorar a segurança dessas estruturas. A normativa também expande a abrangência da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), definindo com clareza os critérios de inclusão de uma barragem, como altura do maciço, capacidade do reservatório, presença de resíduos perigosos e classificação de Dano Potencial Associado (DPA) ou Categoria de Risco (CRI) como médio ou alto.

A resolução impõe a obrigatoriedade de cadastramento de todas as barragens no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), integrando o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM). Além disso, a Agência Nacional de Mineração (ANM) passa a classificar as barragens não apenas pela Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA) em níveis alto, médio ou baixo, mas também quanto à gestão operacional.

É exigida a elaboração de estudos de ruptura hipotética que contemplem um mapa de inundação georreferenciado, explicitando a Zona de Auto Salvamento (ZAS) e a Zona de Segurança Secundária (ZSS). Para barragens classificadas com DPA alto, torna-se compulsório um sistema de monitoramento automatizado, com acompanhamento em tempo real e período integral.

No que tange à gestão de emergências, a resolução estabelece a obrigatoriedade do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) para todas as estruturas inseridas na PNSB, detalhando seu conteúdo mínimo e características, como a exigência de capa vermelha para o documento físico. Para barragens com DPA alto, é mandatório implementar o Processo de Gestão de Risco para Barragens de Mineração (PGRBM), que abrange a identificação, análise, avaliação e classificação dos riscos.

A ANM também eleva os requisitos de qualificação técnica mínima para as empresas e profissionais responsáveis pela execução de documentos técnicos e pela composição das

equipes de segurança de barragens, exigindo, por exemplo, especialização, mestrado ou doutorado em áreas específicas.

Por fim, a legislação reforça as responsabilidades do empreendedor como responsável legal pela segurança da barragem, impondo severas penalidades, como embargo ou suspensão de atividades, em caso de descumprimento das obrigações. Dentro de um contexto mais amplo, a Resolução ANM nº 95 representa um avanço significativo na regulação da indústria de mineração no Brasil, almejando proteger o meio ambiente, as comunidades locais e os recursos naturais do país.

Sob essa égide, o Decreto-Lei nº 227, de 1967 – Código de Mineração – estabelece os fundamentos legais para o setor mineral no Brasil. A norma atribui à União a competência para administrar os recursos minerais, a indústria da produção mineral e a comercialização de produtos minerais (Art. 1º).

O Código define os regimes de aproveitamento, que incluem a concessão, autorização, licenciamento, permissão de lavra garimpeira e monopolização, cada um com suas particularidades e esferas de competência (Art. 2º). Seu escopo de regulação abrange os direitos sobre as jazidas, o regime de seu aproveitamento e a fiscalização federal sobre a pesquisa, a lavra e a indústria mineral (Art. 3º).

Conceitualmente, o documento define jazida como uma massa individualizada de substância mineral com valor econômico, e mina como a jazida em lavra (Art. 4º). As minas são classificadas em manifestadas (já em lavra em 1934) e concedidas (com lavra outorgada pelo Ministro de Minas e Energia) (Art. 6º).

Um marco importante introduzido pela Lei nº 14.066/2020 foi a inclusão do Art. 6º-A, que explicitou que a atividade de mineração abrange desde a pesquisa até o fechamento da mina, incluindo o armazenamento de estéréis e rejeitos. Este artigo também consolidou a responsabilidade integral do minerador, englobando a prevenção e compensação de impactos ambientais, a preservação da saúde e segurança dos trabalhadores, a prevenção de desastres e a recuperação das áreas impactadas.

Para o aproveitamento das jazidas, o Código estabelece a dependência de alvará de autorização de pesquisa e subsequente concessão de lavra, ressalvando as minas manifestadas (Art. 7º). Atividades de garimpagem são regidas pelo regime de matrícula (Art. 9º), enquanto jazidas especiais, como as de monopólio estatal e águas minerais, são disciplinadas por legislação própria (Art. 10). Por fim, são garantidos direitos como o de prioridade na pesquisa e a participação do proprietário do solo nos resultados da lavra (Art. 11) (BRASIL, 1967).

A partir da citação acima, ficam evidenciados pontos essenciais a respeito da legislação mineral estabelecida pelo código de mineração, tais como a responsabilidade da União, regimes de aproveitamento das substâncias minerais e quais atividades são abrangidas na mineração tais como a pesquisa. Outros aspectos contemplados dizem respeito ao aproveitamento das jazidas e as responsabilidades do minerador, por exemplo, saúde, segurança dos trabalhadores, preservação de desastres ambientais e a recuperação ambiental de áreas impactadas.

De acordo com a Lei nº 9.605 (1998), as penas para transgressões ou crimes ambientais podem ser multas, com valores que variam conforme a gravidade do crime e podem ser aplicadas a pessoas físicas e jurídicas; penas restritivas de direitos, como prestação de serviços à comunidade, suspensão de atividades; penas de detenção ou reclusão, de acordo com a gravidade do crime; responsabilidade da pessoa jurídica, onde empresas podem ser multadas, ter atividades suspensas ou até mesmo serem dissolvidas em casos graves.

Já a fiscalização ambiental segue etapas definidas na lei e em normas complementares:

- a) Denúncias e monitoramento: a fiscalização pode ser iniciada por denúncias de cidadãos, organizações não governamentais (ONGs) ou por meio de monitoramento realizado pelos órgãos ambientais;
- b) Inspeção e constatação: onde os fiscais visitam o local para verificar a existência de infrações, podendo coletar provas como fotos, vídeos, amostras de solo, água ou vegetação;
- c) Autuação: constatada a infração, o fiscal emite um auto de infração, que descreve a irregularidade e aplica multas ou outras penalidades administrativas;
- d) Apreensão e embargo: produtos, equipamentos ou veículos utilizados no crime podem ser apreendidos. Em casos graves, as atividades podem ser embargadas até que a situação seja regularizada;
- e) Encaminhamento ao Ministério Público: se o crime for de natureza penal, o caso é encaminhado ao Ministério Público para ação judicial.

4.5 O rejeito de usina de beneficiamento

No processo de mineração, grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados para obter um produto da operação, o mineral-minério. A quantidade de material removido depende de fatores como tamanho da jazida, disponibilidade de minério e do processo utilizado. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), na atividade de mineração, os resíduos sólidos são classificados em dois tipos principais: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são materiais escavados durante o processo de extração,

provenientes do decapeamento da mina. Eles não possuem valor econômico e são geralmente dispostos em pilhas.

Os rejeitos são resíduos gerados durante os processos de beneficiamento das substâncias minerais. Esses processos visam padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto. Além dos rejeitos, a mineração também gera outros tipos de resíduos, como efluentes de tratamento de esgoto, carcaças de baterias e pneus utilizados pela frota de veículos, provenientes das operações de extração e beneficiamento, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012).

Dessa forma, é possível definir rejeitos como sendo “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”, de acordo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Atualmente, a disposição de rejeitos em superfície é a opção mais utilizada, pois a disposição subterrânea só é viável em casos específicos, como no preenchimento de cavidades já existentes devido à lavra anterior. O método mais comum para a disposição de rejeitos é a construção de barragens convencionais, feitas com terra compactada. Essas barragens podem ser construídas em etapas, permitindo que sejam alteadas (aumentadas em altura) ao longo do tempo, conforme a necessidade.

Há também métodos não convencionais de descarte de rejeitos oriundos da mineração. Alguns desses métodos serão abordados nesta seção.

4.5.1 Aterro hidráulico

Atualmente, a disposição de rejeitos em superfície é a opção mais utilizada, pois a disposição subterrânea só é viável em casos específicos, como no preenchimento de cavidades já existentes devido à lavra anterior. O método mais comum para a disposição de rejeitos é a construção de barragens convencionais, feitas com terra compactada. Essas barragens podem ser construídas em etapas, permitindo que sejam alteadas (aumentadas em altura) ao longo do tempo, conforme a necessidade. Há também métodos não convencionais de descarte de rejeitos oriundos da mineração. Alguns desses métodos serão abordados nesta seção.

Rejeitos que apresentam uma granulometria acima de 0,074 mm, considerada grossa, podem ser depositos segundo a técnica de aterro hidráulico, sendo essa a mais usada (FIGUEIREDO, 2007). Quando o próprio rejeito é utilizado na construção de barragens, este

se comporta como um aterro hidráulico e, neste modelo de disposição, o transporte do material de rejeito oriundo do aterro é feito através de tubulações que utilizam água, com uma porcentagem de água de aproximadamente 85% (DE SOUZA, 2013).

De acordo com (IBRAM, 2016), para utilizar esse método de forma segura e eficiente, é necessário seguir algumas premissas importantes. Entre elas, destacam-se:

- Separar a parte grossa da parte fina dos rejeitos;
- Controlar cuidadosamente os processos que definem o tamanho das partículas (granulometria);
- Utilizar sistemas de drenagem e compactação que funcionem de maneira eficaz;
- Proteger a superfície da barragem contra erosão e outros danos.

Essas medidas são essenciais para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura.

Apesar de ser um método que aproveita o próprio rejeito gerado pela atividade de mineração, este método pode significar um risco, pois há formação de potenciais focos de liquefação, que acarretam o aumento do risco de ruptura, devido vibrações no terreno provocadas por desmonte com explosivos próximo das barragens, alteamentos muito rápidos, entre outros (SANTOS, 2010).

4.5.2 Disposição de rejeitos espessados e/ou em pasta

A disposição de rejeitos espessados e/ou em pasta é um método eficiente e se apresenta como uma alternativa aceitável para tal finalidade, visando a recuperação de água. Além disso, pode ser uma alternativa viável para o método de disposição de rejeitos em barragens convencionais e na forma de aterro hidráulico (ROBINSKY, 2000).

A disposição de rejeitos em pasta é comumente praticada em países como Canadá e na Austrália, por exemplo. Este método pode ser aplicado no preenchimento de câmaras de minas subterrâneas sob forma de “*backfill*” ou “*pastefill*”. Já na superfície, pode ser aplicado como opção para reduzir a utilização de grandes áreas para disposição de rejeito, além de uma maneira de minimizar os riscos de disposição de polpa em barragem convencional (ENGELS, 2006).

A preparação de rejeitos espessados ou em pasta começa com a remoção de água das polpas que têm uma baixa concentração de sólidos. Isso é feito normalmente em equipamentos chamados espessadores de pasta, que são grandes estruturas em formato de tronco de cone, com diâmetros que podem chegar a 50 metros e profundidades entre 1 e 2 metros. A principal característica desse tipo de espessador é a produção de um underflow com menor concentração de água, característica essencial para que se obtenha um rejeito em pasta. Nesse processo,

algumas vezes são adicionados produtos químicos, os floculantes, que ajudam a acelerar a sedimentação dos sólidos. Quando os floculantes não são usados, o material é removido por um sistema de pás que se movimentam dentro do espessador. (FIGUEIREDO, 2007).

Depois do processo de separação, o rejeito pode ser enviado ou não para uma planta especializada, onde é preparado para se transformar em uma "torta", processo realizado com intuito de melhorar a resistência do material. Além disso, outros materiais, como estéril, cimento, areia, podem ser adicionados ao rejeito, preenchendo, assim, cavidades subterrâneas, como túneis e/ou galerias, deixando o material mais estável e seguro. (FIGUEIREDO, 2007).

Após disposição os rejeitos se depositam de acordo com a topografia natural do relevo do local onde foram depositados. Em terrenos planificados, a disposição ocorre iniciando-se de um ponto central e expandindo-se, fazendo com que os rejeitos adquiram formato cônico. Já no caso da disposição em taludes, o rejeito tende a fluir de acordo com a topografia ou sendo barrado por um dique de contenção. Inclinações de 1,0 a 1,5 graus são recomendadas para garantir um bom sistema de drenagem (FIGUEIREDO, 2007).

Com disposição ocorre a formação de fissuras devido ao ressecamento do material. Quando novas camadas de disposição são acrescentadas, preenchem estas fissuras, estabilizando a estrutura. A água liberada após a disposição e qualquer escoamento superficial é coletada em uma lagoa no pé da pilha (ENGELS, 2006).

4.5.3 Disposição em pilhas controladas / rejeitos filtrados

O processo de filtragem consiste em um processo de separação dos sólidos presentes em meio aquoso através da passagem da polpa por meio de um filtrante, o que possibilita a passagem do líquido e retém as partículas sólidas. São comumente aplicadas etapas de adensamento de polpa, como ciclonagem ou espessamento, antes da aplicação da filtragem em si, de forma que a porcentagem de sólidos seja adequada para a quantidade requerida na alimentação dos filtros (GUIMARÃES, 2011).

Devido sua característica de apresentar baixa umidade, o rejeito filtrado não pode ser transportado por tubulações, sendo necessário que o transporte ocorra através de caminhões ou correias transportadoras. Assim, o rejeito é transportado, depositado, espalhado com auxílio de tratores e então compactado para formar depósitos de rejeitos insaturados (DAVIES & RICE, 2001). Este tipo de armazenamento produz um depósito estável que normalmente não necessita de paredes de contenção, sendo normalmente denominado pilhas secas (ENGELS, 2006).

As vantagens de descartar o rejeito filtrado são mais visíveis em lugares secos, com muitos terremotos, muito frios ou onde o espaço disponível é pequeno. Embora esse método seja mais caro do que o descarte comum, os custos extras podem valer a pena, pois este permite armazenar mais material de forma eficiente e causa menor impacto ao meio ambiente (ENGELS, 2006). Esse tipo de disposição vem ganhando força após acidentes envolvendo o rompimento de barragens, que trouxeram maior dificuldade para licenciamento de novas barragens e uma regulamentação mais rigorosa.

4.5.4 Disposições em cavas

O armazenamento de rejeitos em cavas é o processo de disposição em minas exauridas ou conjuntamente a extração mineral. É um método bastante atrativo e oportuno, pois utiliza a abertura da cava, onde ela é preenchida de forma muito mais econômica em comparação com outros métodos de disposição de rejeitos em superfície (IBRAM 2006).

Como os rejeitos são armazenados em grande profundidade e com uma taxa de elevação geralmente alta, sua densidade tende a ser baixa. Por isso, a consolidação, ou seja, o processo de compactação dos rejeitos, pode ser mais rápida e durar menos tempo se comparado ao armazenamento convencional. Isso faz com que, com o tempo, se formem depressões na área, o que torna mais difícil fechar o espaço de forma adequada (ENGELS, 2006). No caso de a mina ainda estar em operação, as cavas podem ser reabastecidas com rejeitos para preencher estas depressões, o que aumenta a capacidade de armazenamento.

Para Portes (2013) as vantagens desse método incluem a facilidade de recuperar a área depois de usada, a produção de menos impactos ambientais e visuais, a redução de riscos potenciais e a diminuição dos custos operacionais (PORTES, 2013). Já a principal desvantagem que este método apresenta é o risco de contaminação da água ao redor da cava, o que pode requerer um sistema de impermeabilização dos taludes da cava (ENGELS, 2006).

Outras desvantagens incluem: aumento do nível de rejeitos devido ao formato da cava, o que resulta em baixa resistência e pouca consolidação; risco para a estabilidade das minas subterrâneas próximas; necessidade de monitorar infiltrações, já que há o risco de contaminar o lençol freático; dificuldade para extrair minérios de menor teor no futuro; e a logística de extração, que envolve a construção de estruturas para conter os rejeitos dentro da cava, de acordo com o DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY - DME, (1999).

4.6 Tipos de Revisões Bibliográficas

Realizar uma revisão da literatura é semelhante a juntar as peças de um quebra-cabeça. É necessário reunir diversos assuntos e tentar entender como estes assuntos se conectam para ter uma visão geral de um determinado tema. Esse passo é de extrema importância para começar a construir conhecimento científico, pois dessa forma, é possível ter novas ideias e assim, perceber as lacunas a serem preenchidas em determinados assuntos. Ingram *et al.* (2006) dão atenção ao fato de que uma revisão da literatura não é apenas uma espécie de sumarização acerca dos conhecimentos de um determinado tema, mas sim, a organização e a discussão de um determinado assunto de pesquisa.

A revisão bibliográfica pode ser conduzida de diversas maneiras, cada uma delas com diferentes particularidades. Entre as abordagens mais conhecidas, destaca-se a revisão bibliográfica tradicional, também denominada revisão narrativa, baseada na aplicação de métodos específicos para a busca e análise de publicações e artigos relacionados a um tema específico. Além da revisão narrativa, existem também metodologias mais estruturadas, frequentemente empregadas por pesquisadores das áreas da saúde e educação, que têm por objetivo mapear e descrever o estado da arte de um determinado assunto, proporcionando uma visão abrangente e atualizada do conhecimento existente UNESP (2025).

Para Whitemore e Knafl (2005), o aumento em relação a diversidade de abordagens de pesquisa tem incentivado a adoção de métodos mais sistemáticos e criteriosos. Para os autores, o rigor metodológico tende a evoluir ainda mais, especialmente devido à crescente complexidade envolvida na realização de revisões da literatura. Apesar de existirem elementos comuns entre os diferentes métodos, cada um possui objetivos e aplicações específicas, adaptados às necessidades particulares de cada estudo.

A utilização da revisão bibliográfica sistemática como objeto para fundamentar decisões e ampliar o embasamento científico tem ganhado destaque de forma acelerada, substituindo, em muitos casos, as pesquisas primárias no processo de tomada de decisão no campo das ciências da saúde (EVANS; PEARSONS, 2001). Esse método tem se mostrado perspicaz na busca de evidências que sustentam intervenções e no fornecimento de informações confiáveis para a prática clínica e a pesquisas de campo.

De acordo com Greenhalgh (1997, p. 672), a revisão bibliográfica sistemática pode ser definida “como uma síntese de estudos primários que contém objetivos, materiais e métodos claramente explicitados e que foi conduzida de acordo com uma metodologia clara e reprodutível”.

No entanto, a metodologia sistemática diverge fortemente das revisões bibliográficas narrativas, pois essa abordagem possui um cronograma de etapas pré-definidas, em que a metodologia é especificada com técnicas padronizadas e passíveis de reprodução (EVANS; PEARSONS, 2001).

4.6.1 Revisão narrativa

De acordo com a Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP (2015), a revisão narrativa é uma abordagem que não segue critérios explícitos ou sistemáticos para a busca e análise da literatura. Diferente de outros tipos de revisão, ela não exige uma busca exaustiva por fontes de informação, nem utiliza estratégias complexas de pesquisa. Além disso, a seleção dos estudos e a interpretação dos dados podem ser influenciadas pela subjetividade dos autores. Esse tipo de revisão é frequentemente utilizado para embasar teoricamente trabalhos acadêmicos, como artigos, dissertações, teses e trabalhos de conclusão de curso.

De acordo com Silva e Oliveira (2021), a revisão narrativa não utiliza critérios rígidos para a busca de dados, o que pode resultar em uma análise influenciada pela subjetividade do pesquisador. Esse tipo de revisão é mais adequado para abordar temas amplos, sendo menos comum em assuntos muito específicos. Além disso, é frequentemente empregada na fundamentação teórica de trabalhos acadêmicos, como trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações.

4.6.2 Revisão integrativa

Segundo Mendes, Silveira e Galvão (2008), a revisão integrativa mantém o rigor metodológico das revisões sistemáticas, exigindo clareza na descrição da metodologia e dos resultados obtidos. Isso permite que o leitor compreenda os processos e as características do estudo, minimizando as incertezas relacionadas às práticas adotadas. No entanto, diferentemente das revisões sistemáticas, a revisão integrativa oferece maior liberdade para que o autor expresse suas opiniões. Essa abordagem é versátil e pode ser utilizada para diversos fins, como a definição de conceitos, a revisão de teorias e a análise de metodologias de estudos.

De acordo com Souza, Silva e Carvalho (2010), a revisão integrativa é uma abordagem metodológica que permite combinar estudos com diferentes desenhos de pesquisa, como estudos experimentais e não experimentais, integrando seus resultados de forma abrangente. Por sua natureza flexível e inclusiva, essa modalidade de revisão é considerada uma das mais

amplas, possibilitando uma análise detalhada e uma compreensão mais completa dos dados investigados.

4.6.3 Revisão sistemática

Para (CORDEIRO, OLIVEIRA, RENTERÍA, 2007, p. 429), a respeito das revisões sistemáticas, pode-se dizer que estas são caracterizadas por sua rigorosidade durante a busca e a análise dos dados. GALVÃO e PEREIRA (2014) comentam que para esse tipo de revisão, o foco consiste nas questões específicas e bem definidas e por isso, é muito utilizado para tomadas de decisões em gestões públicas, práticas clínicas e em evidências científicas.

A relevância da pesquisa está associada ao fato de que a revisão bibliográfica sistemática visa confirmar a efetividade de intervenções, frequentemente por meio de estudos experimentais, como os estudos randomizados controlados. Isso garante que a indicação de um tratamento, como um medicamento ou terapia, seja mais segura, dado que a probabilidade de sucesso é alta (EVANS; PEARSONS, 2001; GREEN; BRITTEN, 1998).

5 METODOLOGIA

Este trabalho adota a revisão sistemática da literatura como método de pesquisa. Segundo Greenhalgh (1997), a revisão sistemática caracteriza-se como uma síntese de estudos primários conduzida mediante objetivos, materiais e métodos claramente explicitados, seguindo uma metodologia reprodutível. Esta abordagem foi selecionada por permitir uma análise crítica e abrangente do conhecimento produzido sobre o tema, identificando tendências, lacunas e consolidando evidências acerca da legislação, riscos e aspectos técnicos da disposição de rejeitos em barragens a montante no Brasil.

Em comparação com outras modalidades, como a revisão narrativa ou integrativa, a sistemática confere maior rigor ao processo de busca, seleção e análise do material, alinhando-se ao objetivo de mapear e sintetizar o estado da arte de forma estruturada e imparcial.

5.1 Estratégia de Busca e Seleção das Fontes

A coleta do material bibliográfico foi realizada por meio de uma estratégia de busca orientada por conceitos-chave relacionados ao objeto de estudo. Os eixos centrais que guiaram a pesquisa foram:

- Barragens de rejeitos.
- Método de alteamento a montante.
- Segurança, estabilidade e riscos.
- Legislação e marco regulatório brasileiro.

Com base nesses eixos, foram realizadas buscas nas seguintes plataformas e bases de dados, consideradas de grande relevância para as áreas de Engenharia de Minas, Geotecnia e Direito Ambiental:

- Google Acadêmico
- Portal de Periódicos CAPES
- SciELO (Scientific Electronic Library Online)

Para garantir a atualidade da revisão, delimitou-se um recorte temporal prioritário para publicações dos últimos 10 anos (2015-2025), com ênfase especial no período posterior aos desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), momento de significativas mudanças na legislação. No entanto, marcos regulatórios históricos e obras clássicas fundamentais para a contextualização do tema também foram considerados, independentemente da data.

A busca combinou termos em português e inglês de forma flexível, utilizando operadores booleanos básicos (AND, OR) quando suportados pelas plataformas. Exemplos de combinações de termos utilizadas incluem:

- "barragem de rejeitos" AND "a montante" AND legislação
- "Upstream tailings dam" AND safety AND Brazil
- "Política Nacional de Segurança de Barragens"

Além das buscas sistemáticas, adotou-se a técnica de "rastreamento de referências" (snowballing), na qual as listas de referências dos artigos e documentos mais relevantes identificados foram analisadas para capturar fontes adicionais pertinentes que eventualmente não tenham sido recuperadas na busca inicial.

5.2 Critérios de Elegibilidade

Para a seleção final do corpus de análise, foram estabelecidos os seguintes critérios:

Critérios de Inclusão:

- Artigos científicos completos, dissertações, teses, livros e capítulos de livros.
- Documentos oficiais, como leis, decretos, resoluções e relatórios de agências reguladoras (ANM, ANA).
- Publicações em português ou inglês.
- Estudos que abordassem diretamente barragens de rejeitos, o método a montante, sua segurança, riscos associados ou o arcabouço legal brasileiro.

Critérios de Exclusão:

- Publicações sem acesso integral ao texto.
- Artigos de opinião ou notícias de jornal não baseadas em pesquisa científica (embora reportagens sobre os desastres tenham sido usadas para contextualização).
- Trabalhos que focam exclusivamente em outros tipos de barragens (ex.: de água para geração de energia) sem estabelecer relação com barragens de rejeito.

5.3 Processo de Análise e Síntese

A seleção e análise do material bibliográfico seguiram um processo iterativo, composto pelas seguintes etapas:

1. Identificação e Triagem Inicial: Os resultados das buscas nas plataformas mencionadas foram submetidos a uma triagem inicial com base na leitura de títulos e resumos. O objetivo desta etapa foi filtrar e selecionar apenas os trabalhos que apresentavam potencial

relevância direta para os objetivos desta pesquisa, descartando aqueles claramente fora do escopo (ex.: estudos sobre barragens de hidrelétricas sem menção a rejeitos).

2. **Leitura Integral e Seleção Final:** Os materiais considerados potencialmente relevantes na etapa anterior foram submetidos a uma leitura na íntegra. Esta fase permitiu uma avaliação aprofundada do conteúdo, confirmando a sua adequação aos critérios de elegibilidade e a real contribuição para a fundamentação teórica e analítica do trabalho. A seleção final do corpus de análise foi, portanto, guiada pela pertinência e pela qualidade dos argumentos encontrados na literatura, priorizando-se fontes robustas, como artigos científicos revisados por pares, teses, dissertações e documentos oficiais de agências reguladoras.
3. **Análise Qualitativa e Síntese:** Os documentos selecionados foram analisados de forma qualitativa. O processo envolveu a categorização dos conteúdos em eixos temáticos pré-definidos – como "Evolução Legislativa", "Riscos Geotécnicos do Método a Montante" e "Impactos Socioambientais" – que orientaram a estruturação dos capítulos de Fundamentação Teórica e de Análise dos Resultados. A síntese consistiu na interpretação crítica do material, buscando identificar convergências, divergências, lacunas no conhecimento e a relação entre os diferentes aspectos abordados, de modo a construir uma visão integrada e atualizada sobre a problemática em estudo.

Tabela 1 – Etapas do processo de busca, seleção, análise e síntese das fontes

Fase	Ação	Descrição/detalhamento	CrITÉrios/decisão
Planejamento	Definição dos Eixos Norteadores	Estabelecimento dos conceitos-chave da pesquisa: barragens de rejeitos; alteamento a montante; segurança, estabilidade e riscos; legislação brasileira.	-
	Definição da Estratégia de Busca	Fontes: Google Acadêmico, Portal CAPES, SciELO. Recorte temporal: 2015–2025 (pós-Mariana). Idiomas: português e inglês. Técnica complementar: rastreamento de referências (snowballing).	-
Identificação e seleção	Busca Inicial e Triagem por Título/Resumo	Aplicação dos conceitos-chave nas bases de dados, com triagem inicial dos resultados.	Inclusão de estudos alinhados ao objetivo. Exclusão dos fora do escopo.
	Leitura Integral e Aplicação dos Critérios	Leitura completa dos artigos selecionados na triagem.	Inclusão de artigos, teses e documentos oficiais. Exclusão de textos indisponíveis ou opinativos.
Análise & síntese	Análise Qualitativa e Categorização	Análise dos documentos finais e agrupamento em categorias temáticas.	Categorias: legislação; riscos geotécnicos; impactos socioambientais.
	Interpretação e Síntese dos Resultados	Interpretação crítica para identificar tendências, lacunas e relações entre os temas.	Construção de visão integrada e atualizada da problemática, fundamentando o capítulo de Resultados e Discussão.

6 RESULTADOS

A revisão sistemática da literatura permitiu consolidar um panorama crítico sobre a evolução legislativa, os impactos nas práticas de segurança e os desafios remanescentes associados à disposição de rejeitos em barragens a montante no Brasil. Os resultados são organizados para responder diretamente aos objetivos propostos, articulando as evidências encontradas.

6.1 Análise da Evolução Legislativa e seu Impacto

A revisão sistemática demonstrou que a legislação brasileira sobre segurança de barragens passou por uma transformação radical, evoluindo de um marco inicial insuficiente – a Lei nº 12.334/2010 (PNSB) – para um regramento robusto e específico pós-2015. A análise histórica identificou que a Resolução ANM nº 13/2019 foi o ponto de inflexão direto aos desastres, proibindo novas barragens a montante. Este normativo foi consolidado pela Resolução ANM nº 95/2022, que ampliou o escopo da PNSB, institucionalizou a gestão de riscos (PGRBM), elevou as exigências técnicas (como monitoramento automatizado) e fortaleceu a transparência via SIGBM. Conforme dados da ANM (2025), essa evolução legislativa impactou diretamente o parque de barragens, reduzindo o número de estruturas a montante cadastradas de 74 (2019) para 46 (2025).

As principais mudanças que a criação da lei trouxe foram a implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, o Sistema de Classificação de Barragens de acordo com o Risco - CRI e Dano Potencial Associado - DPA, a criação do Plano de Segurança de Barragens - PSB, do Sistema de Informações Sobre Segurança de Barragens - SNISB, do Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente - SINIMA e do Relatório de Segurança de Barragens – RSB, de acordo com o Reporte Trimestral Descaracterização de Barragens a Montante da ANM de fevereiro de 2022.

Ao longo dos anos, foram publicadas pelo órgão fiscalizador as Resoluções nº 143/2012 e 144/2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Mais tarde, a Portaria DNPM nº 70.389/2017 constituiu a normatização para o tema e estabeleceu critérios que deveriam ser seguidos por aqueles que desempenhavam papel no empreendedorismo mineral, de acordo com o relatório trimestral "Descaracterização de Barragens a Montante" (fevereiro de 2022). A Portaria DNPM nº 70.389/2017 estabeleceu algumas importantes evoluções, como por exemplo a especificação do conteúdo mínimo do PSB, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem-RPSB, do Plano de Ação de Emergência para

Barragens de Mineração – PAEBM e a criação do Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM.

Em 2019, por meio da Resolução ANM nº 4/2019, foi proibida a utilização da disposição de rejeito em barragens a montante devido aos acidentes ocorridos em Brumadinho (MG) e Mariana (MG), mais tarde essa resolução foi sobreposta pela Resolução ANM nº 13/2019. De acordo com o Report Trimestral "Descaracterização de Barragens a Montante" (fevereiro de 2022), "Além de proibir a construção de novas barragens a montante, visando minimizar o risco de rompimento, especialmente por liquefação, o Art. 8º do referido normativo exigiu o descomissionamento e a descaracterização das estruturas já existentes construídas por tal método, assim como estabeleceu os prazos para elaboração e conclusão dos projetos de descaracterização."

Conforme o Artigo 8º da Resolução ANM nº 13/2019, foi estabelecido que o empreendedor era obrigado a tomar as seguintes medidas para minimizar o risco de rompimento das barragens a montante:

- Até 15 de dezembro de 2019, concluir a elaboração do projeto técnico executivo de descaracterização da estrutura.
- Até 15 de setembro de 2021, concluir as obras do sistema de estabilização da barragem existente ou a construção de nova estrutura de contenção situada à jusante.
- Concluir a descaracterização da barragem até os prazos estipulados, conforme o volume da barragem.

De acordo com as alterações trazidas pelo Artigo 15 da Resolução ANM nº 13/2019, à Portaria DNPM nº 70.389/2017, uma nova redação foi estabelecida. Destaca-se que o inciso VIII do Artigo 2º da Portaria agora define o conceito de barragem de mineração descaracterizada e estabelece um processo evolutivo mínimo de etapas de descaracterização. Segundo essa definição, uma barragem de mineração descaracterizada é uma estrutura que não recebe, de forma permanente, rejeitos ou sedimentos provenientes de sua atividade principal. O processo de descaracterização envolve etapas como descomissionamento, controle hidrológico e hidrogeológico, estabilização e monitoramento, visando garantir a segurança e estabilidade da estrutura a longo prazo (Resolução ANM nº 13/2019, Portaria DNPM nº 70.389/2017).

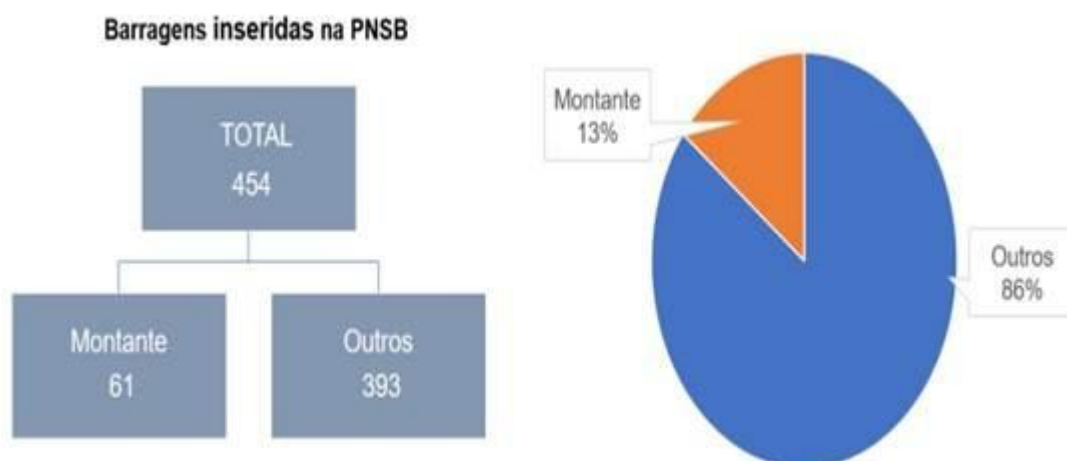
Essa evolução culminou na Resolução ANM nº 220/2025, que consolida e atualiza as normas anteriores, alinhando-se à Resolução CNRH nº 241/2024, e estabelece medidas regulatórias abrangentes para barragens de mineração, incluindo empilhamentos drenados suscetíveis à liquefação. A norma define conceitos chave como acidente, anomalia, área de inundação, categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA), e reforça vedações como

a proibição de métodos construtivos a montante, de novas barragens com comunidades na Zona de Autos Salvamento (ZAS) e de instalações administrativas ou de vivência nessa zona. Além disso, impõe requisitos para cadastramento no SIGBM, critérios técnicos para construção, operação e descaracterização, com ênfase em monitoramento automatizado para estruturas de alto risco, fatores de segurança geotécnica e hidráulica, e obrigações para o Plano de Segurança de Barragem (PSB) e o Plano de Ação de Emergência (PAEBM). A resolução entra em vigor progressivamente a partir de abril de 2027, revogando normativas anteriores em agosto do mesmo ano, promovendo uma abordagem mais integrada e preventiva à gestão de riscos.

6.2 Diagnóstico das barragens de rejeito no Brasil

Os dados do Cadastro de Barragens de Mineração no SIGBM indicam que, desde 2019, houve uma redução no número de barragens cadastradas como alteadas pelo método construtivo a montante. Em 2019, havia 74 estruturas cadastradas nessa categoria, enquanto atualmente existem 61 barragens de mineração construídas por esse método e enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Esse número representa cerca de 13% do total de 454 barragens inseridas na PNSB, como mostra a figura 7.

Figura 7 - Gráfico de distribuição de barragens no Brasil registradas no PNSB 2022



Fonte: Reporte Trimestral da ANM, 2022.

No ano de 2024 a quantidade de barragens com disposição a montante registradas no PNSB (Política Nacional de Segurança de Barragens) apresentou uma leve diminuição, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Gráfico de distribuição de barragens no Brasil registradas no PNSB

Fonte: Reporte Trimestral da ANM, 2024

Segundo o relatório trimestral da ANM de abril de 2024, Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior número de barragens a montante, totalizando 33 estruturas. Em seguida, estão os estados de Rondônia e Bahia, cada um com 4 barragens, seguidos por Pará e Goiás, com 3 barragens cada. Rio Grande do Sul e São Paulo contam com 2 estruturas cada, enquanto Mato Grosso do Sul possui apenas 1 barragem. Na figura 9, é possível conferir um mapa que ilustra essa divisão por estado de acordo com a quantidade de barragens deste tipo.

Figura 9 - Gráfico de distribuição de barragens a montante de acordo com os estados em 2024



Fonte: Reporte Trimestral da ANM, 2024.

No ano de 2022, de acordo com o Reporte Trimestral da ANM, existiam ainda 61 barragens com disposição a montante registradas no SIGBM, como mostra a figura 10.

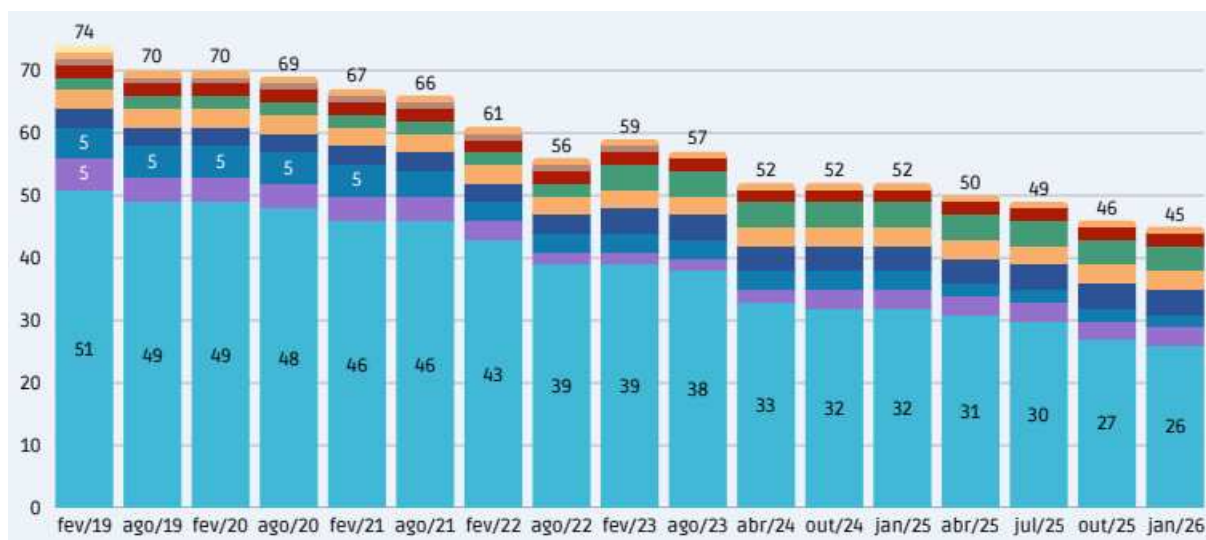
Figura 10 - Gráfico de distribuição de barragens a montante de acordo com os estados em 2022.



Fonte: Reporte Trimestral da ANM, 2022)

De acordo com o Plano Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), desde o final de 2021 até abril de 2024, as barragens com disposição à montante estão distribuídas da seguinte forma, de acordo com seu Nível de Emergência (N.E.), como mostra a figura 11.

Figura 11 - Gráfico de distribuição de barragens a montante de acordo com os estados



Fonte: Reporte Trimestral da ANM, 2026.

Conforme o relatório trimestral, 3 barragens a montante inseridas na PNSB estavam classificadas em Nível de Emergência (N.E.) 3, 4 barragens em N.E. 2 e outras 13 em N.E. 1, e, portanto, com redução de 1 estrutura em N.E. 2 e incremento de 3 estruturas em N.E. 1 desde o último reporte. Além disso, 5 estruturas se encontravam em nível de alerta, com redução de 5 barragens em relação ao período anterior avaliado. 27 barragens não apresentavam nível de emergência" (Relatório trimestral de abril de 2024, p. 11).

6.3 Impactos decorrentes dos acidentes de Mariana e Brumadinho

Após os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ocorridos no Quadrilátero Ferrífero, região que concentra grande parte da produção brasileira de minério de ferro e significativa densidade populacional, o marco regulatório da mineração passou por importantes revisões tanto no âmbito federal quanto estadual. Esses eventos expuseram fragilidades históricas no modelo de produção mineral brasileiro, especialmente no que diz respeito à construção e ao monitoramento de barragens de rejeitos pelo método de alteamento a montante, além da insuficiência de mecanismos preventivos e de resposta rápida a emergências (Castro, 2021).

Em Mariana, o rompimento da barragem do Fundão (Samarco) liberou cerca de 43 milhões m³ de rejeitos, percorrendo aproximadamente 663 km até o mar no Espírito Santo e contaminando a bacia do Rio Doce (Souza, 2018; Governo Federal, 2024). Isso resultou em impactos ambientais como contaminação de lençóis freáticos, assoreamento de rios, diminuição de colheitas agrícolas e elevados níveis de metais tóxicos, incluindo ferro (até 1.366.666% acima do tolerável para tratamento), alumínio, manganês, arsênio, chumbo e cromo, com riscos de longo prazo como alterações fisiológicas em fauna e flora (Souza, 2018). A magnitude da devastação é ilustrada na Figura 12, que captura a lama de rejeitos invadindo comunidades e o relevo montanhoso, destacando a perda imediata de biodiversidade e estruturas habitacionais.

Figura 12 - Vista aérea da devastação causada pelo rompimento da barragem do Fundão, em Mariana (MG), em 2015, com rejeitos cobrindo vilarejos e o vale do Rio Doce. Fonte: Senado Federal (2020).



Fonte: Senado Federal (2020).

No contexto específico de Brumadinho, o rompimento da barragem gerou impactos ambientais profundos, como a redução da qualidade da água superficial e subterrânea, com contaminação que levou à suspensão do uso de poços em até 100 metros do Rio Paraopeba e restrições para irrigação, piscicultura e pecuária. Houve assoreamento de corpos hídricos,

intensificação de processos erosivos, alterações no relevo e nas características do solo, além de piora na qualidade do ar. Em termos de biodiversidade, observou-se perda de flora e fauna, fragmentação de habitats, redução de populações silvestres, interferência em áreas protegidas e diminuição de serviços ecossistêmicos, como polinização e estoques pesqueiros. Para a biota aquática, ocorreram mudanças na produtividade primária, teias tróficas, bioacumulação de contaminantes e perda de habitats, enquanto na biota terrestre destacam-se a perda de bancos de sementes, desregulação fisiológica e alteração de comunidades. Esses efeitos demandaram planos de reparação, incluindo estudos para monitoramento de água, solo, biodiversidade e ar, com o objetivo de restauração ambiental.

Os impactos sociais foram igualmente graves em ambos os casos, com dispersão e deslocamento de famílias, destruição de espaços simbólicos e patrimônio cultural imaterial, além de mudanças no modo de vida e identidade comunitária, incluindo 19 mortes confirmadas em Mariana (Agência Brasil, 2025). Em Brumadinho, houve dispersão e deslocamento de famílias, com aumento da demanda por serviços públicos de assistência social e elevação significativa nos atendimentos em Centros de Referência de Assistência Social (CRAS) e Centros de Referência Especializados (CREAS) no ano seguinte ao desastre (Minas Gerais, 2024). Problemas de saúde mental e física se agravaram, com maior risco de suicídio, depressão, ansiedade e abuso de substâncias, além de consumo elevado de medicamentos como antidepressivos e ansiolíticos (Minas Gerais, 2024).

Houve também agravamento de riscos para surtos de doenças infecciosas, como dengue (com aumento expressivo de casos prováveis em 2019), leptospirose e arboviroses, associados à contaminação e condições pós-desastre (Minas Gerais, 2024). Na educação, verificou-se desestruturação familiar com impactos na proficiência escolar e redução de matrículas em áreas rurais, devido ao trauma coletivo (Minas Gerais, 2024). A segurança pública registrou aumento em ocorrências policiais, e o patrimônio cultural sofreu danos materiais e imateriais, afetando o senso de pertencimento das comunidades (Minas Gerais, 2024). A extensão da devastação pode ser observada na Figura 13, que retrata a lama de rejeitos invadindo as instalações da mineradora, incluindo o refeitório e áreas administrativas, destacando a violência do evento e os riscos imediatos à vida humana.

Figura 13 - Vista aérea da devastação causada pelo rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), mostrando a lama de rejeitos cobrindo edifícios e veículos.



Fonte: CNN Brasil (2021).

Economicamente, os desastres provocaram rearranjo na dinâmica regional, com perdas estimadas em R\$ 22,26 bilhões no PIB ao longo de cinco anos para Brumadinho, retração de R\$ 4,4 bilhões em remuneração, perda de cerca de 134 mil empregos e queda na arrecadação de R\$ 964 milhões. No setor agropecuário, a produção total caiu 40%, com reduções drásticas em culturas como fruticultura (67%) e milho silagem (88%), impactando especialmente a agricultura familiar, que representa 64% da produção local. O turismo sofreu declínio de até 56% em visitantes em atrativos como o Inhotim, devido ao estigma negativo e à alteração da paisagem, afetando hotéis, restaurantes e atividades de lazer. Em Mariana, as multas ambientais aplicadas foram consideradas insuficientes, com máxima legal de R\$50 milhões por infração e baixa taxa de pagamento (cerca de 1,76%), contrastando com bilhões pagos em casos internacionais como o da BP nos EUA.

No nível federal, a principal alteração foi a aprovação da Lei nº 14.066/2020, que modificou a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB, originalmente instituída pela Lei nº 12.334/2010). Entre as principais mudanças estão a proibição expressa de novas barragens construídas ou alteadas pelo método a montante, a obrigatoriedade de descaracterização dessas estruturas até 2027 (com possibilidade de prorrogação justificada), a exigência de auditorias técnicas independentes e o fortalecimento da responsabilidade dos

empreendedores quanto à elaboração e manutenção do Plano de Ação de Emergência (PAE) (Milanez; Wanderley, 2020).

Em Minas Gerais, estado mais diretamente afetado pelos dois maiores desastres socioambientais da história do país, as respostas legislativas foram ainda mais amplas e detalhadas. A Lei Estadual nº 23.291/2019 instituiu a Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB), seguida pelos Decretos nº 48.078/2020 (que regulamenta a análise e aprovação dos PAEs) e nº 48.140/2021 (que reforça a integração com o Sistema Estadual de Meio Ambiente). Essas normas trouxeram avanços como a classificação mais rigorosa das barragens por categoria de risco e dano potencial associado, a obrigatoriedade de comunicação direta com as comunidades a jusante e a definição de prazos claros para eliminação ou descaracterização de estruturas de alto risco (Pires; Milanez, 2024).

Apesar dos avanços normativos, autores apontam que as mudanças, embora importantes, ainda apresentam limitações significativas. A redução sistemática do orçamento destinado à fiscalização pela Agência Nacional de Mineração (ANM) nos últimos anos compromete a capacidade de monitoramento efetivo, enquanto algumas lacunas legais permitem que empresas continuem operando barragens com risco elevado por períodos prolongados. Além disso, a implementação dos Planos de Ação de Emergência enfrenta dificuldades práticas, sobretudo na comunicação com as comunidades e na articulação institucional entre órgãos federais, estaduais e municipais (Milanez; Wanderley, 2020; Pires; Milanez, 2024).

Em síntese, as alterações legislativas pós-Mariana e Brumadinho representam um passo relevante no sentido de maior controle e prevenção, mas mantêm caráter predominantemente reativo e ainda dependem de maior investimento em fiscalização e de uma mudança estrutural no modelo de gestão de rejeitos da mineração brasileira para que se tornem plenamente efetivas (Castro, 2021).

6.4 Alternativas técnicas seguras e eficazes para a disposição de rejeitos

Em resumo, a revisão da literatura revela que métodos como o alteamento a montante consolidaram-se como fontes de alto risco (Vick, 1983; Soares, 2010), impulsionando a discussão sobre tecnologias inovadoras que reduzam o uso de água e minimizem riscos de liquefação, especialmente após os desastres de Mariana e Brumadinho (Milanez; Wanderley, 2020).

Entre as principais alternativas técnicas comprovadamente mais seguras, destacam-se: os rejeitos filtrados (empilhamento a seco ou "pilhas secas"), que eliminam o risco de liquefação

ao criar depósitos estáveis e insaturados, com reaproveitamento de até 90% da água; a disposição em pasta adensada, que confere maior estabilidade geotécnica e menor consumo hídrico; e a disposição em cava de mina (backfill), que reduz o impacto ambiental ao utilizar cavidades esgotadas para contenção confinada (Carvalho et al., 2018). Essas opções convergem para um consenso na literatura sobre a necessidade de transição urgente do modelo tradicional de rejeitos úmidos, com benefícios em segurança e sustentabilidade de longo prazo.

A adoção prática avançou no Brasil em 2025: a Samarco filtra e empilha a seco cerca de 80% dos rejeitos arenosos gerados, destinando os 20% restantes (ultrafinos) a cava confinada (Samarco Mineração, 2025; Tribuna Online, 2025); a Vale alcança aproximadamente 70% de processamento a seco ou com umidade natural, combinado com filtragem e empilhamento a seco em operações chave (Vale, 2022; Reuters, 2019 – meta confirmada em relatórios subsequentes).

A Resolução ANM nº 220/2025 reforça essa tendência ao incluir empilhamentos drenados suscetíveis à liquefação no escopo regulatório de barragens de mineração, exigindo monitoramento, estabilidade geotécnica e alinhamento com boas práticas internacionais.

Apesar desses avanços, lacunas persistem, como a ausência de regulamentação federal específica para pilhas a seco (agenda ANM 2025-2026) e limitações na capacidade de fiscalização da ANM devido a cortes orçamentários (Banco Mundial, 2022). Sob perspectiva internacional, relatórios enfatizam planejamento resiliente e inclusão comunitária para mitigar vulnerabilidades em países em desenvolvimento (ONU-Habitat, 2024).

Esses desafios demandam inovações técnicas integradas a fiscalização robusta e cooperação internacional para uma gestão proativa de riscos.

6.5 Oportunidades de melhoria nas elaborações e aplicação de leis

A revisão da literatura e das normas vigentes revela que, apesar dos avanços legislativos pós-Mariana e Brumadinho – como a proibição de barragens a montante, obrigatoriedade de descaracterização e fortalecimento do monitoramento via Resolução ANM nº 220/2025 –, persistem lacunas na elaboração e aplicação de leis que comprometem a efetividade da gestão de rejeitos.

Principais oportunidades de melhoria incluem o fortalecimento da capacidade fiscalizatória da Agência Nacional de Mineração (ANM), que enfrenta restrições orçamentárias significativas em 2025, resultando na redução de vistorias em barragens e ausência de recursos para inspeções emergenciais. Outra prioridade é a regulamentação federal específica para pilhas de rejeitos a seco e empilhamentos drenados – incluídos no escopo regulatório da Resolução nº

220/2025, mas ainda sem critérios detalhados de segurança, com projeto previsto na agenda regulatória da ANM para 2025-2026.

Adicionalmente, recomenda-se maior alinhamento pleno ao Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM), com implementação completa até agosto de 2025 para estruturas remanescentes, promovendo auditorias independentes e inclusão comunitária. Incentivos fiscais ou econômicos para adoção de tecnologias secas, maior integração entre ANM e órgãos ambientais estaduais, e elevação de multas para níveis comparáveis a padrões internacionais (contrastando com limitações atuais, onde valores máximos são insuficientes frente a impactos bilionários) também representam caminhos para aprimoramento.

Essas medidas demandam abordagem proativa, com aumento de recursos institucionais e participação social, para superar o caráter reativo das normas atuais e garantir sustentabilidade na disposição de rejeitos.

6.6 Síntese Conclusiva

A revisão sistemática dos resultados evidencia avanços significativos na gestão de barragens de rejeitos de mineração no Brasil, impulsionados pelas tragédias de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), que expuseram impactos ambientais devastadores – como contaminação de rios por centenas de quilômetros, perda de biodiversidade e elevados níveis de metais tóxicos – e sociais profundos, incluindo mortes, deslocamentos forçados, adoecimento crônico e prejuízos econômicos bilionários.

A evolução legislativa, culminando na Resolução ANM nº 220/2025, consolidou proibições ao método a montante, obrigatoriedade de descaracterização (reduzindo estruturas de 74 em 2019 para 46 em 2025) e requisitos mais rigorosos de monitoramento e estabilidade, alinhando-se parcialmente a padrões internacionais. Paralelamente, alternativas técnicas seguras ganharam tração, com adoção crescente de empilhamento a seco (cerca de 80% na Samarco e 70% na Vale), pasta adensada e disposição em cava, promovendo menor risco de liquefação e sustentabilidade hídrica.

Apesar desses progressos, desafios operacionais e regulatórios persistem: limitações orçamentárias na fiscalização da ANM, ausência de normas federais específicas para pilhas a seco (agenda 2025-2026), multas insuficientes comparadas a casos globais e caráter ainda reativo das políticas. Oportunidades de melhoria incluem fortalecimento institucional, incentivos à inovação tecnológica, maior inclusão comunitária e alinhamento pleno ao GISTM/ICMM.

Em perspectiva comparada com países como Canadá e Austrália, o amadurecimento do sistema brasileiro depende de transição proativa para modelos de baixo impacto, com integração entre segurança geotécnica e licenciamento ambiental, garantindo que a mineração contribua para o desenvolvimento sustentável sem repetir tragédias socioambientais. Assim, o presente estudo reforça a urgência de políticas integradas que priorizem prevenção, reparação efetiva e responsabilidade compartilhada para um futuro mais seguro na disposição de rejeitos.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral propor diretrizes para o aprimoramento das políticas de segurança baseadas na análise de riscos da disposição de rejeitos em barragens a montante no Brasil. Para tanto, executou-se uma revisão sistemática da literatura que permitiu o cumprimento dos objetivos específicos traçados, conduzindo às seguintes conclusões:

Em atendimento ao primeiro objetivo específico, examinou-se a evolução da legislação brasileira, constatando-se uma transformação radical no marco regulatório pós-2015. A normativa evoluiu de um regramento genérico (Lei nº 12.334/2010) para um sistema robusto e específico, materializado nas Resoluções ANM nº 13/2019 e nº 95/2022, que proibiram o método a montante e instituíram um regime de gestão de riscos, monitoramento rigoroso e transparência de dados.

No diagnóstico atual das barragens de rejeitos no Brasil em dezembro de 2025, observa-se redução significativa das estruturas alteadas a montante, de 74 em 2019 para **46** (conforme declaração oficial da ANM em novembro de 2025), com avanços na descaracterização e consolidação pela Resolução ANM nº 220/2025, que ampliou o escopo regulatório incluindo empilhamentos drenados e reforçando critérios de estabilidade, emergência e alinhamento com boas práticas internacionais (ANM, 2025a; ANM, 2025b).

Identificaram-se e descreveram-se os impactos ambientais e sociais decorrentes de acidentes, os quais se revelaram de extrema gravidade e de longa duração. A devastação de ecossistemas, a contaminação de recursos hídricos e os profundos traumas sociais, como a perda de vidas e o deslocamento de comunidades, evidenciaram a imperiosa necessidade da mudança legislativa analisada.

Por outro lado, investigaram-se alternativas técnicas seguras, verificando-se que a proibição legal catalisou a adoção de métodos como o alteamento a jusante e por linha de centro, bem como o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, a exemplo da disposição de rejeitos filtrados ("pilhas secas") e em pasta. Tais alternativas, embora com custos iniciais superiores, representam um ganho substantivo em segurança e sustentabilidade de longo prazo.

Em síntese, conclui-se que o Brasil deu um passo decisivo e necessário ao estabelecer um arcabouço legal moderno e alinhado com as melhores práticas internacionais. No entanto, a efetividade desta política pública esbarra em desafios operacionais e institucionais críticos. Portanto, como diretrizes para o aprimoramento das políticas, recomenda-se o fortalecimento da capacidade de fiscalização da ANM, a criação de mecanismos de suporte técnico e financeiro para a descaracterização de barragens remanescentes e a promoção de uma integração mais

efetiva entre os processos de segurança de barragens e o licenciamento ambiental. Para estudos futuros, sugere-se o monitoramento da implementação dessas diretrizes e a análise econômica detalhada da transição para as novas tecnologias. Espera-se que este trabalho tenha contribuído para a compreensão desta complexa problemática, elucidando a relação entre marco regulatório, inovação tecnológica e a busca pela segurança socioambiental na atividade mineradora.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Desastre de Mariana completa 10 anos e moradores ainda buscam justiça. Brasília, DF: Agência Brasil, 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/direitos-humanos/noticia/2025-11/desastre-de-mariana-completa-10-anos-e-moradores-ainda-buscam-justica>. Acesso em: 26 dez. 2025.

ANA. Relatório anual sobre Segurança de Barragens. Brasília, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas. Relatório de segurança de barragens em 2023. Brasília, 2024. Disponível em: file:///C:/Users/alexa/Downloads/rsb_2023_2024_06_27_11_01_28.pdf. Acesso em: 22 fev, 2025.

ANM. Cai para 38 o número de barragens interditadas pela ANM. Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/noticias/cai-para-38-o-numero-debarragens-interditadas-pela-anm>>, Acesso em: 18 jun. 2024.

ANM. Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Brasil, 2019.

ANM. Segurança de barragens focada nas barragens construídas ou alteadas pelo método a montante, além de outras especificidades referentes. Brasil, 2019.

ANM. Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019. Estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido. Brasília, 2019.

ANM. Resolução nº 220, de 16 de outubro de 2025. Estabelece a disciplina aplicável às barragens de mineração. Brasília, DF: ANM, 2025.

ANTONINO, Lucas Zenha. Territórios Extrativo-Mineral na Bahia: Violações de Direitos e Conflitos nos Territórios Terra-Abrigo. 2019. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador.

ARAUJO, C. B. Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 133 p. 2006.

ÁVILA, J. Barragens de rejeitos no Brasil. Comitê brasileiro de barragens. Belo Horizonte, MG, 2012.

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

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Reporte Trimestral Descaracterização de Barragens a Montante. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-de-barragens-de-mineracao/arquivos/nota_tecnica_2022_descaracterizacao_publicacao_3.pdf>. Acesso em: 16 de abril 2024.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Resolução ANM nº 13/2019, de 2019. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=RES&numeroAto=00000013&seqAto=000&valorAno=2019&orgao=ANM/MME&cod_modulo=351&cod_menu=6675#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%2013%2F2019%20ANM%2FMME%20%2D%20ANMlegis&text=Estabelece%20medidas%20regulat%C3%B3rias%20objetivando%20assegurar,desconhecido%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Resolução Nº 95, de 07 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os procedimentos para concessão de licenças ambientais em áreas de mineração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 fev. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2024.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Relatório trimestral de abril de 2024. Brasília: Agência Nacional de Mineração, 2024. 11 p.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei n.º 1.181-C, de 2003. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2003. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=429D3E84E2EA6B2444B032FCC1D91391.node1?codteor=143353&filename=Avulso+-PL+1181/2003>. Acesso em: 16 abr de 2024.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projetos tentam prevenir desastres causados por secas e enchentes. 2014. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/437439-projetos-tentam-prevenir-desastres-causados-por-secas-e-enchentes/>. Acesso em: 10 mai, 2024.

BRASIL. Decreto Federal n. 1.985, de 29 de março de 1940. Normas políticas e jurídicas para o setor de mineração.

BRASIL. Decreto Federal n. 227, de 28 de fevereiro de 1967. Normas políticas e jurídicas para o setor da mineração.

BRASIL. Decreto Federal n. 24.642, de 10 de julho de 1934. Normas políticas e jurídicas para o setor de mineração.

BRASIL. Decreto -Lei nº1985, de 29 de janeiro de 1940. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Brasil.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Anuário Mineral Brasileiro 2021. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/publicacao/anuario-mineral-brasileiro>>. Acesso em: 15 de abr, 2024.

BRASIL DNPM. Mineração no Brasil – Guia do investidor. 2000. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/guia2000.htm>. Acesso em: 15 abr, 2024.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: 24 fev, 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 20 fev. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. 2018. Histórico da Mineração Brasileira. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/documents/36108/439734/Linha_do_tempo.pdf/. Acesso em: 10 mai, 2024.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), para proibir a construção ou o alteamento de barragens de mineração pelo método a montante e para determinar prazos para a descaracterização das barragens já existentes ou alteadas por esse método. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1º out. 2020. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm >. Acesso em: 10 de jun. de 2024.

BRASIL. Segurança de barragens focada nas barragens construídas ou alteadas pelo método a montante, além de outras especificidades referentes. Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/noticias/nota-explicativa-sobre-temade-seguranca-de-barragens-focado-nas-barragens-construidas-ou-alteadas-pelo-metodo-a-montante-alem-de-outras-especificidades-referentes>> Acesso em: 12 jun, 2024. CAMPOS, Nathalia Neves; POZNYAKOV, Karolina. A gestão de riscos em barragens de rejeitos no Brasil. Boletim do Gerenciamento, v. 22, n. 22, p. 53-66, 2021.

BRK AMBIENTAL. A importância das barragens para a sociedade e a comunidade no entorno. 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/importancia-das-barragens/>. Acesso em: 22 fev, 2025.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini. Barragens de rejeito de mineração: considerações gerais e aspectos geotécnicos. 2019.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; REGIS, R. D. D.; MEIRELLIS, T. L. Sustentabilidade socioambiental da mineração. BNDES Setorial 47, p. 333-390, 2018.

CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Desastres de Mariana e Brumadinho: o que aprendemos ou deixamos de aprender? Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 31, n. especial 1, p. 196-207, 2021.

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

CBDB. Apresentação das barragens. Disponível em: <https://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens>. Acesso em: 22 fev, 2025.

CBDB. Comunicação pessoal, tratando de projeto de lei sobre segurança de barragens. São Paulo, 2004.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM). Gestão de rejeitos de mineração: aspectos técnicos e ambientais. [S. l.], 2010. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2025.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. Teoria e prática do tratamento de minérios: flotação de minérios. 5. ed. São Paulo: Signus Editora, 2015.

CNN BRASIL. Brumadinho: tragédia faz 2 anos sem barragens desativadas e com disputa jurídica. São Paulo: CNN Brasil, 2021. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brumadinho-tragedia-faz-2-anos-sem-barragens-desativadas-e-com-disputa-juridica/>. Acesso em: 20 out. 2025.

CORDEIRO, Alexander Magno; OLIVEIRA, Glória Maria de; RENTERÍA, Juan Miguel; GUIMARÃES, Carlos Alberto; GRUPO DE ESTUDO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DO RIO DE JANEIRO (GERS-Rio). Revisão sistemática: uma revisão narrativa. [S. l.] [2007]. Disponível em: [file:///C:/Users/alexa/Downloads/Revisão Sistemática Uma revista narrativa.pdf](file:///C:/Users/alexa/Downloads/Revisão%20Sistemática%20Uma%20revista%20narrativa.pdf). Acesso em: 15 fev. 2025.

COSTA, Diego Geraldo da. Disposição de rejeitos de mineração: tecnologias convencionais e alternativas. 2018. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: Acesso em: 20 nov. 2025.

DAVIES, M.P.; RICE, S. An alternative to conventional tailing management – dry stack filtered tailings. *Internacional Conference on Tailings and Mine Waste, Fort Collins*, n. 8, p. 441-422, 2001.

DAVIES, M. P. Tailings impoundment failures: are geotechnical engineers listening? *Geotechnical News, Waste Geotechnics*, p. 31-36, set, 2002.

DE SOUSA, M. M. Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 129 p. 2013.

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY (DME). *Guidelines on the Safe Design and Operating Standards for Tailings Storage*. Western Australia, 1999.

ENGELS, J. An expert management system for surface tailings storage. Tese de Doutorado. University of Leeds, Reino Unido, 2006.

EVANS, D.; PEARSON, A. Systematic reviews: gatekeepers of nursing knowledge. *Journal of Clinical Nursing*, Oxford, v. 10, n. 5, p. 593–599, Sep. 2001.

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS (FCA) – UNESP. Tipos de revisão de literatura. [S. l.], [2015]. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura.pdf>. Acesso em: 16 de fev. 2025.

FIGUEIREDO, M. M. Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração Casa de Pedra – Congonhas/MG. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 118 p. 2007.

FONSECA, Pedro C. D. Do progresso ao desenvolvimento no Brasil. In: BASTOS, Pedro P. Z. FONSECA, Pedro C. D. A era Vargas: Desenvolvimento, economia e sociedade. São Paulo: Editora Unesp, 2012. p. 51-68.

GOVERNO FEDERAL. Governo Federal assina acordo da ordem de R\$ 132 bilhões com empresas envolvidas na tragédia de Mariana. Brasília, DF: Planalto, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/novo-acordo-do-rio-doce/noticias-relacionadas-1/governo-federal-assina-acordo-da-ordem-de-r-132-bilhoes-com-empresas-envolvidas-na-tragedia-de-mariana>. Acesso em: 27 dez. 2025.

GREEN, J.; BRITTEN, N. Qualitative research and evidence-based medicine. *British Medical Journal*, London, v. 316, n. 7139, p. 1230-1232, apr. 1998.

GREENHALGH, Trisha. Papers that summarise other papers (systematic reviews and meta-analyses). *BMJ*, London, v. 315, n. 7109, p. 672-675, 13 Sept. 1997. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/315/7109/672>. Acesso em: 21 de jul. 2025.

GUIMARÃES, N. C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 114 p. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Gestão e manejo de rejeitos da mineração. 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/alexa/Downloads/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/alexa/Downloads/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016%20(1).pdf). Acesso em: 20 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Informações sobre a Economia Mineral Brasileira. Brasil, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Mineração em números 2023**. [S. l.]: IBRAM, 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ICME. An Introduction to Tailings. Case Studies on Tailings Management. International Council on Metals and the Environment (ICME). Ottawa, Canadá, 1998.

ICOLD. Tailings Dams. Risk of dangerous occurrences: lessons learnt from practical experiences. International Commission on Large Dams. Bulletin 121. 144 p, Jaouhara, 2008.

INGRAM, L.; HUSSEY, J.; TIGANI, M.; HEMMELGARN, M. Writing a literature review and using a synthesis matrix. Disponível em: Acesso em: 09 dec. 2025.

Jornal Nacional. Tempestades no Brasil ficaram muito mais fortes e frequentes nos últimos dois anos. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2023/02/21/tempestades-no-brasil-ficaram-muito-mais-fortes-e-frequentes-nos-ultimos-dois-anos.ghtml>. Acesso em: 10 mai, 2024.

LIMA, L. M. K. Retroanálise da formação de um depósito de rejeitos finos de mineração construído pelo método subaéreo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 90 p. 2006.

LOZANO, F. A. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica. 2006. Dissertação de mestrado (Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. (Ed.). Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2010. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/476/4/tratamento-de-minerios-5-edicao.pdf>.

Acesso em: 28 dez. 2025.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto - Enfermagem*, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tce/a/ZQTBkVJZ7WYr7kL5Y9p9QjJ/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

MILANEZ, Bruno; WANDERLEY, Luiz Jardim. O número de barragens sem estabilidade dobrou, “e daí?”: uma avaliação da (não) fiscalização e da nova Lei de (in)Segurança de Barragens. *Versos – Textos para Discussão PoEMAS*, Juiz de Fora, v. 4, n. 4, p. 1-14, 2020.

MINAS GERAIS. Governo do Estado. Diagnóstico inicial de impactos do rompimento. Belo Horizonte: Pró-Brumadinho, 2024. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/diagnostico-inicial-de-impactos-do-rompimento-1>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NEVES, L. P. Segurança de Barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada. Brasília, 2018.

PIRES, Nathacha; MILANEZ, Bruno. Os principais desafios na elaboração e implementação de um plano de ação de emergência de barragem no estado de Minas Gerais (Brasil). *Territorium*, Coimbra, n. 31, v. II, p. 87-99, 2024.

PORTES, A. M. C. Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 150 p. 2013.

POSSAN, Edna. Barragens: aspectos legais, técnicos e socioambientais. 2015. Disponível em: file:///C:/Users/alexa/Downloads/Unidade_10-modulo1.pdf. Acesso em: 22 fev. 2025.

REUTERS. Vale says to invest in technology to reduce need for tailings dams. São Paulo: Reuters, 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-vale-investments/vale-says->

to-invest-in-technology-to-reduce-need-for-tailings-dams-idUSKCN1PV1EV/. Acesso em: 12 dez. 2025.

RIBEIRO, V. Q. Proposta de metodologia para avaliação de rupturas de estruturas de disposição de rejeitos. 2015. Dissertação de Mestrado (Programa de PósGraduação Geotecnia e Transportes), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

ROBINSKY, E. I. Sustainable development in disposal of tailings. Tailings and Mine Waste. Colorado, p. 39-48, 2000.

SAMARCO MINERAÇÃO. Relatório de Administração e Demonstrações Financeiras 2024. Belo Horizonte: Samarco, 2025. Disponível em: <https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2025/03/Relatorio-Administracao-e-DFs-PT-2024.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2025.

SANTOS, D. A. M. Técnicas para a disposição de rejeitos de minério de ferro. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

SANTOS, M.F. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. Revista Eletrônica de Educação, São Carlos: UFScar, v.6, n. 1, p.383-387, 2012.

SANTOS, Laryssa Cortes. Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos. 2019.

SENADO FEDERAL. Catástrofe de Mariana completa 5 anos e senadores cobram punições e reparações. Brasília, DF: Senado Notícias, 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/11/05/catastrofe-de-mariana-completa-5-anos-e-senadores-cobram-punicoes-e-reparacoes>. Acesso em: 24 set. 2025.

SILVA, Ana Paula Moreira da; VIANA, João Paulo; CAVALCANTE, André Luís Brasil. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas*. 2012. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf. Acesso em: 19 fev. 2025.

SOARES, L. Barragens de rejeitos. In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. (Org.). Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2010. cap. 19, p. 831-896.

SOUZA, M. T.; SILVA, M.D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. Einstein, São Paulo. v.8, n.1 p.102-106, 2010.

SOUZA, Talles Jhonattan Elias de. Os impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem em Mariana. [S.l.: s.n.], 2018. 7 p.

TRIBUNA ONLINE. Operações mais seguras sem barragens de rejeito. Vitória: Tribuna Online, 2025. Disponível em: <https://tribunaonline.com.br/especial/especial-samarco/operacoes-mais-seguras-sem-barragens-de-rejeito-275738>. Acesso em: 15 nov. 2025.

VALE S.A. Relato Integrado 2022. Rio de Janeiro: Vale, 2022. Disponível em: https://vale.com/documents/d/guest/vale_relatointegrado2022-br-final. Acesso em: 15 dez. 2025.

VICK, Steven G. Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams. New York: John Wiley & Sons, 1983. p. 75.

VIEIRA JUNIOR, L. P. SALLES, M. F. A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens. Melhores práticas tecnologia do concreto. Concreto & construções. Ano XXXIX nº 63, 2011, 15-23p.

WHITTEMORE, R. Combining evidence in nursing research: methods and implications. Nursing Research, Baltimore, v. 54, n. 1, p. 56-62, Jan./Feb. 2005.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. Journal of Advanced Nursing, Oxford, v. 52, n. 5, p. 546-553, Dec. 2005.

WORLD BANK GROUP. The Role of Mining in National Economies. 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/06/10/the-role-of-mining-in-national-economies>. Acesso em: 15 abr. 2024.