


CAPACITAÇÃO DE PROFISSIONAIS ENVOLVIDOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS, SEGUNDO O NOVO MARCO LEGAL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-102>

Data de submissão: 09/12/2024

Data de publicação: 09/01/2025

Fernando Rodrigues Sérgio

Mestre em Defesa e Segurança Civil
Universidade Federal Fluminense – UFF
E-mail: celbmfernando@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5064-2871>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/7519011949710716>

Alexandre Luís Belchior dos Santos

Doutor em Ciências da Educação
Faculdade Interamericana de Ciências Sociais - FICS
E-mail: abelchior.prof@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5314-3553>
LATTES: <https://lattes.cnpq.br/6442571977328854>

Samir Batista Fernandes

Doutorando em Engenharia Ambiental
Universidade Estadual do Rio de Janeiro
E-mail: samirfernandes@usp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9976-5318>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3392029367010292>

Paulo Gustavo Von Krüger

Doutor em Engenharia de Estruturas
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
E-mail: paulovonkruger@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3628-911X>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1865214323026005>

Irapuan Strausz

Especialista em Gestão Estratégica em Saúde
Universidade Estácio de Sá, UNESA
E-mail: irapuanstr@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6579-6170>
LATTES: <https://lattes.cnpq.br/2105122714361920>

Marcia Motta Pimenta Velloso

Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: marciavelloso@id.uff.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1979-3252>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1079586622867926>

Michelle Aparecida Estruc Verbicário dos Santos

Mestre em Defesa e Segurança Civil

Universidade Federal Fluminense

E-mail: estruc88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6227-6496>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0338710559197150>

RESUMO

Este estudo analisou a capacitação de profissionais e comunidades potencialmente afetadas por falhas em barragens, com foco no novo marco regulatório brasileiro. O trabalho examinou a evolução dos programas de treinamento, especialmente após o desastre de Brumadinho, em 2019. A metodologia incluiu levantamento bibliográfico, estudo de caso e análise comparativa com programas internacionais, como o modelo da Federal Emergency Management Agency dos Estados Unidos. Os resultados revelaram que, embora existam avanços normativos, persistem deficiências em abordagens preventivas e treinamentos comunitários. Observou-se que 96% dos estudos analisados priorizam aspectos técnicos, negligenciando a preparação social e educacional das comunidades vulneráveis. A análise destacou a necessidade de integrar planos de ação de emergência com capacitações e simulações práticas para fortalecer a resiliência local. As propostas incluem a adoção de ciclos contínuos de treinamento, baseados no modelo Homeland Security Exercise and Evaluation Program, bem como o fortalecimento das políticas de compliance e governança. Recomendou-se a criação de equipes internas dedicadas à gestão das barragens e o desenvolvimento de plataformas digitais para disseminação de informações e monitoramento em tempo real. Conclui-se que a implementação de estratégias proativas, aliadas à modernização das práticas de gestão e capacitação, é essencial para reduzir vulnerabilidades e mitigar os impactos de desastres. O estudo fornece diretrizes aplicáveis tanto para empreendedores quanto para gestores públicos, contribuindo para a segurança e sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Segurança de Barragens. Gestão de Riscos. Capacitação. Defesa Civil. Legislação.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a segurança das barragens tem evoluído ao longo dos anos, integrando abordagens preventivas baseadas em marcos regulatórios, como a Lei Federal 12.334 de 2010, e normas internacionais, incluindo programas da *Federal Emergency Management Agency* (FEMA). Essas regulamentações moldaram os paradigmas contemporâneos de segurança de barragens, destacando a necessidade contínua de aprimoramento em técnicas dessas estruturas.

Suas aplicações variam de hidrelétricas, irrigação, defesa contra inundações, recreação, dessedentação animal, regularização de vazão, abastecimento humano e proteção do meio ambiente. Também é utilizada para contenção de resíduos industriais, contenção de rejeitos de mineração e indústrias (ANA, 2023)

Apesar das evoluções normativas, a crescente incidência de falhas em barragens destacou vulnerabilidades persistentes. Fatores como o envelhecimento das estruturas, mudanças climáticas e gestão ineficiente contribuíram para o agravamento do problema. Exemplos marcantes, como os desastres de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais, segundo Sérgio (2024), ressaltaram a urgência de esforços para garantir operações mais seguras. Esses eventos expuseram a fragilidade das barragens e os desafios associados à sua gestão.

Clarkson e Williams (2020) estimam que, em um intervalo de três décadas, a probabilidade de falhas pode crescer até 20 vezes. Essa tendência é amplificada por fenômenos climáticos extremos, como chuvas intensas, que intensificam a pressão sobre as estruturas, e pela ausência de manutenções preventivas ou modernizações adequadas.

No contexto nacional, o Brasil possui aproximadamente 27.000 barragens declaradas, das quais mais de 4.000 apresentam potencial para causar danos em caso de ruptura, e cerca de 15.000 não possuem classificação de risco (ANA, 2023). Essa lacuna de informações impacta diretamente a capacidade de planejamento e resposta a desastres.

As barragens desempenham papel fundamental na geração de energia, controle de enchentes e fornecimento de água. No entanto, seus impactos negativos, como alterações em sistemas fluviais, deslocamento de comunidades e degradação ambiental, muitas vezes superam os benefícios percebidos. Lerer e Scudder (1999) e McCartney (2009) destacam que, apesar de suas contribuições para o desenvolvimento econômico, as barragens frequentemente impõem ônus sociais e ambientais desproporcionais às comunidades locais, que raramente se beneficiam financeiramente dessas infraestruturas.

Internacionalmente, a construção e operação de barragens têm sido alvo de debates sobre impactos transfronteiriços, disputas geopolíticas e gestão de recursos hídricos (Beck; Claassen; Hundt,

2012; Richter *et al.*, 2010; Tilt; Braun; He, 2009). No Brasil, a relevância do tema é reforçada pela necessidade de políticas que equilibrem desenvolvimento econômico, sustentabilidade ambiental e justiça social. A segurança de barragens demanda atualizações legislativas, implementação de estratégias de gestão de riscos baseadas em evidências e capacitação contínua de profissionais e comunidades expostas a esses riscos. Assim, torna-se imprescindível fortalecer as estruturas de governança e os planos de emergência para minimizar os impactos de possíveis desastres. Portanto, o problema de pesquisa foi: qual a realidade em relação a capacitação de profissionais e comunidades, que respectivamente trabalham e residem em áreas de risco de ruptura de barragem?

A presente pesquisa tem por objetivo apresentar, às comunidades científica, profissional e populacional, a realidade da capacitação em segurança de barragens, dentro dos escopos das legislações atuais, no intuito de fortalecer ações daqueles que atuam em áreas de risco de ruptura de barragens, bem como, aumentar a resiliência das pessoas que vivem e habitam nesse ambiente.

A segurança de barragens representa uma preocupação crescente, dada a potencialidade de desastres com perdas humanas e danos ambientais irreparáveis. Aprimorar essas práticas é essencial para mitigar riscos e proteger vidas.

Este estudo foi motivado pela necessidade urgente de salvaguardar vidas e minimizar os impactos ambientais associados a falhas em barragens. Ele destacou a importância de estratégias eficazes de resposta a emergências, capacitando trabalhadores, comunidades locais e agentes de proteção e defesa civil. Além disso, salientou-se a necessidade de ampliar a localização e cadastramento das barragens e identificar os empreendedores responsáveis, considerando que muitas estruturas ainda estão fora do registro oficial da Agência Nacional de Águas (ANA).

Em tese, a relevância deste trabalho residiu na capacidade de influenciar políticas públicas e práticas corporativas, assegurando que medidas preventivas e planos de evacuação sejam aplicáveis. O estudo forneceu diretrizes baseadas em evidências para a capacitação em segurança de barragens. Portanto, esperou-se que os resultados contribuíssem para a proteção das comunidades vulneráveis.

2 METODOLOGIA

Este trabalho teve como base o Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense, segundo Sérgio (2024), onde o autor descreve detalhadamente dados que fundamentam tecnicamente e cientificamente este artigo.

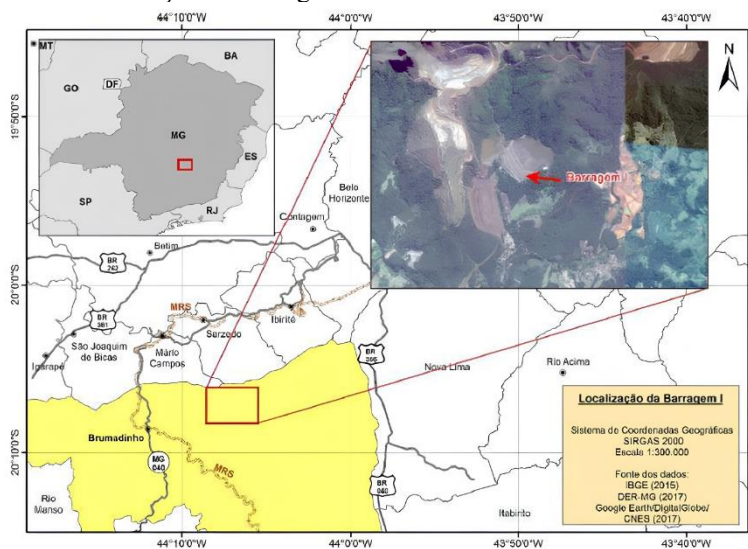
O tratamento dos dados seguiu-se a abordagem qualitativa segundo Gil (2019), Lakatos e Marconi (2017) e Yin (2015).

Sérgio (2024) utilizou-se de um estudo de caso, destacando práticas dos empreendedores em relação à segurança de barragens sob a influência das legislações vigentes; onde se integraram métodos, buscando elucidar as interações entre legislação, práticas empresariais e capacitação profissional, destacando-se caminhos para melhorias na gestão de riscos em barragens, incluindo a preparação da comunidade.

2.1 O CASO DE BRUMADINHO – MG EM 2019

A Barragem denominada B1, situada na mina Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais, conforme a figura 1, foi concebida para armazenar rejeitos provenientes da extração de minério de ferro. Construída e operada pela mineradora Vale S.A., a estrutura utilizava o método de alteamento a montante, reconhecido por apresentar riscos estruturais. O rompimento da barragem, ocorrido em 25 de janeiro de 2019, configurou-se como um dos mais severos desastres ambientais e humanos da história do Brasil, resultando em 272 mortes e danos ambientais irreversíveis (Sérgio, 2024).

Figura 1 - Localização da Barragem de Brumadinho no estado de Minas Gerais



Fonte: Adaptada de Sérgio (2024)

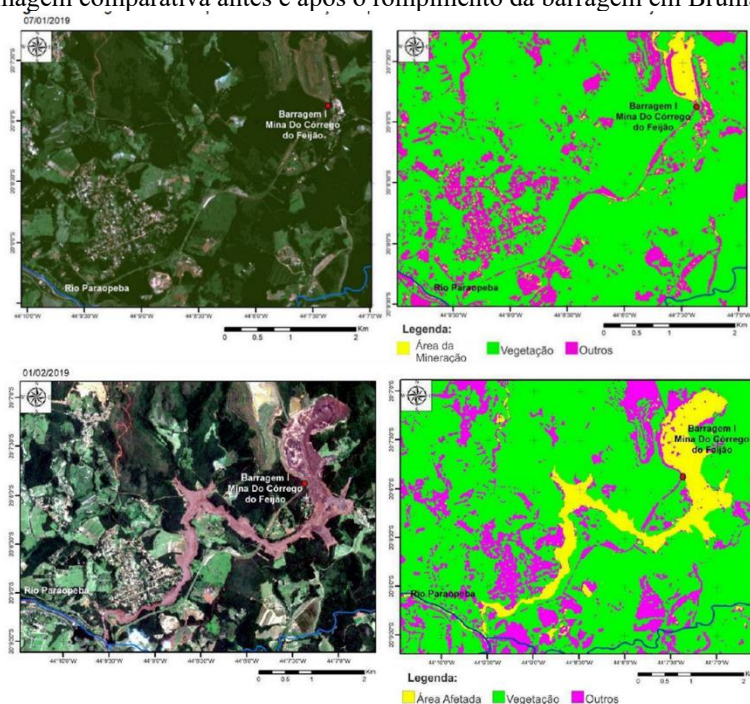
O Brasil possui aproximadamente 27.000 barragens declaradas, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023). Minas Gerais, com destaque pela sua intensa atividade mineradora, abriga uma parcela expressiva dessas estruturas. Brumadinho, município integrante da região metropolitana de Belo Horizonte, é cortado pelo rio Paraopeba e contava, em 2022, com uma população estimada de 38.915 habitantes (IBGE, 2022).

A economia local é caracterizada por sua diversidade, abrangendo setores como agricultura, serviços e turismo. No entanto, a mineração tem papel predominante na região, sendo impulsionada

pela atuação da Vale S.A., uma das maiores produtoras globais de minério de ferro. A notoriedade adquirida por Brumadinho decorre, em grande parte, da tragédia associada ao rompimento da Barragem B1, cujos impactos reverberaram globalmente (IBGE, 2022), conforme representado na figura 2 com a comparação de antes e após o desastre em Brumadinho.

A relevância da mineração em Minas Gerais requer a manutenção de barragens para contenção de rejeitos, tornando imprescindíveis medidas de monitoramento e segurança dessas infraestruturas (BRASIL, 2020; Neves *et al.*, 2016).

Figura 2 - Imagem comparativa antes e após o rompimento da barragem em Brumadinho – MG



Fonte: Adaptada de Sérgio (2024)

A magnitude do desastre e o volume de rejeitos deslocados impuseram dificuldades às operações de resgate. Equipes de bombeiros militares de Minas Gerais, com suporte de outras corporações, Forças Armadas Brasileira e voluntários, desempenharam papel na busca por desaparecidos (Andreoni; Darlington, 2019). Recursos tecnológicos, como cães farejadores e sistemas de rastreamento de celulares fornecidos por Israel, foram empregados para localizar vítimas. A gestão do espaço aéreo e a implementação de protocolos de descontaminação foram empregados para assegurar a proteção das equipes de resgate (Andreoni; Darlington, 2019).

Na figura 3, a trajetória e a velocidade do escoamento dos rejeitos capturados pelas demais câmeras indicam a magnitude do desastre, destacando quanto impacto de danos e prejuízos estes desastres provocam. O fluxo seguiu pelo leito do rio, espalhando a contaminação por diversos pontos

a jusante, afetando comunidades, a biodiversidade local e provocando um impacto ambiental e humano imensurável (Alvarenga; Cavalini, 2019).



Fonte: Adaptada de Sérgio (2024)

Brumadinho integra a lista de municípios vulneráveis a eventos como deslizamentos e inundações, conforme cadastro estabelecido pela Lei Federal 12.608/2012, alterada pela Lei 14.750/2023 e complementada pela Lei 12.340/2010.

2.2 CONFORMIDADE REGULATÓRIA E COMPLIANCE

O conceito de *compliance* refere-se à observância das normas legais e regulamentares aplicáveis. No contexto de segurança de barragens, a conformidade é essencial para mitigar riscos e proteger comunidades e ecossistemas. Estudos, como o de Botelho *et al.* (2023), evidenciam lacunas no cumprimento dessas normas pela Vale S.A., contribuindo para o desastre.

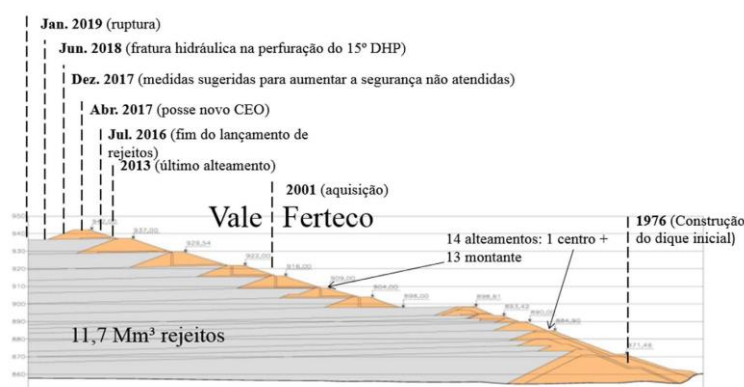
Apesar da existência de regulamentações, falhas na manutenção e no monitoramento foram identificadas. Relatórios indicaram a ausência de um plano de emergência eficaz e a priorização de ganhos econômicos em detrimento da segurança estrutural (Furtado Louzada; Ravena, 2019).

O Relatório de Análise de Acidente de Trabalho em Brasil (2019) destacou as seguintes deficiências na gestão da Vale:

- Ausência de plano de emergência específico para a barragem.
- Irregularidades no Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração – PAEBM da B1.
- Inexistência de alerta eficiente à população local.
- Não acionamento de sirenes no momento do rompimento.
- Desconsideração de rotas de fuga inadequadas.

O histórico da Barragem B1, representado na figura 4, foi marcada por decisões gerenciais que suscitam questionamentos sobre a eficácia das práticas de segurança adotadas (Rotta *et al.*, 2020). Iniciada na década de 1970, sua construção envolveu múltiplos alteamentos utilizando o método a montante, reconhecido como menos seguro em comparação com outras técnicas construtivas (Almeida; Jackson Filho; Vilela, 2019).

Figura 4 - Linha do tempo da barragem B1



Fonte: Adaptada de Sérgio (2024)

Botelho *et al.* (2023) apontam que, embora a Vale tenha obtido lucros significativos e distribuído dividendos substanciais aos seus acionistas ao longo dos anos, os investimentos em segurança e manutenção da barragem foram considerados inadequados. A busca por otimização de custos e aumento de rentabilidade teria sido priorizada em detrimento de investimentos em medidas preventivas e reforços estruturais. Essa avaliação é sustentada pelos impactos do rompimento, que resultou em perdas humanas e ambientais expressivas. Essas constatações sublinham a necessidade de fortalecer as estratégias de *compliance* e governança de riscos, com foco em monitoramento contínuo para prevenir ou mitigar eventos adversos futuros.

2.3 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS E RESPOSTA EMERGENCIAL

O colapso da Barragem B1 resultou na liberação de aproximadamente onze milhões de metros cúbicos de rejeitos, afetando gravemente o curso do Rio Paraopeba e comprometendo o abastecimento hídrico, além de provocar danos irreparáveis à fauna e flora locais. Os efeitos socioeconômicos incluíram a interrupção de atividades comerciais, turísticas e minerárias na região, evidenciando a complexidade e a escala dos prejuízos gerados (Sérgio, 2024).

A análise do desastre destacou a necessidade de converter essa experiência em um modelo de desenvolvimento sustentável para a gestão de barragens. Essa transformação exige a capacitação de

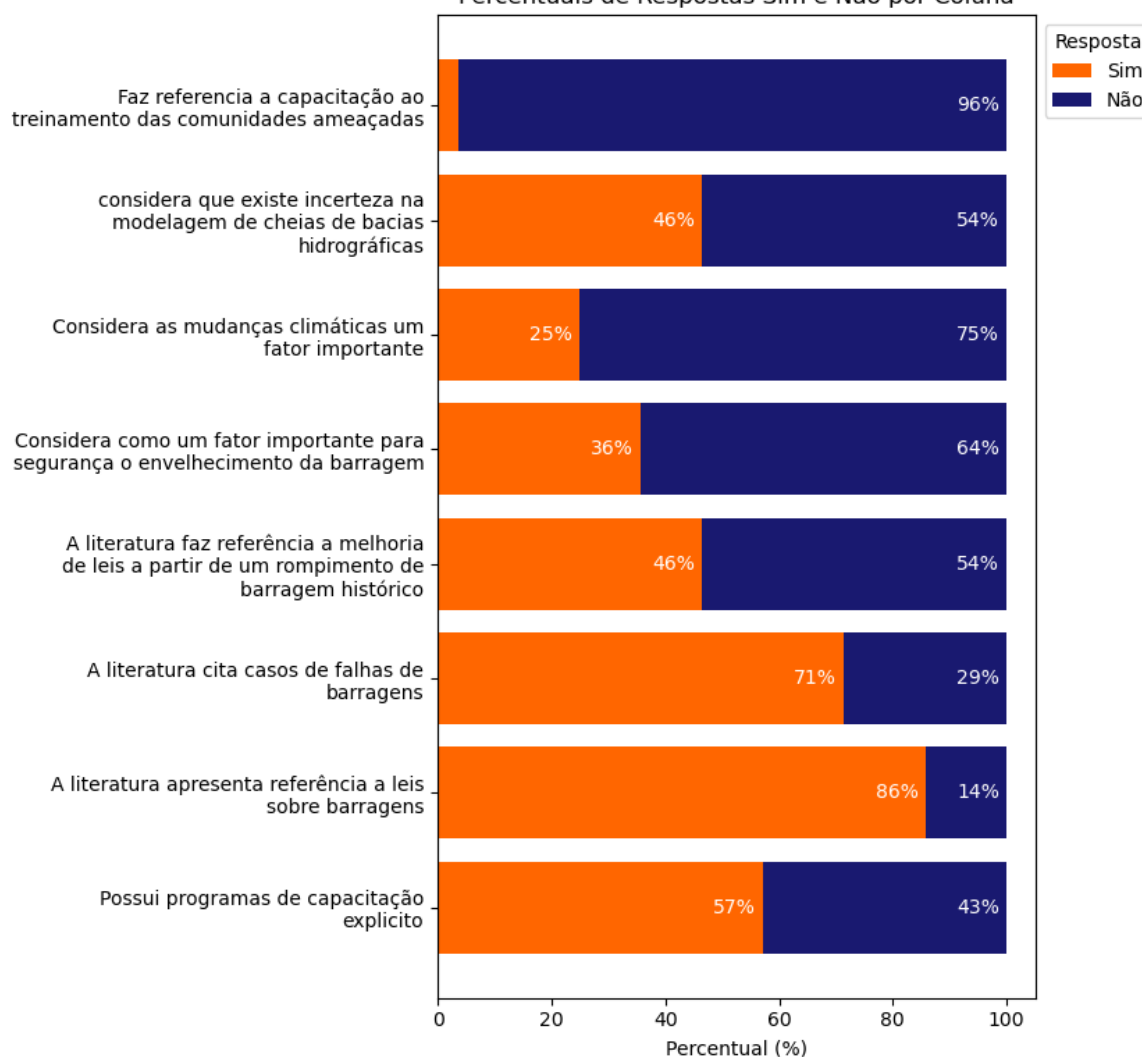
profissionais e comunidades na gestão de riscos e na resposta a emergências, bem como a formulação de políticas públicas mais eficazes e ações corporativas responsáveis.

O estudo de caso de Brumadinho exemplifica a urgência de melhorias estruturais, operacionais e legislativas, voltadas para a mitigação de riscos e a proteção das comunidades vulneráveis. As lições aprendidas devem servir como base para aperfeiçoar as práticas de segurança e gestão de barragens, promovendo a resiliência socioambiental e minimizando futuros desastres.

3 RESULTADOS

A análise realizada baseou-se na pesquisa de Sérgio (2024), conforme o gráfico 1. Os resultados indicaram que 57% das obras analisadas possuíam programas de capacitação explícitos acerca de segurança de barragens.

Gráfico 1 - Frequência de respostas da documentação analisada
Percentuais de Respostas Sim e Não por Coluna



Fonte: Adaptado de Sérgio (2024)

No entanto, a análise revelou um déficit estrutural em abordagens voltadas à capacitação comunitária, com 96% das publicações negligenciando estratégias de inclusão social no gerenciamento de riscos.

A ênfase excessiva em abordagens tecnicistas denota uma confiança desproporcional na capacidade dos protocolos operacionais de eliminarem riscos. Entretanto, as obras analisadas destacaram que essa perspectiva subestima variáveis externas, como as mudanças climáticas e o envelhecimento das infraestruturas. Apenas 25% dos estudos mencionaram as mudanças climáticas como fatores relevantes, e 36% apontaram o envelhecimento estrutural como elemento crítico. Além disso, 46% destacaram incertezas nas modelagens preditivas para vazões extremas, evidenciando a necessidade de planos de gestão que integrem dimensões sociais e ambientais.

A percepção de risco também se mostrou descompassada entre os diversos atores envolvidos na gestão de barragens. Os empreendedores, muitas vezes, apresentavam uma visão mais otimista sobre a eficácia de seus procedimentos operacionais, enquanto as comunidades locais expressavam maior preocupação com a falta de informações ou treinamentos. Essa discrepância destaca a importância de estratégias de comunicação mais inclusivas, abordando as lacunas existentes na percepção de riscos e na preparação para emergências.

No estudo de caso, observou-se uma subestimação cultural dos riscos antes do desastre de Brumadinho. Os especialistas entrevistados relataram que a percepção de vulnerabilidade foi reavaliada após o evento, impulsionada por pressões sociais e ações regulatórias. Relatórios oficiais evidenciaram falhas estruturais, como a ausência de alertas e rotas de fuga inadequadas, apontando fragilidades críticas na execução do Plano de Ação de Emergência (PAE).

Além disso, foi identificado que a lacuna na capacitação comunitária resultou em respostas inadequadas e descoordenadas durante a emergência. Esse aspecto revela a necessidade de desenvolver treinamentos contínuos e simulados periódicos, não apenas para os operadores das barragens, mas também para as comunidades potencialmente impactadas. Essa abordagem contribuiria para a construção de uma cultura de resiliência e preparação frente a desastres.

3.1 COMPARAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE TREINAMENTO

A comparação entre os programas brasileiros e os desenvolvidos pela FEMA nos Estados Unidos revelou discrepâncias em termos de metodologia. No Brasil, os treinamentos são baseados em práticas da defesa civil e abrangem três tipos de exercícios: expositivos, unificações internas e simulados. Por outro lado, os programas norte-americanos empregam sete tipos de exercícios, divididos em abordagens administrativas e operacionais.

Quadro 1 - Comparação entre o programa brasileiro de treinamentos em barragens e o da FEMA

Tipos de exercícios	Brasil	Estados Unidos
Quantidade de Exercícios	São 3 tipos de exercícios: Exercícios expositivos internos, Exercícios de fluxo de unificações internos e exercícios simulados internos (hipotéticos ou práticos).	São 7 tipos de exercícios que são divididos em duas abordagens: Administrativos (Seminário, Workshop, Exercícios de mesa e de jogos) e operacionais (Treinamentos, exercícios funcionais e exercícios em escala real).
Periodicidade dos Exercícios	6 meses a 1 ano.	1 ano até 5 anos.
Destinação dos Exercícios	Contribuir para manter o estado de prontidão, uma vez que permitem uma maior familiarização dos envolvidos com os seus elementos e atribuições inerentes ao PAEBM concluindo pela evolução operacional do citado Plano.	Validar planos, políticas, acordos e procedimentos; esclarecer funções e responsabilidades; e identificar lacunas de recursos em um ambiente operacional.
Integração com Planos de Emergência	Os treinamentos internos são integrados ao PAEBM através do ensino de procedimentos específicos e responsabilidades detalhadas no plano.	Não existe obrigatoriedade, no programa HSEEP, de todos os sete exercícios, o programa deve ser construído do zero, começando com exercícios simples e avançando para exercícios mais complexos.
Amparo em alguma doutrina	Remete a práticas da defesa civil Nacional (Caderno de Orientações para Apoio à Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens - 2016). Não há menção a doutrina ou ciência.	Amparado na doutrina do Programa de Exercícios e Avaliação de Segurança Interna (HSEEP) que se baseia em metodologias que visam padronizar os exercícios. O objetivo principal é aumentar a uniformidade na condução e avaliação desses exercícios, ao mesmo tempo em que se preserva a flexibilidade e a acessibilidade deles.
Avaliação de Eficácia	A eficácia dos exercícios de treinamento é avaliada através de simulações periódicas. Durante essas simulações, a prontidão, a resposta e o tempo de reação das equipes são observados e medidos. O feedback coletado é utilizado para realizar ajustes contínuos no PAEBM e nos procedimentos de treinamento, visando melhorar a segurança e a eficiência das respostas a emergências.	O Programa de Exercícios e Avaliação de Segurança Interna (HSEEP) avalia a eficácia dos exercícios através de critérios definidos que incluem a observação direta de desempenho durante os exercícios, a coleta de feedback dos participantes, e a análise de ações e decisões tomadas em resposta aos cenários propostos. A partir desses dados, são elaborados relatórios de avaliação que identificam pontos fortes, áreas que necessitam de melhoria, e recomendações para ações futuras, garantindo assim um ciclo contínuo de aprimoramento da preparação e resposta a emergências. O programa é uma variante do PDCA.

Fonte: Adaptado de Sérgio (2024)

Enquanto o Brasil integra os treinamentos ao Plano de Ação de Emergência para Barragens – PAEBM, os Estados Unidos adotam a doutrina *Homeland Security Exercise and Evaluation Program* – HSEEP, estruturada em ciclos: Planejar, Executar, Verificar e Agir (PDCA), priorizando flexibilidade e aprendizado contínuo. Essa abordagem norte-americana permite ajustes incrementais e maior adaptabilidade com base nos resultados dos exercícios.

Adicionalmente, foi constatado que os programas brasileiros carecem de mecanismos sistemáticos para avaliação e retroalimentação dos resultados obtidos nos simulados. Em contraste, o modelo HSEEP estabelece critérios para a avaliação de desempenho, permitindo ajustes contínuos e assegurando a efetividade do treinamento ao longo do tempo. Essa diferença destaca a importância de revisar os métodos avaliativos adotados no Brasil.

No Brasil, a avaliação de eficácia se restringe a simulações periódicas focadas na execução de planos e no tempo de resposta. Em contraste, o modelo norte-americano adota relatórios que analisam desempenho, coletam feedback e propõem recomendações específicas para aprimoramentos, configurando-se como uma metodologia mais abrangente e adaptável.

3.2 DESAFIOS E LACUNAS IDENTIFICADAS

Apesar dos avanços legislativos subsequentes ao desastre de Brumadinho, Sérgio (2024) destacou lacunas persistentes nos programas de capacitação. A obrigatoriedade de treinamentos periódicos, conforme estipulado pela Lei Federal 14.066/2020, (2020) ainda apresenta implementação incipiente e interpretações amplas. Especialistas relataram que os treinamentos em municípios como Itabira e Barão de Cocais priorizaram alertas sonoros e rotas de fuga, mas negligenciaram conteúdos específicos para preparar as comunidades para situações complexas.

A análise revelou um desalinhamento entre a teoria e a prática. Enquanto 86% das publicações mencionaram legislações pertinentes, apenas 46% abordaram melhorias na regulamentação após o desastre. Esse contraste sugere que, embora tenham ocorrido avanços normativos, a implementação prática permanece fragmentada e insuficiente.

Outro ponto crítico foi a limitação das mudanças culturais associadas à legislação. Embora novas responsabilidades tenham sido impostas aos empreendedores, o caráter reativo das medidas restringiu sua eficácia. A falta de estratégias integradas para capacitação comunitária e treinamento contínuo evidencia a necessidade de políticas mais abrangentes e adaptáveis.

Ao se analisar os resultados destacou-se a inadequação das abordagens tecnicistas predominantes na gestão de barragens, bem como, a insuficiência de programas de capacitação comunitária. As evidências encontradas em literaturas, de acordo com Sérgio (2024), indicaram a necessidade de incorporar práticas mais inclusivas, com foco na preparação social e ambiental. A comparação com modelos internacionais, como o programa HSEEP da FEMA, reforçou a importância de metodologias baseadas na aprendizagem contínua e ciclos de avaliação.

A implementação de um sistema de treinamento, aliado a planos de ação emergenciais mais abrangentes, é essencial para fortalecer a resiliência e a capacidade de resposta em situações críticas.

A análise sugere que abordagens baseadas na integração de práticas, apoiadas por legislações específicas e avaliações periódicas, podem mitigar riscos e otimizar a gestão de barragens.

Esses resultados evidenciam a necessidade de revisar as estratégias de capacitação e promover políticas públicas alinhadas a padrões internacionais.

4 DISCUSSÃO

A análise dos programas de capacitação revelou uma carência de iniciativas voltadas especificamente para comunidades expostas a riscos de falhas em barragens que levem em consideração a prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação a desastres.

Enquanto os programas existentes priorizam a operabilidade técnica e a manutenção estrutural das barragens, poucos oferecem treinamentos efetivos direcionados à preparação das comunidades para situações emergenciais relacionadas a rompimentos de barragens. Essa lacuna compromete a eficácia dos Planos de Ação de Emergência (PAEs), especialmente em eventos rápidos e de grande magnitude, como o rompimento da barragem de Brumadinho.

O relatório de análise de acidente de trabalho, desenvolvido pela Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais (2019), destacou que mesmo com o sistema sonoro de alerta em funcionamento, a velocidade com que o rompimento ocorreu impediu uma evacuação bem-sucedida. Esse fato sublinha a necessidade de programas de treinamento mais realistas e adaptados às dinâmicas de eventos adversos. Comparativamente, a abordagem da FEMA, baseada no ciclo de Deming (PDCA), apresenta um modelo mais intervencionista, com avaliações contínuas e aprimoramentos.

Adicionalmente, foi identificada uma lacuna na integração entre os programas de capacitação e as práticas de resposta. Enquanto os treinamentos abordam de forma superficial a evacuação, eles falham em contemplar variáveis como a velocidade do deslocamento de rejeitos e as dificuldades logísticas enfrentadas pelas equipes de resgate. Essa desconexão ressalta a necessidade de alinhar os programas de treinamento com cenários realistas para cada barragem.

4.1 DESAFIOS ESTRUTURAIS E GERENCIAIS NA GESTÃO DE BARRAGENS

Um dos problemas mais recorrentes é a ausência de uma abordagem integrada que contemple não apenas a segurança estrutural, mas também a capacitação social e educacional das comunidades vulneráveis. Embora a operação de barragens envolva complexidade técnica, negligenciar a capacitação comunitária perpetua vulnerabilidades sociais, potencializando os danos e prejuízos decorrente dos desastres.

O envelhecimento das barragens também foi identificado como um fator crítico. Estruturas antigas, muitas vezes abandonadas ou desativadas sem planos claros de descomissionamento, representam riscos contínuos. Essas barragens necessitam de monitoramento constante e ações preventivas eficazes, especialmente em cenários de mudanças climáticas que ampliam os riscos hidrológicos e geotécnicos.

Outro ponto identificado foi a transferência de responsabilidade legal para empresas terceirizadas contratadas para auditorias e emissão de pareceres técnicos. Essa prática, segundo Sérgio (2024), cria um ambiente propício para a diluição de responsabilidades. A ausência de equipes internas dedicadas exclusivamente à gestão da segurança das barragens compromete o monitoramento contínuo e a resposta rápida em situações emergenciais. A dependência excessiva de consultorias externas enfraquece a capacidade institucional dos empreendedores de assumir um papel ativo na mitigação de riscos e na implementação de ações preventivas.

4.2 PROPOSTAS PARA REESTRUTURAÇÃO DOS PROGRAMAS DE CAPACITAÇÃO E GESTÃO

Diante das lacunas identificadas, tornou-se evidente a necessidade de reformular as práticas atuais de capacitação e gerenciamento de riscos. Em primeiro lugar, recomendou-se a implementação de programas contínuos de treinamento, baseados em ciclos de avaliação e aprimoramento, semelhantes ao modelo HSEEP utilizado pela FEMA. Essa abordagem não apenas padroniza os procedimentos, mas também cria um ciclo de aprendizagem contínua, permitindo a adaptação e o aprimoramento das estratégias ao longo do tempo.

Outro ponto crucial é a integração de treinamentos específicos para comunidades locais. Esses programas devem incluir simulações práticas, exercícios de evacuação e instruções sobre os sistemas de alerta e rotas de fuga. Além disso, devem ser desenvolvidas estratégias para a disseminação de informações claras e acessíveis, promovendo maior engajamento e conscientização pública.

A criação de equipes internas, com dedicação exclusiva à gestão de barragens, também deve ser priorizada. Essas equipes, além de monitorarem continuamente as condições estruturais das barragens, devem atuar como facilitadoras de comunicação entre os empreendedores, as comunidades e os órgãos reguladores, promovendo maior transparência e eficiência na resposta a emergências.

A análise conduzida reforçou a necessidade de adotar abordagens mais proativas na capacitação para segurança de barragens. O estudo destacou a importância de programas educacionais alinhados às melhores práticas internacionais, adaptados às realidades locais e orientados para a mitigação de riscos. Entre as contribuições propostas, conforme o quadro 2, incluem-se cursos e

treinamentos voltados para gestores, técnicos e membros das comunidades, abordando temas como análise de vulnerabilidades, planos de evacuação e gestão integrada de riscos. Esses cursos devem ser complementados por simulações periódicas e mecanismos de avaliação que garantam a eficiência das práticas implementadas.

Quadro 2 - Propostas de cursos e treinamentos adaptados à gestão de riscos de barragens

Período/Ciclo		Áreas	Temas
Gestão de Risco	Prevenção e Mitigação	Análise de Riscos	Avaliação e Mitigação de Riscos de Falha em Barragens; Avaliação de Riscos e Vulnerabilidades; Mapeamento da Mancha de Inundação
		Medidas de Redução de Risco	Regulamentações e Conformidade de Segurança de Barragens; Melhoria das Práticas de Vigilância e Inspeção de Barragens; Mitigação de Impactos Ambientais; Manejo de Animais em Situações de Emergência; Recuperação de Áreas Degradadas
	Preparação	Ações de Preparação e Monitoramento	Integração Tecnológica em Gestão de Emergências; Planejamento e Desenvolvimento de Exercícios Completos; Gestão de Recursos Durante Emergências; Protocolos de Comunicação Durante Emergências; Integração de Ações com o SINPDEC
Gerenciamento dos desastres	Resposta	Socorro	Treinamento de Equipes de Resposta a Emergências; Utilização de Tecnologias para Resposta a Emergências Aprimoradas; Formação e Capacitação em Primeiros Socorros; Resgate e Salvaguarda do Patrimônio Cultural; Suprimento de Água Potável em Emergências; Procedimentos de Notificação de Emergências; Simulados de Evacuação
		Restabelecimento e Assistência Humanitária	Assessoria Técnica Independente para Comunidades; Organização de Rota de Fuga e Pontos de Segurança; Preparação e Realização de Simulados de Evacuação; Responsabilidade Legal e Compliance; Comunicação com Órgãos Reguladores; Engajamento de partes interessadas e Compartilhamento de Informações; Análise Pós-Incidente e Melhoria Contínua
	Recuperação	Projetos de Reconstrução e Recuperação	Provisão de Moradia Provisória; Planejamento de Reassentamento; Reinclusão Social de Atingidos; Assistência à Saúde de Atingidos por Desastres

Fonte: Adaptado de Sérgio (2024)

Além disso, sugere-se a criação de plataformas digitais para a disseminação de informações e orientações sobre segurança de barragens. Essas plataformas poderiam servir como repositórios de boas práticas, relatórios técnicos e materiais educativos, promovendo o compartilhamento de conhecimento e experiências entre diferentes atores envolvidos na gestão de riscos.

Por fim, a pesquisa evidenciou que a necessidade do fortalecimento das capacidades institucionais e comunitárias, aliado a um arcabouço normativo mais adaptável são fundamentais para

reduzir vulnerabilidades e evitar a repetição de tragédias como a de Brumadinho. As recomendações apresentadas visam não apenas aperfeiçoar os mecanismos existentes, mas também estabelecer novas diretrizes para um gerenciamento de riscos mais eficiente e inclusivo.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi conduzida uma investigação sobre as práticas de segurança em barragens, partindo de uma análise introdutória que destacou a relevância do tema e a necessidade de aprimoramento das práticas atuais. Foram examinados: o quadro regulatório vigente, as lacunas existentes nas estratégias de capacitação e os desafios enfrentados na gestão de riscos de desastres, especialmente no contexto do rompimento da barragem de Brumadinho.

As análises realizadas apontaram deficiências na integração entre as abordagens técnicas de gestão de barragens, as estratégias de capacitação comunitária e o cumprimento das normativas. Comparando-se as práticas brasileiras com as diretrizes internacionais, como as adotadas pela FEMA, ficou evidente a necessidade de adoção de modelos mais gerenciáveis, com estabelecimento de métricas e integração com as comunidades potencialmente afetadas. Essa lacuna destaca a importância de estratégias que incluam não apenas os aspectos técnicos, mas também a preparação social e educacional das comunidades expostas a riscos.

O estudo reafirma a urgência de fortalecer as políticas públicas e práticas corporativas, garantindo que as capacitações abordem temas compatíveis com a literatura científica e com o marco regulatório estabelecido pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Espera-se que as contribuições desta pesquisa possam orientar aprimoramentos no gerenciamento de riscos e na segurança de barragens, assegurando a proteção de populações vulneráveis e a preservação ambiental.

O objetivo foi alcançado, ao propor diretrizes e estratégias voltadas à capacitação de empreendedores, agentes de defesa civil e comunidades locais. As propostas apresentadas contemplam a implementação de treinamentos contínuos e a criação de estruturas de gestão mais eficientes, alinhadas às melhores práticas internacionais. Essas medidas contribuem para fortalecer a preparação e resposta a desastres, promovendo aumento da resiliência social e operacional.

Entre as principais descobertas, destaca-se a necessidade de reformulação das estratégias de treinamento, com foco na participação ativa e informada das comunidades em risco. Além disso, foi evidenciada a importância de alinhar as práticas de segurança com legislações mais efetivas, capazes de mitigar riscos e preservar o ambiente.

Adicionalmente, este trabalho sublinha a necessidade de transformar a cultura de gestão de barragens de uma abordagem reativa para um modelo preventivo e proativo. Para isso, torna-se

essencial que a conformidade com normas e diretrizes deixe de ser apenas uma exigência formal e passe a ser parte integrante da cultura organizacional das empresas envolvidas.

As contribuições deste estudo vão além do campo acadêmico, oferecendo subsídios práticos para gestores, formuladores de políticas públicas e profissionais envolvidos na gestão de riscos. Espera-se que as recomendações apresentadas possam fomentar iniciativas voltadas à capacitação e ao desenvolvimento de ferramentas mais eficazes para a segurança de barragens. Entre as implicações destacadas, inclui-se a necessidade de estabelecer programas de treinamento que combinem aspectos técnicos, operacionais e sociais, promovendo uma abordagem integrada multidisciplinar e interdisciplinar.

As análises também indicaram a importância de incorporar tecnologias emergentes na gestão e monitoramento de barragens, incluindo sistemas de alerta precoce e plataformas digitais para disseminação de informações e capacitações. Essas ferramentas podem fortalecer as estratégias de resposta e aumentar a transparência na gestão dos empreendimentos.

Este estudo abre caminhos para novas investigações que possam aprofundar o entendimento sobre a segurança de barragens. Sugere-se a realização de comparações internacionais mais detalhadas, analisando as políticas e práticas de países como Estados Unidos e China, que possuem grandes volumes de barragens. Estudos longitudinais podem avaliar a evolução dessas políticas e sua aplicação prática, oferecendo *insights* valiosos para o aprimoramento do modelo brasileiro.

Adicionalmente, propõe-se o uso de dados empíricos e análises de estudos de caso para avaliar a eficácia das estratégias atualmente em vigor. Pesquisas futuras podem explorar respostas de emergências, evacuações e revisões de políticas após desastres, identificando padrões e oportunidades para aperfeiçoamento.

Outra perspectiva relevante envolve a adoção de abordagens interdisciplinares, investigando como a segurança de barragens se relaciona com aspectos ecológicos, sociais e econômicos. Essa abordagem pode incluir a análise de impactos de longo prazo nas comunidades locais e nos ecossistemas, contribuindo para a formulação de políticas mais sustentáveis e integradas.

Por fim, destaca-se a importância de adotar uma cultura preventiva e de aprimoramento contínuo, consolidando um modelo de gestão que proteja tanto as populações vulneráveis quanto o meio ambiente, promovendo, assim, um futuro mais seguro e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. M. de; JACKSON FILHO, J. M.; VILELA, R. A. de G. Reasons for investigating the organizational dynamics of the Vale tailings dam disaster in Brumadinho, Minas Gerais State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, [s. l.], v. 35, p. e00027319, 2019.

ALVARENGA, D.; CAVALINI, M. Entenda como funciona a barragem da Vale que se rompeu em Brumadinho. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/entenda-como-funciona-a-barragem-da-vale-que-se-rompeu-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 28 jun. 2024.

ANA. Relatório de segurança de barragens 2022. [S. l.]: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023.

ANDREONI, M.; DARLINGTON, S. With Hundreds Missing Following Burst Brazil Dam, a Frantic Search for Survivors. *The New York Times*, [s. l.], 26 jan. 2019. World. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2019/01/26/world/americas/brazil-dam-break.html>. Acesso em: 28 jun. 2024.

BECK, M.; CLAASSEN, A.; HUNDT, P. J. Environmental and livelihood impacts of dams: common lessons across development gradients that challenge sustainability. *International Journal of River Basin Management*, [s. l.], v. 10, p. 73–92, 2012.

BOTELHO, M. R. *et al.* A insegurança das barragens da Vale em Minas Gerais, Brasil: aplicação da teoria da atividade à análise de desastres. *Saúde e Sociedade*, [s. l.], v. 32, p. e220510pt, 2023.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm. Acesso em: 7 jan. 2024.

BRASIL. Relatório de Análise de Acidente de Trabalho. [S. l.]: SEGUR - Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/acidentes-de-trabalho-informacoes-1/relatorio_analise_acidentes_brumadinho.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. RSB 2020 — Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens SNISB. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CLARKSON, L.; WILLIAMS, D. Critical review of tailings dam monitoring best practice. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 119–148, 2020. FURTADO LOUZADA, A.; RAVENA, N. Dam safety and risk governance for hydroelectric power plants in the Amazon. *Journal of Risk Research*, [s. l.], v. 22, n. 12, p. 1571–1585, 2019.

GIL, A. C. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 7ª edição. [S. l.]: Atlas, 2019.

IBGE. Brumadinho (MG) | Cidades e Estados |. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/brumadinho.html>. Acesso em: 22 abr. 2024.

LAKATOS/MARCONI. Fundamentos de Metodologia Científica. 8ª edição. [S. l.]: Atlas, 2017.

LERER, L.; SCUDDER, T. Health impacts of large dams. *Environmental Impact Assessment Review*, [s. l.], v. 19, p. 113–123, 1999.

MCCARTNEY, M. Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, [s. l.], v. 11, p. 121–139, 2009.

NEVES, A. C. de O. *et al.* Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Natureza & Conservação*, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 24–27, 2016.

RICHTER, B. *et al.* Lost in development's shadow: the downstream human consequences of dams. *Water alternatives*, [s. l.], v. 3, p. 14–42, 2010.

ROTTA, L. H. S. *et al.* The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, [s. l.], v. 90, p. 102119, 2020.

SÉRGIO, F. R. EMPREENENDO NA CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: UM OLHAR CONTEMPORÂNEO DO NOVO MARCO LEGAL. 2024. 105 f. Dissertação - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2024.

TILT, B.; BRAUN, Y.; HE, D. Social impacts of large dam projects: a comparison of international case studies and implications for best practice. *Journal of environmental management*, [s. l.], v. 90 Suppl 3, p. 249–257, 2009.

YIN, R. K. Estudo de Caso - 5.Ed.: Planejamento e Métodos. [S. l.]: Bookman Editora, 2015.