Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

ANALISES DOS ROMPIMENTOS DE BARRAGENS NO BRASIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

José Elesbão de Almeida[1]

Juliana Carla Morais Lopes[2]

Sara Taciana Firmino Bezerra[3]

Resumo

As construções de açudes e barragens, dentre outras obras de engenharia, infraestrutura e fornecimento de eletricidade, para melhorar os serviços e atenuar os efeitos das constantes secas no Brasil, foram iniciadas ainda no início do século XX. Nesse período, foram executadas diversas obras com o objetivo de proporcionar água e outros serviços para as necessidades da população mais carente. Contudo, muitos desses reservatórios foram construídos há muitos anos e não receberam as reparações e manutenções adequadas, causando fissuras e rompimentos. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no Brasil define atribuições e formas de controle necessárias para assegurar as condições de segurança dos reservatórios. O objetivo deste artigo é fazer uma revisão integrativa das principais publicações que tratam do rompimento de barragens no Brasil e seus efeitos à jusante para aos moradores das adjacências dos referidos reservatórios. Para isso, será feito um levantamento das principais publicações nos periódicos da Capes, do período de 2019 a 2023.

Palavras-Chave: Açudes. Rupturas. Riscos.

[1] Doutor em Economia do Desenvolvimento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professor do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido – PLANDITES, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN. E-mail: elesbaoalmeida@uern.br

[2] Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido – PLANDITES, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN. E-mail: karla.juh@hotmail.com

[3] Doutora em Enfermagem pelo Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Federal do Ceará. Professora do Curso de graduação em Enfermagem da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte e do Programa de Pós-Graduação Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN. E-mail: sarataciana@uern.br

VII SEDRES
Seminário de Desenvolvimento Regional, Estado e Sociedade

Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

Abstract

The construction of dams and dams, among other engineering, infrastructure and electricity supply works, to improve services and mitigate the effects of constant droughts in Brazil, began at the beginning of the 20th century. During this period, several works were carried out with the aim of providing water and other services to the needs of the neediest population. However, many of these reservoirs were built many years ago and have not received adequate repairs and maintenance, causing cracks and ruptures. The National Dam Safety Policy (PNSB) in Brazil defines attributions and forms of control necessary to ensure the safety conditions of reservoirs. The objective of this article is to carry out an integrative review of the main publications that deal with the collapse of dams in Brazil and its downstream effects on residents living near the aforementioned reservoirs. To this end, a survey will be carried out of the main publications in Capes journals, from 2019 to 2023.

Key-Word: Dams. Ruptures. Risks.

ANALYSIS OF DAM BREAKS IN BRAZIL: AN NTEGRATIVE REVIEW

1 Introdução

De acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens, em 2023 o número de grandes barragens observadas no mundo era de 61.988 mil, com cerca de 15 metros de altura e mais de 3 hectômetros cúbicos de volume de água, equivalente a 3000000 metros cúbicos. A China é líder entre os países, com 24.089 barragens, em segundo lugar fica os Estados Unidos da América, com 10.158 barragens e o Brasil ocupa o oitavo lugar, com 1.280 grandes barragens. As barragens construídas de terra prevalecem no mundo, com aproximadamente 67%, esse é o método mais antigo e proporciona uma ampla e diversificada fundação construtiva. A finalidade destas é

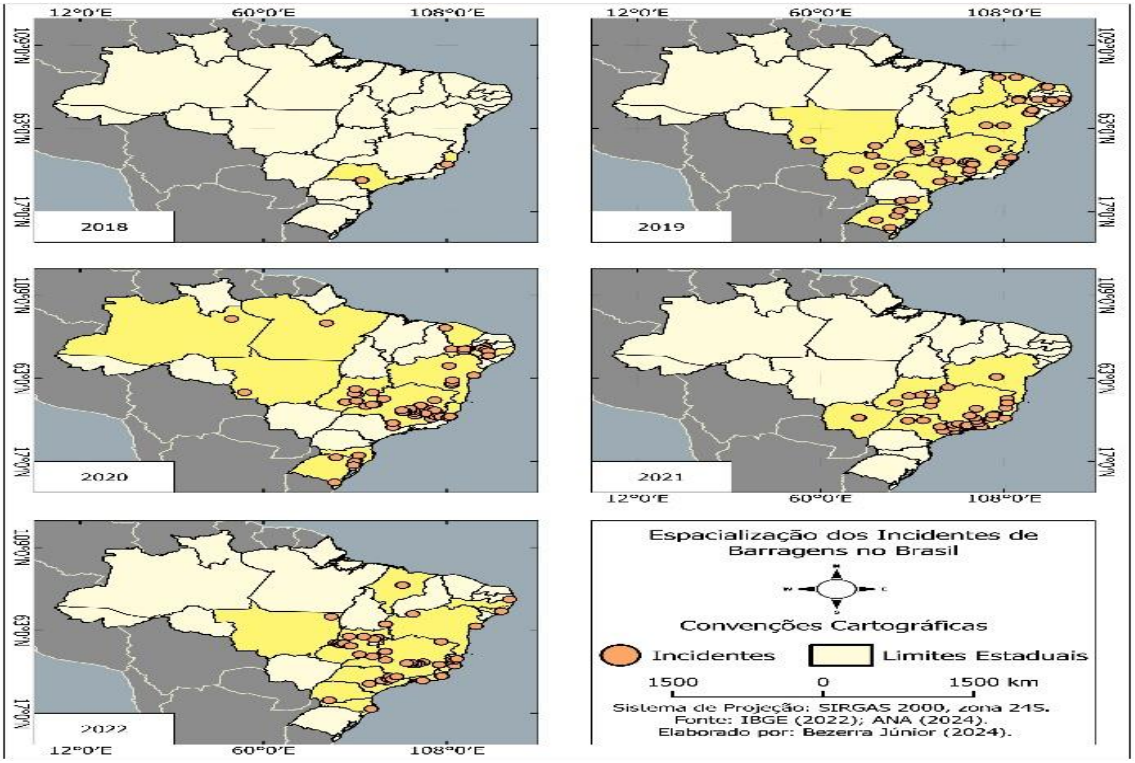
garantir o abastecimento de água para a irrigação, utilização doméstica e industrial nos períodos de estiagem e amenizar os impactos negativos das cheias (ICOLD, 2023).

No que tange ao número de barragens existentes no Brasil, vale ressaltar que as mesmas passaram a ser cadastradas e observadas de maneira mais precisas a partir de 2011, por meio do Relatório de Segurança de Barragens, elaborado pela Agencia Nacional das Águas e pelo Ministério do Meio Ambiente. A elaboração do primeiro Relatório (2011) foi para atender às exigências da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, com o intuito de utilizá-lo como ferramenta de análise para a redução e mitigação de rompimentos de barragens, além de um aperfeiçoamento na gestão de segurança das mesmas. O relatório teve a contribuição de órgãos estaduais e federais fiscalizadores de segurança de barragens, além de empreendedores com envios das informações sobre as barragens exigidas pela lei (ANA, 2011).

Após a implantação da PNSB, os relatórios são elaborados anualmente, considerando todas as informações exigidas pela lei. No que concerne às 23.977 barragens cadastradas no Brasil, são classificadas pelos OFSBs (Órgãos Fiscalizadores de Segurança de Barragens), levando em consideração o DPA (Dano Potencial Associado), a CRI (Categoria de Risco) e seu volume. Em relação ao ano de 2021, o relatório de 2022 apresentou acréscimo de 7% no DPA e de 8% na CRI. Entre as barragens que mais preocupam os OFSBs estão as localizadas nos estados de Pará (35), Minas Gerais (14), Pernambuco (13), Rio Grande do Sul (13) e Espirito Santo (10). O referido relatório apresenta que 51% das barragens que preocupam são construídas por terra homogênea ou terra-enrocamento e aponta que, de acordo com a Lei Federal nº 12.334/2010, entende-se que acidente é a ruptura da estrutura de um

reservatório, com o escoamento exacerbado, provocado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa. Assim, um incidente diz respeito a qualquer episódio que sensibilize o comportamento da barragem ou estrutura anexa a ela que, em caso de descontrole, pode ocasionar um acidente (ANA, 2022). As Figuras 1 e 2 apresentam os incidentes e os acidentes de barragens no Brasil, considerando os últimos cinco relatórios de segurança de barragens brasileiras.

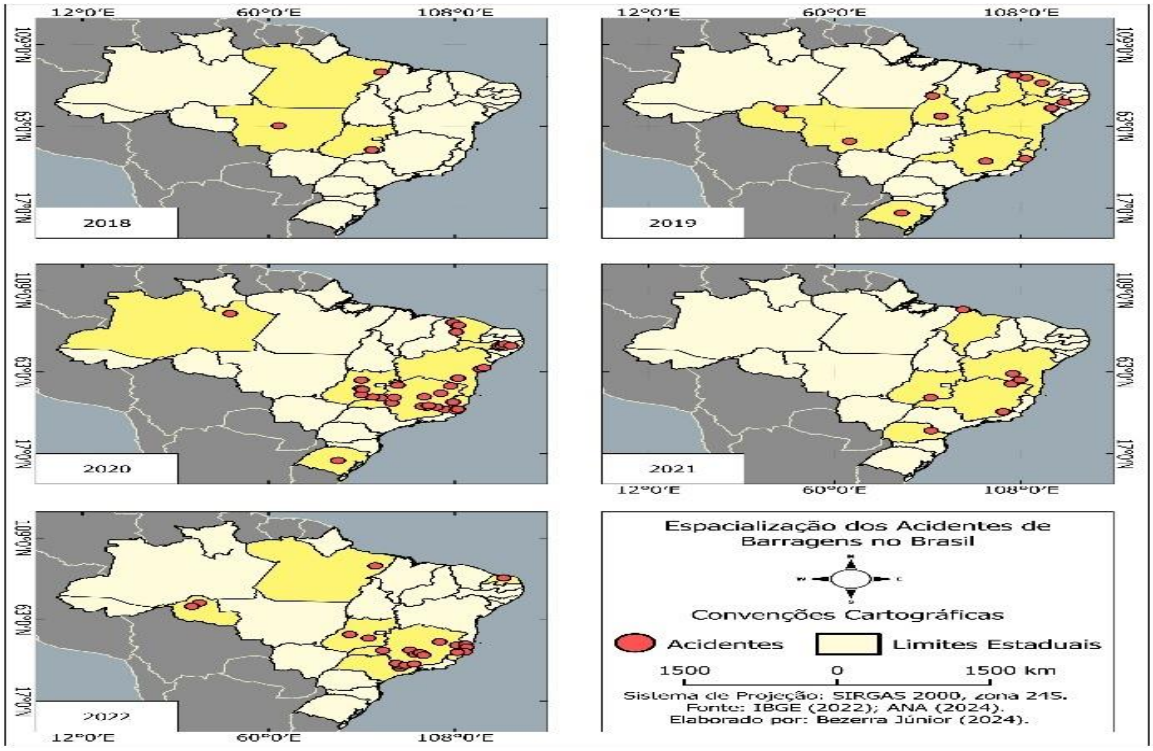
Figura 1 – Incidentes de Barragens no Brasil entre os anos de 2018 e 2022



Fonte: IBGE (2022); ANA (2024); elaborado por Bezerra (2024)

O incidente é um evento físico de pequeno porte, porém indesejável, uma vez que prejudica a funcionalidade e a inteireza da obra. Nesse caso, havendo as precauções e cuidados necessários pode evitar diversos tipos de acidentes. O incidente pode ser considerado uma falha no desempenho, podendo causar danos em curto e longo prazo a operação de uma barragem (Menescal, 2005). A quantidade de incidentes citados pelos relatórios anuais, levando em consideração os últimos cinco relatórios é: 2018 (2), 2019 (58), 2020 (95), 2021 (37) e em 2022 (58), totalizando 250 incidentes por diversas causas, ocorridos no período em barragens brasileiras.

Figura 2 – Acidentes de Barragens no Brasil entre os anos de 2018 à 2022



Fonte: IBGE (2022); ANA (2024); elaborado por Bezerra (2024)

Os termos "acidente" e "incidente", mesmo sendo citados frequentemente em segurança de barragens, podem ser distintos pela relevância do problema, porém, com caráter subjetivo, provoca confusões. Por conta disso, os autores preferem usar o termo "anomalia", uma vez que abrange os dois casos citados (Menescal, 2005). A quantidade de acidentes citados pelos relatórios anuais, levando em consideração os últimos cinco relatórios, foi a seguinte: 2018 (3), 2019 (12), 2020 (44), 2021 (13) e 2022 (24), totalizando 96 acidentes causados por diversas circunstâncias, em barragens brasileiras, ao longo do período dos cinco anos.

Dessa forma, o objetivo perseguido por este artigo consiste em fazer um estudo de revisão integrativa, baseado no estado da arte, a respeito dos rompimentos de barragens no Brasil, a partir das publicações realizadas no período de 2019 a 2023, em periódicos nacionais.

2 Revisão integrativa

A revisão integrativa da literatura é um método de pesquisa que tem como objetivo a realização de estudos e análises sobre o conhecimento produzido, por meio de pesquisas já construídas a respeito de um tema definido. Para a construção da pesquisa foram utilizadas as seis etapas de uma revisão integrativa da literatura, as quais são descritas da seguinte maneira: 1 – identificação do tema e formulação da questão da pesquisa; 2 – estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; 3 – obtenção dos estudos selecionados e pré-selecionados; 4 – categorização dos estudos selecionados; 5 – análise e discussão dos resultados; 6 – apresentação da revisão integrativa (Botelho; Cunha; Macedo, 2011).

Foram realizadas buscas de artigos em duas bases de dados, no Portal de Periódico Capes e na plataforma Scielo, com o intuído de atender a questão problema

e os objetivos desta fundamentação histórica. As buscas foram realizadas pela combinação das seguintes palavras-chave: riscos, barragens, impactos, rompimentos. A utilização dos critérios de inclusões foram os artigos publicados entre os anos de 2019 a 2023, gerando um quantitativo de 435 artigos, sendo 420 no Capes e 15 no Scielo. Ainda, como critério de inclusão foi realizada uma filtragem dos artigos revisados por pares, resultando em 200 artigos. Após esta etapa foram analisados os temas, os objetivos e os resultados, sendo selecionados aqueles que apresentassem semelhança com o nosso estudo. Foram excluídos os artigos duplicados e os artigos que não apresentavam compatibilidade com o tema a ser estudado. Dessa forma, foram extraídos e utilizados um total de 20 artigos contribuintes para esta revisão integrativa da literatura.

Destarte, a pesquisa ainda incluiu os estudos dessa temática no semiárido brasileiro, visto que essa área constitui objeto de estudo de outro trabalho nosso. Assim, foram realizadas novas buscas por artigos, utilizando as bases de dados referentes às primeiras pesquisas. Contudo, nessa etapa foram combinadas as seguintes palavras chaves: riscos, rompimentos, barragens, semiárido. Os resultados desse levantamento, geraram um quantitativo de 238 artigos no Capes e 10 no Scielo. No que se refere aos critérios de inclusão, houve uma alteração em comparação as primeiras pesquisas, com o intuito de alcançar o maior número de trabalhos, sendo considerados os artigos publicados entre 2000 e 2023, cujo quantitativo levantado foi de 245 artigos, dos quais foram analisados os temas, os objetivos e os resultados. Como critério de exclusão foram excluídos os artigos duplicados, bem como os artigos com temas incompatíveis com o objetivo proposto, gerando assim, mais 12

artigos que complementaram essa revisão. Com isso, a revisão conta com a análise de 32 artigos que embasaram a confecção deste referencial.

3 Resultados

Para o desenvolvimento da revisão integrativa foi imprescindível uma análise crítica das abordagens dos estudos, avaliando o rigor científico e as características de cada um. Com isso, foram criadas três categorias para a organização deste estudo, quais sejam: categoria 1 – aborda o rompimento de barragens no Brasil; categoria 2 – enfatiza as medidas preventivas e mitigatórias para rompimentos de barragens no Brasil; categoria 3 – apresenta discussões sobre a gestão e o gerenciamento de barragens no Brasil. Para isso, foram selecionados 32 artigos para a classificação de acordo com os objetivos do trabalho, distribuídos em três categorias, apresentando o título, ano de publicação e o método utilizado (ver Quadros 1, 2 e 3, à frente).

Quadro 1 – Os Rompimentos de Barragens no Brasil

CATEGORIA 1	
Título/ano de publicação	**Método utilizado**
Modelagem de superfície de custo aplicado ao mapeamento de áreas vulneráveis ao rompimento de barragens, Quadrilátero Ferrífero – MG – 2021.	*Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o software DINAMICA EGO.
Metodologia para análise de danos ambientais do rompimento da barragem de Fundão em Bento Rodrigues (MG) – 2019.	Estudo experimental, utilizando o método Maxver.
O Mapeamento da área de risco à jusante do lago igapó em Londrina – PR - Brasil, No caso de rompimento hipotético da barragem* – 2020.	Mapeamento por meio do software de Sistema de Informação Geográfica (SIG).
Análise da Sustentabilidade Ambiental na Operação de Barragens de Rejeitos – 2022.	Revisão bibliográfica com análise de trabalhos científico.
Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra – 2019.	Estudos com ferramentas de geoprocessamento.

Acidentes e incidentes em barragens brasileiras: uma análise dos dados disponíveis nos relatórios de segurança de barragens e da legislação vigente – 2021.	Estudos de levantamento e catalogação de dados.
Verde que vira marrom, reputação que vira lama: extrativismo mineral, desastres e as imagens do "invisível" – 2021.	Estudos por meio de iconografia.
Segurança nas barragens Gangorra e Itaúna contra erosão interna – 2017.	Estudo de campo, utilizando o método de Terzaghi.
Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública – 2020.	Revisão da literatura e análise de dados do cadastro de barragens no Brasil de 2017.
Tailings dam scenario: knowing to avoid new catastrophes – 2022.	Estudo e pesquisa em dados secundários.
O papel das vítimas nas narrativas jornalísticas sobre o desastre em Mariana – 2018.	Mapeamento de publicações jornalísticas.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 2 – As Medidas Preventivas e Mitigatórias para Rompimentos de Barragens no Brasil

CATEGORIA 2	
Título/ano de publicação	**Método utilizado**
Simulação do rompimento de barragens em cascata em uma bacia hidrográfica semiárida – 2022.	Utilização do software HEC-RAS para simulação de cheias.
O barato pode custar caro: desastres ambientais envolvendo a Vale S.A. e relações com riscos empresariais – 2022.	Estudo de caso.
Barragem do Rio todos os Santos no Vale do Mucuri/MG: análise de rompimento para Teófilo Otoni – 2019.	Cálculo com a utilização do método de Ritter.
De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção das medidas de evacuaçã – 2019.	Método hipotético-dedutivo.
Diagnóstico e execução de ações corretivas em barragem de terra: Estudo de caso da barragem Poleiros em Barra de Santa Rosa-PB –2020.	Estudo de campo, utilizando a técnica de inspeção visual.
Segurança nas barragens Gangorra e Itaúna contra erosão interna – 2017.	Estudo de campo, utilizando o método de Terzaghi.
Design e Tecnologia na Cidade: impactos da morfologia de um Dispositivo Individual de	Entrevistas semiestruturadas com preenchimento de formulários manuseados por membros da

Notificação sobre a segurança de pessoas residentes em zonas de risco de rompimento de barragens – 2023.	equipe do projeto DIN (Dispositivo Individual de Notificação).
Mapeamento de Índice de Risco de Inundação de Área a Jusante de uma Barragem em Caso de Rompimento – 2023.	Utilização do software HEC-RAS 2D; o índice de perigo proposto por Stephenson (2002); o índice de vulnerabilidade proposto por Goerl et al. (2012).
Sobre Viver a Cidade em Risco: experiências em uma Barão de Cocais em estado de alerta – 2019.	Estudo de campo e levantamento fotográfico.
Simulação de Rompimento da Barragem São Bento do Una através do Software HEC-RAS – 2022.	Utilização dos softwares QGIS e HER-RAS.
Dam safety in Sergipe: Jacarecica I and Jacarecica II hypothetical cascade dam-break simulation - 2023.	Utilização do software HER-RAS.
Modelagem de superfície de custo aplicado ao mapeamento de áreas vulneráveis ao rompimento de barragens, Quadrilátero Ferrífero – MG – 2021.	*Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o software DINAMICA EGO.
Análise da Sustentabilidade Ambiental na Operação de Barragens de Rejeitos – 2022.	Revisão bibliográfica com análise de trabalhos científico.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 3 - A Gestão e o Gerenciamento de Barragens no Brasil

CATEGORIA 3	
Título/ano de publicação	**Método utilizado**
Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas – 2020.	Ensaio com base em pesquisa documental.
Aspectos legais da segurança de barragens de rejeito de minério: implicações para a qualidade ambiental e usos múltiplos da água no Alto Rio das Velhas (MG) – 2019.	Estudo bibliográfico e uso de técnicas de cartografia e geoprocessamento.
Gestão empresarial de emergências: uma análise dos Planos de Ação Emergencial de barragens de alto dano potencial associado instaladas no município de Ouro Preto/MG – 2019.	Estudo e análise de conteúdo documental.
Gestão de riscos e desastres e as desigualdades sociais: a experiência de Brumadinho após o rompimento da barragem de Córrego do Feijão e a Pandemia	Estudo de caso com pesquisas documentais.

da Covid-19 – 2019.	
Avaliação da maturidade na gestão de segurança de barragens de rejeitos – 2021.	Estudo de caso utilizando blocos de pergutas com o método da ISO 31000.
A identidade dos sujeitos em stuart hall e a catástrofe da Barragem de Fundão, na cidade de Mariana – 2020.	Abordagem qualitativa com uma fase exploratória fundada na pesquisa bibliográfica, seguida de fase descritiva analítica com suporte no método dedutivo.
Distribuição espacial de barragens de rejeito de mineração e configuração de bacias de risco nas regiões hidrográficas brasileiras – 2022.	Estudos e levantamentos de publicações técnicas, normas e bases de dados georreferenciadas.
Tailings dam scenario: knowing to avoid new catástrofes – 2022.	Estudo e pesquisa em dados secundários.
A construção de barragens e seus efeitos sobre comunidades rurais: uma análise a partir do Reassentamento Novo Alagamar – 2020.	Estudo com um enfoque qualitativo, a partir de entrevistas, transcrição e análise dos dados.
Gestão da comunicação em desastres ambientais: conflitos de interesse, de práticas e de discursos – 2018.	Estudo de caso e pesquisa documental.
Narrativas de desenvolvimento e adaptação climática no semiárido do Rio Grande do Norte: o caso da barragem de Oiticica – 2023.	Ampla revisão da literatura e o acompanhamento das diversas agendas, selecionando narrativas dos anos 2020 e 2021.
Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública – 2020.	Revisão da literatura e análise de dados do cadastro de barragens no Brasil de 2017.
Análise da Sustentabilidade Ambiental na Operação de Barragens de Rejeitos – 2022.	Revisão bibliográfica com análise de trabalhos científico.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4 Discussões

Após a seleção, leitura e análise do material coligido foram discutidas individualmente as seguintes categorias: i) rompimentos de barragens no Brasil; ii) medidas preventivas e mitigatórias para rompimentos de barragens no Brasil; e, iii) gestão e gerenciamento de barragens no Brasil.

4.1 Rompimentos de barragens no Brasil

As barragens no Brasil exercem uma função de suma importância em vários setores, desde a contribuição para a geração de eletricidade, formação de reservas hídricas para o abastecimento de água à população, suprimento industrial, além de irrigação agrícola e controle de cheias. Ao longo dos anos foram se diversificando os tipos de barragens para diversas atividades, como são os exemplos das barragens de rejeitos (utilizadas para o acúmulo de resíduos de industrias), barragens de controle de cheias (com propósito de impossibilitar as cheias em áreas populosas), barragens como parte do sistema de abastecimento de água para zonas urbanas e industriais, barragens com a finalidade paisagística (com é o caso do Lago Igapó, em Londrina), no Paraná (Pereira Neto e Alves Júnior, 2020).

No que tange aos materiais utilizados para as construções das barragens, Silva *et al* (2021) relatam que o Brasil tem uma grande diversidade, devido a sua quantidade de matérias primas, como também pela existência de inúmeras necessidades diferentes de usos aliadas às condições geomorfológicas distintas. Em termos numéricos, em sua maioria, são classificadas como barragens de terra, nas quais existem deficiências relacionadas tanto à manutenção, como em relação à fiscalização, acarretando, assim uma série de problemas com barragens dessa natureza.

Fidelis e Malveira (2017), fundamentando-se em estudo desenvolvido por Franco (2008), Pimenta Filho (2013) e Dias (2015), salientam que as barragens, pelo grande acumulo de água que armazenam, podem se tornar frágeis, diante de falhas nos seus projetos ou na sua execução, ocasionando, um alto índice de vulnerabilidade às vidas humanas, animais e propriedades a sua jusante. Os autores enfatizam que

esse fenômeno tem uma maior probabilidade de ocorrer em barragens de terra, pois a percolação da água no espaço interno da estrutura pode ocasionar processos de erosão, considerados como os principais causadores de rompimentos de barragens no mundo, juntamente com o fenômeno conhecido por galgamento ou *overtopping*.

Em relação às barragens de rejeitos, há muitos estudos na literatura sobre rompimentos de desses tipos de reservatórios. A propósito disso, Monteiro *et al* (2022) apontam alguns exemplos de acidentes e incidentes ocorridos, entre 2000 e 2015, em barragens de contenção de rejeitos no Brasil, como: i) a barragem dos Macacos de Mineração do Rio Verde, em 2001, localizada no município de Nova Lima, causando cinco óbitos; ii) a barragem de Cataguases da Indústria Cataguases de Papel, em 2003, no município de Cataguases, que contaminou o rio Paraíba do Sul, provocando a morte de diversos animais e peixes, causando prejuízos a mais de 600 pessoas, que ficaram sem o abastecimento de água por quase um mês; iii) a barragem da Minerado Rio Pomba, em 2007, no município de Miraí, que deixou mais de 400 pessoas desalojadas; iv) a barragem B1 da Mineradora Herculano, em 2014, localizada no município de Itabirito, que cessou a vida de 3 pessoas; além da v) barragem do Fundão da Samarco Mineração, em 2015, localizada no município de Mariana - MG, a qual deixou como consequências a morte de 19 pessoas, 8 desaparecidos e 600 desabrigados.

Uma pesquisa, desenvolvida por Santiago e Leão (2022), relata que o setor de mineração é marcado por rompimentos de barragens. No referido estudo, as autoras realizaram uma análise no cenário atual das barragens de rejeitos utilizando as informações contidas no banco de dados do SIGBM (Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração), com o número de barragens inseridas na

PNSB, bem como as categorias de risco, dano potencial e níveis de emergências. O estudo apontou que o estado de Minas Gerais necessita de uma atenção singular, especialmente no que tange à intervenção do governo, como garantia das áreas a sua jusante.

No dia 5 de novembro de 2015, o Brasil se deparou com um dos piores desastres ambientais do país, causado pelo rompimento da barragem do Fundão, no município de Mariana, estado de Minas Gerais. A barragem comportava 600 milhões de metros cúbicos de minério de ferro. A tragédia ocasionou a morte de 19 pessoas e 50 milhões de metros cúbicos de lama foram jogados na bacia hidrográfica do Rio Doce. Posteriormente, menos de quatro anos depois, o estado de Minas Gerais voltou a vivenciar uma das maiores tragédias do país. No dia 25 de janeiro de 2019, houve o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho, no estado mineiro. A tragédia, além de provocar um desastre ambiental desproporcional, espalhando resíduos de minério pela bacia do rio Paraopeba, cessou as vidas de 272 pessoas, causando um prejuízo irreversível (Scotto, 2021).

Oliveira *et al* (2019), relatam sobre os impactos gerados ao meio ambiente com o rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, a qual abrange nove Distritos, sendo um deles Santa Rita Durão, que contempla o subdistrito de Bento Rodrigues, uma das localidades mais afetada diretamente pelo rompimento da barragem de rejeitos. O referido trabalho aponta que o rompimento atingiu as regiões próximas à barragem, com um grande volume de lama, atingindo aproximadamente 944ha, sendo 249,29ha da vegetação da Mata Atlântica, causando destruição da vegetação ciliar, além de áreas de preservação permanente (APP).

4.2 Medidas preventivas de rompimentos de barragens no Brasil

Um estudo desenvolvido por Lima Neto e Oliveira (2022), relata a importância do Plano de Ação de Emergência, no Ceará, uma vez que, a maioria das barragens do estado apresenta dano potencial elevado. O referido estudo tem como foco, o maior aglomerado de habitações do município cearense de Quixeramobim.

Uma pesquisa coordenada por Barbosa *et al* (2020), aborda as medidas corretivas para a recuperação da barragem Poleiros, localizada no município de Santa Rosa, no estado da Paraíba, sendo composta e classificada como barragem de terra. O objetivo da referida pesquisa foi diagnosticar e solucionar os problemas existentes na barragem que teve a sua construção na década de 1980. A preocupação em diagnosticar e buscar uma solução para esse caso levou em consideração o rompimento da barragem de Camará, localizada na cidade de Alagoa Grande, na Paraíba, situação agravada pela instabilidade do reservatório Poleiros, tendo em vista que o mesmo desde a sua construção, não havia sido restaurado, apresentando erosões e rachaduras. Os autores realizaram duas visitas de campo e utilizaram a técnica de inspeção visual, cumprindo as recomendações do Plano Nacional de Segurança de Barragens. Os resultados da pesquisa de Barbosa *et al* (2020), mostrarm algumas anomalias nas canaletas de drenagem e no maciço da barragem. Foram apresentadas as ações corretivas para essas anomalias, cujo objetivo foi mitigar os possíveis riscos relacionados à população a jusante e ao meio ambiente.

Fidelis e Malveira (2017), verificaram a ocorrência do fenômeno de erosão interna nas barragens Gangorra e Itaúna, localizadas no estado do Ceará. Essa análise é relevante pela localização das barragens, pois nessa região as secas prologadas prevalecem e quando ocorre os cenários de enchimentos dos reservatórios, há um

desgaste do solo, acarretando a erosão. Para evitar o carreamento do solo maciço, os filtros têm uma função primordial, pois são construídos com materiais granulares, além disso, têm como atribuição a retenção das partículas e a drenagem da água.

Santos *et al* (2022), evidenciam nos seus estudos que após os rompimentos das barragens de Brumadinho e Mariana, tendo como responsável a mineradora Vale, foi elaborada uma normativa com o propósito de aumentar as exigências de segurança das mineradoras, cuja publicação se deu com a Lei 14.066/20 de outubro de 2020. Essa Lei tinha como uma das principais exigências, a proibição do uso de barragens em alteamento à montante, com multas entre 2 mil à 1 bilhão de reais para os descumpridores. Diante disso, a Vale contratou um gestor de riscos para contribuir com medidas de mitigação.

Santos *et al* (2022) ainda citam algumas medidas adotadas pela Vale para mitigar os riscos: i) melhoria no sistema de gestão de segurança de barragens de mineração até janeiro de 2020; ii) finalização da documentação de projeto das barragens com a entrega do "AS IS" até dezembro de 2020; iii) descaracterizar as barragens alteadas a montante até o prazo definido pela legislação; e iv) desenvolver os projetos de métodos alternativos de disposição de rejeito até dezembro de 2023. No referido estudo, Santos *et al* (2022), citam que a empresa eliminou a sétima barragem a montante, no ano de 2021. A Vale criou o Comitê Independente de Assessoramento Extraordinário de Segurança de Barragens, um Conselho Administrativo e um Comitê de Riscos específico para riscos geotécnicos. Além disso, a empresa possui um Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM), cujo intuito consiste em reduzir os impactos ambientais e sociais, além de prevenir as vidas das populações vulneráveis (Santos *et al*, 2022).

No que tange às medidas preventivas e mitigatórias em casos de acidentes em barragens de rejeitos, Monteiro *et al* (2022) relatam que as barragens de rejeitos precisam de um plano de ação a ser implementado em caso de acidente. Vazamentos de rejeitos têm consequências negativas tanto para as pessoas quanto para o meio ambiente. Portanto, é essencial ter planos de resposta à emergência que envolvam as comunidades, garantindo que todos saibam como agir em caso de acidente.

No que se refere a realização de simulações de rompimentos hipotéticos como medidas preventivas, Santa Rita *et al* (2023), em seus estudos, assumiram como propósito desenvolver a mancha de inundação da ruptura hipotética das barragens Jacarecica I e Jacarecica II, ambas no estado de Sergipe, uma vez que, as estruturas não possuem Planos de Segurança elaborados. Utilizando o software 2D HEC-RAS (HR), concluiram a partir de uma simulação, que as profundidades máximas (com velocidades de 10 m e 4,5 m.s-1), com uma enchente as ondas com um tempo mínimo de 6 a 8 horas, poderiam atingir o município de Riachuelo, cidade mais próxima à jusante das barragens, atingindo terrenos agrícolas, aldeias, residências e infraestrutura de transporte, evidenciando, assim, a urgência da elaboração de um PAE (Plano de Ação de Emergência).

Vale salientar que simulaçoes hipotéticas são imprecindiveis para uma análise dos pontos atingidos em caso de rompimentos de barragens. A esse respeito, uma pesquisa desenvolvida por Dultra *et al* (2021), concluiu, por meio da técnica de superfície de custo (auxiliada pela análise de AHP – *Analytic Hierarchy Process*), que é possível antecipar a identificação de possiveis áreas vulneraveis em caso de rompimento das barragens da região do Quadrilátero de Ferro, localizado em Minas Gerais. A simulação constatou que a população localizada na zona rural é a mais

prejudicada e que a maior parte das mineradoras existentes naquela região ficam alocadas nas proximidades dos povoados e vilas, onde prevalecem as atividas agrícolas e pecuárias.

Nessa perspectiva, Alves Júnior *et al* (2023) avaliaram em seu estudo, o índice de risco de inundação, por meio do modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D. Foi realizada a simulação do rompimento da barragem, levando em consideração à formação da brecha e a propagação da onda de cheia. Avaliaram o índice de perigo de inundação apontado por Stephenson (2002) e construíram um índice de vulnerabilidade, devido ao rompimento hipotético da barragem de São Bento, sul de Santa Catarina. Com objetivo de avaliar o risco de inundação da área à jusante da barragem com base na metodologia proposta por Goerl *et al.* (2012). No referido estudo foi detectado uma área de inundação de 64,8 km², impactando várias comunidades localizadas à jusante da barragem e uma vasta área de plantação de arroz. Assim, foi possível elaborar um mapeamento de risco, antecipando ações preventivas que poderiam ser adotadas. Esse mapeamento pode ser uma grande ferramenta para a elaboração de um plano de ação emergencial, bem como uma técnica que pode ser utilizada para realizar a educação nas comunidades e acima de tudo, para o planejamento territorial de futuras gerações.

No que tange às medidas para mitigar os impactos causados por rompimentos de barragens, Horta e Damas (2023) analisam em seu estudo quatro modelos do dispositivo DIN (Dispositivo Individual de Notificação), os quais podem ser utilizados como ferramenta de alerta para os moradores de zonas de risco de alagamento em caso de rompimento de barragens em duas cidades do interior do estado de Minas Gerais, Piau e Carmo do Cajurú. Os parelhos serão doados à

população que reside em áreas de inundações, através da Defesa Civil de Minas Gerais. Os moradores passarão a contar com essa ferramenta dentro de suas residências com informações sobre o monitoramento da barragem próxima, permitindo que recebam alerta de evacuação em caso de risco de rompimento. No referido estudo eles analisaram os modelos retrô, sentinela, pet e alarmista. Contudo, o primeiro modelo foi considerado mais eficaz para os moradores, por meio de entrevistas com os mesmos, que se sentiram mais seguros com o modelo DIN retrô.

4.3 Gestão e gerenciamento de barragens no Brasil

Botelho *et al* (2020) focam as suas discussões na gestão e no gerenciamento da barragem de Rejeitos do Fundão (BRF), pertencente a mineradora Samarco S.A e da barragem BI, pertencente a mineradora Vale S.A, ambas localizadas no estado de Minas Gerais. Os autores apontam, separadamente para cada uma das barragens, cinco fatores que podem ter contribuído para o rompimento das mesmas, que são os fatores gerencias, de operação, de manutenção, de engenharia e do ambiente de trabalho.

Botelho *et al* (2020) ainda citam que as duas barragens foram construídas pelo método a montante, o qual é considerado o mais inseguro. Nas operações, por exemplo, não foram seguidas, as orientações do manual de operações das barragens, além utilização de parâmetros técnicos inadequados. Não houve um planejamento adequado para um possível sinistro em relação às duas barragens, uma vez que, na BRF não existia nenhuma sirene de alerta e na BI, além do mais, as sirenes não liberaram o sinal sonoro no momento do rompimento.

Costa *et al* (2019) discutem sobre a limitação que os órgãos fiscalizadores têm em relação a implementação dos instrumentos de gestão e citam o exemplo da

Bacia do Alto Rio das Velhas, localizada no estado de Minas Gerais, que apresenta um total de 88 barragens de rejeito de minério, sendo que 34 não estão inseridas no PNSB (Política Nacional de Segurança de Barragens). Ainda relatam que dentre essas ultimas, 30 foram detectadas com um dano potencial alto ou médio, o que significa que deveriam estar inclusas na política de segurança. Dessa forma, percebe-se que o estado de Minas Gerais apresenta um índice considerável de rompimentos de barragens e o não enquadramento desses reservatórios na PNSB, o que indica uma situação preocupante, visto que, a ausência dos Planos de Ações de Emergências, deixa as comunidades à jusante dessas barragens em situação de elevada vulnerabilidade. Vale a pena acrescentar ainda que as barragens de rejeitos da referida Bacia são à jusante umas das outras, ou seja, em caso de rompimento de uma poderá causar o efeito cascata.

Abordando os prejuízos de uma gestão ineficaz, Costa e Filho (2019), relatam que o Brasil nunca teve políticas satisfatórias para pacificar e mitigar os danos causados por rompimentos de barragens. Esses autores argumentam que tudo foi sempre muito superficial e ainda citam o exemplo do método construtivo à montante, que não segue o que determina a Lei 12.334/2010. De acordo com Carvalho *et al* (2022), foi através dessa lei que o governo brasileiro instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), com o intuito de elaborar instrumentos legais de planejamento e gestão das barragens no país. Ainda relatam que mesmo com a utilização de alguns instrumentos como o PAEBM (o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração) e DCEs (Declaração de Condição de Estabilidade) para a gestão dos riscos de rompimento, ainda não são suficientes para garantir segurança das barragens de rejeito.

Ainda sobre ineficiência de gestão, Leão e Santiago (2022) utilizam o embasamento de outros estudos e relatam que existem com frequência acidentes relacionados às barragens de rejeitos e que muitos desses estão relacionados a uma gestão de segurança ineficiente. Ainda, abordam as resoluções e portarias federais que estabelecem critérios, diretrizes e prazos para o atendimento das exigências estabelecidas pela PNSB no que diz respeito à gestão e segurança das barragens de contenção de rejeitos no Brasil. Frisam também que a fiscalização tem o intuído de verificar a efetivação das obrigações previstas no PSB e de inspecionar as estruturas físicas das barragens.

5 Considerações finais

Na pesquisa de revisão integrativa, ficou evidenciado que nos últimos anos, o Brasil vivenciou desastres ambientais catastróficos e irreparáveis, acarretados por rompimentos de barragens. No levantamento de revisão foi observado que os trabalhos disponíveis são, em sua maioria, sobre barragens de rejeitos, havendo poucos estudos sobre barragens de águas.

É impossível tratar de rompimentos de barragens no Brasil sem mencionar os casos de rompimentos das barragens de Brumadinho e Mariana, consideradas como umas das maiores tragédias sociais e ambientais do país já registradas.

Essas catástrofes evidenciaram a urgência de se aprimorar a regulamentação e fiscalização das barragens do Brasil, buscando uma gestão compartilhada adequada e aplicação rigorosa da lei, inclusive com a utilização dos avanços tecnológicos para realizações de inspeções. A partir de 2010, a Política Nacional de Segurança de Barragens tornou-se um marco em termos de regulamentação, exigindo de maneira rigorosa as inspeções e relatórios de graus de riscos de barragens, cujo propósito era mitigar os impactos sociais e ambientais.

Ficou evidente que, para prevenir falhas estruturais e promover a proteção das comunidades que estão à jusante desses reservatórios, é de suma importância a

institucionalização de um conjunto de ações de vistorias, monitoramento e institucionalização de políticas públicas voltadas para impedir ou amenizar os impactos causados por rompimentos de barragens. O Plano de Ação de Emergência é um grande instrumento para a prevenção e proteção das populações localizadas à jusante, buscando medidas de mitigação para que, em caso de rompimento, se possa salvar o máximo de vidas possíveis e amenizar os impactos do rompimento de uma barragem.

6 Referências

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2011**. Brasília: ANA, 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2022**. Brasília: ANA, 2022.

ALVES JR, F. M.; KOBIYAMA, M.; CORSEUIL, C. W. Mapeamento de Índice de Risco de Inundação de Área a Jusante de uma Barragem em Caso de Rompimento. **Mercator (Fortaleza)**, v. 22, p. e22004, 2023. Disponível em: (https://www.scielo.br/j/mercator/a/bYfg3jbM7cgqNzyZq5dyDKt/#ModalHowcite). Acesso em: 16 de maio de 2024

BOTELHO, M. R. et. al**.** Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional.** ISSN: 2317-6369 (online). Disponível em: (http://dx.doi.org/10.1590/2317-6369000018519), data de acesso em: 15 de novembro de 2023.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

CARVALHO, R. P. B. et. al. Distribuição Espacial de Barragens de Rejeito de Mineração e Configuração de Bacias de Risco nas Regiões Hidrográficas Brasileiras. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, Belo Horizonte, MG, Brasil. **Geografia Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v. 26, e28, 2022.

COSTA, G. E. M. et. al. Aspectos Legais da Segurança de Barragens de Rejeito de Minério: Implicações para a Qualidade Ambiental e Usos Múltiplos da Água no Alto Rio das Velhas (MG). **Geografia**, vol:21, n.45, 2019.

COSTA, G. P; FILHO. E. B. R. A Identidade dos Sujeitos Em Stuart Hall e a Catástrofe da Barragem de Fundão, na Cidade de Mariana. **Rev. Campo Jurídico**, Barreiras-BA v.8 n.1, p.01-21, janeiro-junho, 2020.

FIDELES, Bruna T. M.; MALVEIRA, Vanda T. C. Segurança nas barragens Gangorra e Itaúna contra erosão interna. **Revista Tecnologia**. Fortaleza, p. 5-8. 2018. Disponível em: (https://ojs.unifor.br/tec/article/view/6778). Acesso em 11 de maio de 2024.

HORTA, A.; DAMAS, P. Design e Tecnologia na Cidade: impactos da morfologia de um Dispositivo Individual de Notificação sobre a segurança de pessoas residentes em zonas. **Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación**, n. 209, 1 feb. 2024.

INTERNATIONAL COMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). World Register – General Synthesis. Disponível em: (https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis). Acesso em 27 de mai. 2024.

JUNIOR, A. P. A. et. al. O Mapeamento da Área de Risco à Jusante do Lago Igapó em Londrina – PR - Brasil, no Caso de Rompimento Hipotético da Barragem. **Territorium**, n.º 27 (II), 2020.

LEÃO, S. R; SANTIAGO, A. M. S. Tailings dam scenario: knowing to avoid new catastrophes Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil.

Ambiente & Sociedade, São Paulo. Vol. 25, 2022. Disponível em: (https://www.scielo.br/j/asoc/a/YTqxVFZK4CnHZd6kjxsTs7Q/). Acesso em: 12 dez. 2023.

LIMA NETO, I. E.; OLIVEIRA, L. C. S. Simulação do rompimento de barragens em cascata em uma bacia hidrográfica semiárida. Revista DAE, São Paulo, v. 70, n. 235, p. 203-216, 2022. Disponível em: (https://doi.org/10.36659/dae.2022.031/). Acesso em: 15 nov. 2023.

MALVEZZI, R. (2007). **Semi-árido - uma visão holística**. Brasília: Confea, 140.

MENESCAL, R. DE. A. A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. 2 ed. Brasília: Proágua, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Projeto cadastro de Fontes de abastecimento por água e subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte – diagnostico do município de Lucrécia,** 2005.

MONTEIRO, R. S; OTTONI, A. B. Análise da Sustentabilidade Ambiental na Operação de Barragens de Rejeitos. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 03, p. 231 - 249, set-dez 2022. Disponível em: (http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric), data de acesso em: 06 de novembro de 2023.

NOGUEIRA, Roberto. **Elaboração e análise de questionários: uma revisão da literatura básica e a aplicação dos conceitos a um caso real**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. 27 p. (Relatórios COPPEAD, 350).

NETO, J. H. C; CASTRO, A. E. Pesquisa em educação: discussões iniciais para a construção de uma investigação científica. **Cadernos da Fucamp**. Monte Carmelo, MG, v. 16, n. 27, p. 80-88, 2017.

NOLDUS. (2013). **FaceReader: Tool for automatic analysis of facial expression**: Version 5.0.15. Wageningen, The Netherlands: Noldus Information Technology B. V.

OJIMA, R. A vulnerabilidade socioambiental como conceito interdisciplinar: avanços e potencialidades para pensar mudanças ambientais. **Revista Cronos**, *[S. l.]*, v. 13, n. 1, p. 110–120, 2014. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/cronos/article/view/5627. Acesso em: 28 maio. 2024.

OLIVEIRA, T. R. et all. Metodologia Para Análise De Danos Ambientais do Rompimento da Barragem de Fundão em Bento Rodrigues (Mg). **Holos**, ano 35, v.7, e6187, 2019.

PEREIRA NETO, M.C. Perspectivas da Açudagem no Semiárido Brasileiro e suas Implicações na região do Seridó Potiguar. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia/MG, v.29, n. 2, p. 285-294, mai./ago. 2017. Disponível em: (https://www.scielo.br/j/sn/a/Yfr38bRyrzz3jwsfH6t5W5P/?format=pdf&lang=pt). Acesso em: 04 abr. 2023.

PEREIRA NETO, M. C. Açudes, paisagens e territórios no Seridó Potiguar: bases para a gestão das águas. In: **Hidrogeografia e gestão das águas no semiárido**. Mossoró: UERN, 2022, p.138-149.

SANTOS, A. S. et.al. **O Barato pode Custar Caro: Desastres Ambientais Envolvendo a Vale S.A. e Relações Com Riscos Empresariais**. R. Gest. Anál., Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 169-182, set./dez. 2022.

SCOTTO, Gabriela. Verde que vira marrom, reputação que vira lama: extrativismo mineral, desastres e as imagens do "invisível". Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia – Fluminense. **Vértices (Campos dos Goitacazes)**, v. 23, núm. 1, 2021.

SILVA, E. L. e; SILVA, M. A. da. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**, *[S. l.]*, v. 44, n. especial 2 jul, p. 242–261, 2020. Disponível em: (https://saudeemdebate.org.br/sed/article/view/3248). Acesso em: 17 maio. 2024.

SILVA, R. S. A. et. al. Acidentes e Incidentes em Barragens Brasileiras: Uma Análise dos Dados Disponíveis nos Relatórios de Segurança de Barragens e da Legislação Vigente. **Holos**, Ano 37, v. 6, e10245, 2021.