

**ELABORAÇÃO DE PLANOS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA
PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.**

CARLOS DANIEL DOS SANTOS MEDEIROS

LUÍS HENRIQUE GONÇALVES COSTA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos, iluminar meu caminho e me dar força nos momentos mais difíceis. Sua graça e amor são a base de tudo o que conquistei.

À minha amada família, meu pai Onaldo Lucena de Medeiros e a minha mãe Francisca Nucia dos Santos Medeiros, quero expressar minha profunda gratidão. Vocês sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando meu crescimento. Sem o amor e apoio de vocês, nada disso seria possível.

Ao meu professor, Luís Henrique Gonçalves Costa, quero expressar meus agradecimentos sinceros. Sua paixão pelo ensino e dedicação em transmitir conhecimento tem sido uma inspiração para mim. Suas orientações moldaram meu pensamento e me ajudaram a alcançar meu potencial máximo.

Na minha instituição UFERSA, quero considerar o papel fundamental que desempenhou em minha jornada acadêmica e pessoal. Ela me proporcionou oportunidades de aprendizado e crescimento que nunca esquecerei. Sou grato por fazer parte desta comunidade de aprendizado.

RESUMO

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi instituída no Brasil através da Lei Federal N.º 12.334, em 2010, porém, com o rompimento das barragens de Mariana e Brumadinho, o tema que trata da segurança de barragens ganhou maior destaque. De forma a auxiliar na construção de pesquisas relacionada com o tema do presente artigo visa, uma revisão de literatura é uma análise abrangente das pesquisas existentes sobre o assunto. Nesse contexto o objetivo principal é avaliar como os planos de segurança para barragens de terra têm sido desenvolvidos e aprimorados ao longo do tempo, métodos de elaboração, viabilidade econômica, vantagens, desvantagens e desenvolvimento de uma gestão de segurança. Como resultado, busca-se contribuir para o aprimoramento das práticas de segurança, reduzindo os riscos associados às barragens de terra em todo o mundo. Concluindo assim, o estudo destaca a necessidade de uma abordagem multidisciplinar, incluindo engenheiros, geólogos, gestores e reguladores da água, para garantir a segurança destas estruturas para promover a sustentabilidade e a segurança hídrica a longo prazo.

Palavras-chaves: Barragem; Terra; Água; Segurança; Estrutura.

ABSTRACT

The National Dam Safety Policy (PNSB) was established in Brazil through Federal Law No. 12,334, in 2010, however, with the collapse of the Mariana and Brumadinho dams, the issue that deals with dam safety gained greater prominence. In order to assist in the construction of research related to the topic of this article, a literature review is a comprehensive analysis of existing research on the subject. In this context, the main objective is to evaluate how safety plans for earthen dams have been developed and improved over time, preparation methods, economic viability, advantages, disadvantages and development of safety management. As a result, we seek to contribute to the improvement of safety practices, reducing the risks associated with earthen dams around the world. In conclusion, the study highlights the need for a multidisciplinary approach, including engineers, geologists, water managers and regulators, to ensure the safety of these structures to promote sustainability and long-term water security.

Key words: Dam; Earth; Water; Security; Structure.

1 INTRODUÇÃO

A construção de barragens é essencial para o desenvolvimento da engenharia civil e da vida humana, o gerenciar os recursos hídricos de várias formas, por exemplo, o fornecimento de água potável, irrigação, geração de energia, prevenção de enchentes e armazenamento de rejeitos. Existem dois tipos de barragens: a de armazenamento de água que pode ser construída tanto de terra (sendo construídas geralmente com terra, pedra ou matérias de enchimento, como de concreto geralmente são mais resistentes e duráveis, o outro tipo trata da barragem de rejeitos ou de mineração servindo para guardar rejeitos sólidos ou líquidos extraídos da mineração a qual foi designada (LI; MIN; XIAOLEI, 2012).

O Brasil tem enfrentado problemas relacionados a segurança de barragens nos últimos anos, com diversos alguns incidentes de rompimentos de barragens. Os mais destacados remetem o rompimento da barragem de fundão em Mariana, localizada em Minas Gerais, ocorrido em 2015, classificado como um dos desastres mais destrutivos no Brasil. Poucos anos depois, mais um desastre, de magnitude ainda maior, com o rompimento da barragem de mina de córrego do feijão, em Brumadinho, também em Minas Gerais, com registro de houve mais de 270 mortes confirmadas, e um impacto ambiental de escala desastrosa. Passando apenas dois anos, na mesma barragem de Brumadinho, ocorre outro rompimento, em outro setor, felizmente sem vítimas, e com dano ambiental controlado (SAMPAIO, 2021).

O rompimento de barragens de terra é uma tragédia que não apenas afeta estruturas físicas, mas também deixa cicatrizes profundas nas comunidades e no meio ambiente ao seu redor. Estes eventos catastróficos podem ocorrer devido a uma variedade de razões, incluindo falhas estruturais, erosão, fortes chuvas ou falta de manutenção adequada. Tendo exemplos dessas tragédias, podemos citar a barragem de Campo Redondo no Agreste Potiguar em 1981 a barragem se rompeu deixando um rastro de destruição por mais de 80 quilômetros deixando assim 6 mortos e mais de 1.000 casas destruídas, se não fosse pela telefonista Maria de Fatima da Silva que avisou o prefeito da época Hildebrando Teixeira avisando que a barragem estava prestes a se romper, fazendo assim a cidade conseguir evacuar a tempo desta forma evitando um desastre maior. Quando uma barragem de terra se rompe, a água é liberada com uma força avassaladora, destruindo tudo em seu caminho e deixando um rastro de devastação (ANDRADE; SOUZA, 2015).

Os Planos de Segurança de Barragens (PSB) são essenciais para desenvolver e garantir a segurança de barragens, desempenhando um papel importante para o desenvolvimento tecnológico, redução de riscos, e prevenção de acidentes. O PSB tem por objetivo caracterizar as barragens, identificar de riscos, apresentar planos de ação para emergências (PAE), monitorar e controlar as manutenções das barragens. Na legislação brasileira, as barragens são classificadas pelo potencial de risco, e exige que os empreendedores elaborem planos de segurança de barragens de acordo com sua classificação, suporte hídrico, nível de construção, ou material utilizado, sendo fundamental que as empresas evitem acidentes e futuros rompimentos (BRASIL, 2010).

A problematização em torno das barragens e reservatórios de terra é uma expressão importante do nosso compromisso com o desenvolvimento sustentável. Questionar, discutir e resolver os desafios associados a estas estruturas não é apenas necessário, mas também uma oportunidade de inovação e melhoria. A instabilidade do solo, as alterações climáticas e a gestão dos recursos hídricos são questões complexas que requerem soluções cuidadosamente consideradas.

Uma revisão de literatura é essencial para a elaboração de planos de segurança de barragens, possibilitando identificar as melhores práticas, avaliar a legislação vigente, avaliar a eficácia o PSB. Ante o exposto, surge a pergunta: quais são as melhores práticas e abordagens utilizadas em planos de segurança de barragens de terra, para armazenamento de água, e como elas têm sido implementadas?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura para fins científicos, se coloca como processo essencial no desenvolvimento de teses, dissertações, um projeto ou artigos científicos. Ela desempenha um papel informativo e crucial para desenvolver a contextualização, fundamentação e a contribuição para o conhecimento científico. O processo está associado a uma análise crítica e organizada do conhecimento já existente de forma a estabelecer uma base para o trabalho que está sendo desenvolvido, além de ser muito importante para o processo de pesquisas científicas está associada a uma importante análise crítica e organizada do conhecimento já existente para assim ajudar a estabelecer uma base estabelecer uma base para o trabalho atual (DORSA, 2020).

Os principais objetivos de uma revisão de literatura, se dão referente a seu estudo primário, este estudo utilizará métodos específicos para planejar e desenvolver uma questão bem elaborada e bem completa referente aos estudos primários relevantes a contexto dos dados abordados. O quadro 1 apresenta os objetivos, funções e práticas da revisão literária (MARTINS, 2018).

Quadro 1: retrata pontos importantes da revisão de literatura

Objetivos	Funções	Práticas
Identificação de Lacunas no Conhecimento	Síntese e Análise Crítica	Abrangência e Atualidade
Contextualização do Problema de Pesquisa	Fundação Teórica	Organização Lógica
Definição de Conceitos	Construção de uma Narrativa Coerente	Citações Adequadas

Fonte: (MARTINS, 2018)

Ainda segunda a autora, a revisão de literatura desempenha um papel crítico na pesquisa científica, pois estabelece uma base teórica, contextualiza o problema de pesquisa e ajuda a identificar lacunas no conhecimento. Ao seguir as melhores práticas na condução da revisão de literatura, os pesquisadores podem garantir que seu trabalho seja sólido, relevante e contribua significativamente para o avanço do conhecimento em seu campo de estudo. Portanto, uma revisão de literatura é uma etapa essencial na criação de artigos científicos de alta qualidade (MARTINS, 2018).

Com base no referencial teórico, montamos o processo de revisão de literatura de forma atender o objeto da pesquisa.

3 OBJETIVOS

3.1.1 Objetivos Gerais

- Realizar uma revisão de literatura sobre o tema de elaboração de planos de segurança de barragens de terra, para armazenamento de água;
- Realize uma revisão completa dos estudos selecionados, buscando uma compreensão profunda de seus métodos, resultados e conclusões;
- Métodos mais eficazes para construir planos de segurança terrestre, avaliar as melhores práticas existentes ou revisar as diretrizes ao longo do tempo.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as melhores práticas e abordagens aplicadas em planos de segurança de barragens de terra;
- Identificar os modelos de implementação dos planos de segurança de barragens;
- Defina critérios de inclusão e exclusão para os estudos a serem considerados, como ano de publicação, idioma e tipo de publicação (por exemplo, artigos revisados por pares);
- Avaliar os títulos e resumos dos artigos identificados na busca para determinar sua relevância.

4. METODOLOGIA

Tendo como principal objetivo desta pesquisa realizar busca em periódicos, artigos de publicados em congressos e livros sobre palavras-chaves do trabalho, Planos de segurança de barragens; Segurança de barragens; Gestão de riscos de barragens; Avaliação de riscos de barragens; Monitoramento de barragens; Inspeção de barragens; Manutenção de barragens; melhores práticas de segurança de barragens; Regulamentação de barragens; Casos de falha de barragens. Realizar triagem dos artigos, retirando os artigos duplicados; realizar uma análise bibliométrica das publicações (ano, autores, revistas, métodos utilizados). A elaboração de planos de segurança para barragens de terra destinadas ao armazenamento de água é uma preocupação importante, dada a necessidade de garantir a segurança das comunidades que vivem a jusante dessas estruturas.

5 CONSTRUÇÃO DA REVISÃO DE LITERATURA

O conceito de gestão de segurança de barragens foi abordado por Jeon et al. (2009), como um modelo *Dam Safety Management* (DMS) ou gestão de segurança de barragens sendo um modelo importantíssimo para o desenvolvimento e construção de barragens em todo o mundo, constituindo um sistema que envolve um conjunto de regulamentos, orientações, monitoramento, tecnologia, e um controle de riscos com o objetivo de garantir a segurança de barragens, prevenir acidentes e amenizar os danos em uma provável falha. O DSM é baseado em pesquisas sobre a quebra de barragens e em tecnologias avançadas de modelagem de processos de quebra de barragens, modelagem de propagação de enchentes e avaliação de riscos.

A pesquisa de Lin, Mim, Xiaolei (2012), aborda que a gestão de segurança de barragens é realizado por especialistas de diferentes áreas engenharia de barragens, hidrologia, geotecnia, modelagem de matemática e entre outras também, os pesquisadores coletam vários dados das características das barragens como a geometria da barragem, materiais utilizados na sua construção, dados geotécnicos os dados de monitoramento da barragem e coletam dados das condições hidrológicas e meteorológicas de toda a sua área.

Com bases nesses dados, os pesquisadores desenvolvem modelos matemáticos, como também programas computacionais para criar para assim simular o comportamento da barragem e gerar vários tipos de desafios para avaliar as suas condições para saber se irá resistir a furacões, enchentes, terremotos, deslizamentos de terra ou até mesmo suprir uma carga mais elevada do que está suprimindo tanto se for rejeito ou até mesmo água, sendo assim esses modelos servem para avaliar riscos de quebra de barragens e também para desenvolver planos de gerenciamento de risco e de segurança (LI, MIN, XIAOLEI 2012).

De forma especificar o *Dam Safety Management*, será abordado as vantagens e desvantagens desse modelo. No quadro 2 será especificado os pontos vantajosos e desvantajosos desse modelo:

Quadro 2: Vantagens e desvantagens

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Melhora a segurança das barragens, prevenindo acidentes e minimizando danos em caso de falha.	Pode ser caro e exigir investimentos significativos em tecnologias e sistemas de monitoramento e reparo de segurança de barragens.
Permite uma gestão mais eficiente e sistemática da segurança de barragens.	Pode ser complexo e exigir uma equipe de especialistas em diferentes áreas, como engenharia de barragens, hidrologia, geotecnia, modelagem matemática, entre outros.
Inclui sistemas de monitoramento e reparo de segurança de barragens.	Pode ser difícil de implementar em países com recursos limitados ou em áreas remotas.

Fonte: (LI, MIN, XIAOLEI 2012).

Sendo assim o modelo DSM tem muito mais pontos positivos do que negativos, olhando de uma perspectiva analítica veremos que esse modelo é essencial até nos modelos de gestão mais modernos, pois todo modelo de Gestão de Segurança de Barragens possui um traço do modelo DSM, assim no próximo tópico será abordado como é elaborado a construção das barragens de terra.

5.1 Construção das barragens de terra

As construções de barragens de terra têm sido impulsionadas com o maior propósito de armazenar água tanto para a área industrial como também para a população, para atender às grandes demandas crescentes e para garantir a segurança hídrica das regiões secas e áridas, mais com seu desenvolvimento também vem os seus riscos, as barragens de terra ou de rocha se não tiver um bom planejamento podem ocasionar rompimento ou até mesmo transbordar para fora do seu compartimento e assim afetando tanto a população que convive próximo a barragem como o meio ambiente e a flora, por isso é muito importante que as barragens de terra sejam construídas de forma segura e seguindo as normas técnicas da Agência Nacional de Águas a ANA, tem um papel fundamental para desenvolvimento seguro e crucial na construção de barragens, tendo o importante trabalho de analisar a sua construção e regulamentar e fiscalizar para que ocorra tudo de forma que está descrito na lei 12.334, assim garantindo o bem estar das pessoas e do meio ambiente, importante ressaltar que a análise da barragem de terra deve ser realizada por profissionais qualificados e experientes, seguindo normas técnicas e padrões de qualidade (ANA, 2022).

5.1.1 Monitoramento de uma barragem de terra (ANA, 2022)

- Inspeção visual: é realizada uma inspeção visual da barragem para identificar possíveis problemas, como erosão, trincas, deformações, entre outros;
- Análise de dados: os dados coletados pelos equipamentos de monitoramento são analisados para identificar possíveis problemas e avaliar a estabilidade da estrutura;
- Análise de risco: é realizada uma análise de risco para avaliar os possíveis cenários de falha da barragem e os impactos que eles podem causar;
- Plano de ação: com base nos resultados da análise de risco, é elaborado um plano de ação para mitigar os riscos identificados e garantir a segurança da barragem;
- Monitoramento hidrológico: o monitoramento hidrológico é realizado para avaliar a quantidade e qualidade da água que passa pela barragem, visando identificar possíveis problemas de vazão, qualidade da água, entre outros.
- Monitoramento geotécnico: o monitoramento geotécnico é realizado para avaliar a estabilidade da estrutura da barragem, visando identificar possíveis problemas de deformação, deslocamento, entre outros.
- Monitoramento ambiental: o monitoramento ambiental é realizado para avaliar os impactos ambientais da barragem, visando identificar possíveis problemas de erosão, assoreamento, qualidade da água, entre outros.
- Simulações de cenários de emergência: as simulações de cenários de emergência são realizadas para avaliar a capacidade de resposta da barragem em caso de acidentes, visando identificar possíveis problemas e melhorar os planos de ação de emergência

Com o objetivo de analisar a construção de uma barragem de terra para o armazenamento de água, será ressaltado pontos da legislação brasileira para seu funcionamento.

5.1.2 Legislação para o funcionamento das barragens de terra

No Brasil, a legislação que regulamenta o funcionamento das barragens de terra é a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010) e a Resolução nº 143/2012 da Agência Nacional de Águas ANA, que estabelecem as diretrizes e os critérios técnicos para a segurança de barragens, essa legislação estabelece que as barragens devem ser projetadas de forma segura e seguindo as normas técnicas, devem ser realizadas visitas de inspeções e manutenção com regularidade para manter a integridade da estrutura da barragem (BRASIL, 2010).

A legislação da agência nacional de águas, estabelece que as barragens devem ser classificadas de acordo com seu potencial risco tanto para o ambiente como também para o social, pois em caso de rompimento da barragem deve ter um plano específico de segurança referente a sua região ou onde foi construída de forma, que minimize os danos que esse rompimento irá causar. A ANA tem um papel fundamental para o Brasil que é fiscalizar e regulamentar as barragens para segurança da vida ambiental e a vida humana, de forma que as empresas que são responsáveis de dirigir e supervisionar as barragens devem anexar relatórios periódicos da situação que a barragem se encontra e além disso a agência nacional de água deve realizar visitas para analisar pessoalmente a situação da barragem e fazer o seu relatório para analisar com o relatório da empresa responsável e ver se os dados estão de acordo com o previsto (ANA, 2022).

A legislação brasileira sobre barragens de terra é importante para garantir a segurança pública e ambiental. No entanto, a eficácia desta lei depende não só da sua existência, mas também da sua aplicação diligente. É essencial que os regulamentos sejam atualizados regularmente para acompanhar a inovação tecnológica e as mudanças nas condições ambientais.

5.1.3 Análise de construção da barragem de terra (ANA, 2021)

- Altura da barragem: é a altura máxima da estrutura, medida a partir do ponto mais baixo do terreno até o topo da barragem;
- Volume do reservatório: é a quantidade de água que a barragem é capaz de armazenar;
- Talude: é a inclinação da superfície da barragem, medida em relação à horizontal;
- Cota de coroamento: é a altura máxima da barragem em relação ao nível do mar;
- Pressão hidrostática: é a pressão exercida pela água sobre a estrutura da barragem;
- Fator de segurança: é um índice que indica a relação entre a resistência da estrutura e as forças que atuam sobre ela. Quanto maior o fator de segurança, mais segura é a barragem;
- Plano de ação de emergência: é um documento que estabelece as medidas a serem tomadas em caso de acidentes ou emergências na barragem.

A análise da construção de barragens de terra é um processo importante que vai muito além das técnicas tradicionais de engenharia. Representa uma abordagem detalhada e cuidadosa à segurança, eficiência e sustentabilidade, combinando conhecimentos geotécnicos, técnicas avançadas de modelação e uma profunda compreensão das necessidades da comunidade local para construir barragens de terra. Analisar não é apenas

criar estruturas físicas, mas também construir confiança e resiliência na vida das pessoas afetadas.

5.2 Fundamentos dos planos de segurança de barragens de terra

Os fundamentos dos planos de segurança de barragens de terra, tem como objetivo prevenir acidentes e minimizar os impactos em causa de acidentes no rompimento da estrutura, sendo que esses planos devem ser elaborados de forma que siga as normas técnicas da legislação brasileira, como a política nacional de segurança de barragens PNSB que retrata na lei, (nº 12.334/2010) tendo como resolução nº 143/2012 na agência nacional de águas (BRASIL, 2010).

5.2.1 Principais pontos dos planos de segurança de barragens de terra (BRASIL, 2010)

- Identificação dos riscos: é fundamental identificar os possíveis riscos associados à barragem, como erosão, trincas, deformações, entre outros, e avaliar os impactos que eles podem causar em caso de rompimento;
- Monitoramento: é importante instalar equipamentos de monitoramento, como piezômetros, inclinômetros e extensômetros, para medir a pressão da água, a deformação da estrutura e outros parâmetros relevantes;
- Plano de ação de emergência: é necessário elaborar um plano de ação de emergência para cada barragem, visando minimizar os impactos em caso de acidentes. Esse plano deve estabelecer as medidas a serem tomadas em caso de rompimento da barragem, como a evacuação da população, o acionamento dos órgãos de defesa civil, entre outros;
- Inspeções e manutenções regulares: é fundamental realizar inspeções e manutenções regulares na barragem, visando garantir a integridade da estrutura e prevenir possíveis problemas;
- Capacitação dos profissionais: é importante capacitar os profissionais envolvidos na gestão e operação da barragem, visando garantir a segurança da estrutura e a efetividade do plano de segurança.

A base de um plano de segurança de barragens terrestres é o pilar que sustenta a confiança da comunidade na infraestrutura hídrica. Esta não é apenas documentação técnica; são fortes compromissos com segurança, sustentabilidade e responsabilidade.

5.2.2 Importância da ANA no desenvolvimento nos planos de segurança de barragens de terra

A agência nacional de águas ou ANA tem um papel fundamental no desenvolvimento de planos de segurança de barragens de terra, tendo como principal ponto atuar na fiscalização, regulamentação e capacitação de profissionais envolvidos na gestão e operação dessas estruturas. Além disso a (ANA), realiza ação de treinamento para capacitar todos os seus profissionais envolvidos na gestão das barragens de terra e seus modelos de plano de segurança, visando assim garantir uma maior segurança na sua estrutura e construção (ANA, 2021).

A ANA também monitora barragens e verifica o cumprimento dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira. A ANA realiza inspeções regulares nas barragens, avalia a segurança e a estabilidade da estrutura e pode impor sanções caso as normas sejam violadas. Em resumo, a ANA desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de barragens de terra no Brasil e está ativamente envolvida na supervisão, regulação e formação de profissionais envolvidos na gestão e operação destas estruturas. Agência nacional de águas quer garantir a segurança e a estabilidade das barragens, protegendo assim as pessoas e o ambiente (ANA, 2022).

5.2.3 Modelos de gerenciamento de planos de segurança de barragens de terra (LI, MIN, XIAOLEI, 2012)

- Modelo de gestão centralizada: em que uma agência governamental central é responsável pela implementação dos planos de segurança de barragens, incluindo monitoramento, reparo e manutenção;
- Modelo de gestão descentralizada: em que várias agências governamentais locais são responsáveis pela implementação dos planos de segurança de barragens em suas respectivas áreas;
- Modelo de gestão compartilhada: em que várias organizações, incluindo empresas de energia, agências governamentais e comunidades locais, compartilham a responsabilidade pela implementação dos planos de segurança de barragens;
- Modelo de gestão privada: em que empresas privadas são responsáveis pela implementação dos planos de segurança de barragens, geralmente em parceria com agências governamentais locais.

O modelo de gestão de barragens de terra desempenha um papel essencial na segurança hídrica e no equilíbrio ambiental da comunidade. É essencial uma abordagem proativa, envolvendo as comunidades locais, tecnologia avançada de monitorização e um compromisso com a sustentabilidade. Num mundo onde as alterações climáticas e o crescimento populacional estão a exercer pressão sobre os recursos hídricos, um modelo de gestão eficaz não é apenas uma escolha, mas uma necessidade. Não só representa uma estrutura segura, mas também demonstra um compromisso com a proteção do meio ambiente e do bem-estar das gerações futuras.

5.3 Principais tecnologias para construção de barragens de terra

De acordo com o , as principais questões técnicas relacionadas à construção de barragens de terra incluem a análise de estabilidade de taludes, o desempenho sísmico da barragem, índices de resistência não lineares dos materiais da barragem, métodos de análise de estabilidade estática/dinâmica, padrões de controle de segurança para deformação permanente por terremotos e medidas de reforço sísmico, assim para supervisão e controle da qualidade da construção, o critério de controle para compactação de materiais terrestres e o método de detecção rápida para qualidade de preenchimento (MA, CHI, 2016).

De acordo que a tecnologia está avançando o estilo de construção de barragens de terra estará se desenvolvendo também, assim analisando os princípios para o controle de deformação do núcleo da terra e a coordenação da deformação da parede do núcleo e do material da casca da barragem, bem como um critério de controle de infiltração para prevenção de infiltração, filtragem e drenagem, sendo assim a utilização de múltiplos métodos para análise e avaliação abrangente da estabilidade dinâmica contra o deslizamento do talude da barragem e propõe medidas anti sísmicas comuns, como GPS e PDA, para monitoramento em tempo real e controle de feedback de transporte de materiais da barragem, parâmetros de construção, resultados de testes e dados de monitoramento de segurança, que é uma inovação importante para o controle de qualidade da construção de barragens de terra (MA, CHI, 2016).

Abordando de forma analítica, questões relacionadas à análise de estabilidade de taludes, desempenho sísmico da barragem, índices de resistência não lineares dos materiais da barragem, métodos de análise de estabilidade estática/dinâmica, padrões de controle de segurança para deformação permanente por terremotos e medidas de reforço sísmico (MA, CHI, 2016).

5.3.1 Principais aplicações das barragens de terra na engenharia civil e seu desenvolvimento tecnológico (ANA, 2022)

- Armazenamento de água: as barragens de terra são frequentemente utilizadas para armazenar água para abastecimento humano, irrigação, geração de energia hidrelétrica, entre outras finalidades;
- Controle de enchentes: as barragens de terra também podem ser utilizadas para controlar enchentes em rios e córregos, reduzindo o risco de inundações em áreas urbanas e rurais;
- Controle de erosão: as barragens de terra podem ser utilizadas para controlar a erosão do solo em áreas vulneráveis, como encostas e margens de rios;
- Recuperação ambiental: as barragens de terra podem ser utilizadas para recuperar áreas degradadas, como antigas áreas de mineração;
- Lazer e turismo: algumas barragens de terra também são utilizadas para fins recreativos, como a prática de esportes náuticos e o turismo.

5.4 Principais danos causados pela construção de barragens de terra ao meio ambiente e social

Para minimizar esses impactos, é fundamental que a construção e operação das barragens de terra sejam realizadas de acordo com as normas técnicas e padrões de segurança estabelecidos pela legislação brasileira, como a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010). Além disso, é importante que sejam realizados estudos de impacto ambiental e social antes da construção da barragem, visando identificar e mitigar os possíveis impactos negativos (ANA, 2021).

- Impactos na fauna e flora: a construção da barragem pode afetar a fauna e flora da região, especialmente se houver a necessidade de desmatar áreas para a construção da estrutura;
- Alteração do curso d'água: a construção da barragem pode alterar o curso d'água, afetando a dinâmica do ecossistema local e a disponibilidade de água para outras atividades;
- Erosão e assoreamento: a construção da barragem pode aumentar a erosão e o assoreamento do rio a montante da estrutura, afetando a qualidade da água e a biodiversidade;
- Riscos de rompimento: barragens de terra podem apresentar riscos de rompimento, especialmente se não forem construídas e operadas de acordo com as normas técnicas e padrões de segurança estabelecidos pela legislação brasileira;

5.4.1 Análise de estudos realizados para a prevenção do meio ambiente (ANA, 2022)

- Estudo de Impacto Ambiental EIA: o EIA é um estudo técnico que avalia os impactos ambientais e sociais da construção da barragem, identificando as medidas necessárias para minimizar ou compensar esses impactos.
- Plano de Controle Ambiental PCA: o PCA é um documento que estabelece as medidas de controle ambiental que devem ser adotadas durante a construção da barragem, visando minimizar os impactos ambientais.
- Plano de Recuperação de Áreas Degradadas PRAD: o PRAD é um documento que estabelece as medidas necessárias para recuperar as áreas

degradadas pela construção da barragem, visando restaurar a biodiversidade e a qualidade ambiental da região.

- Plano de Monitoramento Ambiental PMA: o PMA é um documento que estabelece as medidas de monitoramento ambiental que devem ser adotadas durante a construção e operação da barragem, visando avaliar os impactos ambientais e garantir a efetividade das medidas de controle ambiental adotadas.
- Plano de Ação de Emergência PAE: o PAE é um documento que estabelece as medidas de prevenção e resposta a emergências que devem ser adotadas em caso de acidentes na barragem, visando minimizar os impactos ambientais e sociais.

Portanto, é importante que estudos de impacto ambiental e social sejam realizados antes da construção da barragem para identificar e minimizar possíveis impactos negativos. Além disso, é fundamental que a construção e operação da barragem cumpram as normas técnicas e de segurança estabelecidas pela legislação brasileira, como a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010). Também é importante prevenir impactos ambientais na construção de barragens de terra para garantir a segurança do projeto e evitar acidentes como falhas de barragens que podem causar danos irreparáveis ao meio ambiente e à sociedade (ANA, 2021).

5.5 Problemas relacionas a construção de barragens de terra

Não existe um único problema principal na construção de barragens de terra, mas sim vários problemas que podem surgir durante o processo de construção e que afetam a segurança e a estabilidade da barragem. Os principais problemas estruturais colocados pelas barragens de terra são transbordamento, a erosão regressiva ou em tubo de (Piping) e instabilidade de taludes. Além disso, questões relacionadas a falhas de projeto e construção também podem levar a desastres, como rompimento ou rompimento de barragens (MONTEIRO, 2018).

- Transbordamento: ocorre quando o fluxo em um vertedor excede aquele para o qual foi projetado e a folga considerada na barragem.
- Erosão regressiva ou em tubo (piping): consiste no transporte de partículas de solo pela água, progredindo de jusante para montante, formando um tubo de erosão que ao evoluir para cavidades grandes no corpo da barragem, a leva ao rompimento.
- Deslizamento e instabilidade dos taludes: normalmente relacionado ao uso de materiais de baixa qualidade, vertentes muito inclinadas, drenagem inadequada e/ou infiltração excessiva. Na ocorrência dessa situação, a estabilidade da barragem é afetada, sendo recomendado baixar o nível da água no reservatório.

Sendo assim, embora as barragens de terra sejam valiosas para o armazenamento de água e a produção de energia, é fundamental avaliar cuidadosamente os impactos sociais, ambientais e económicos associados a estas estruturas. A adoção de práticas sustentáveis e a consideração dos interesses das comunidades locais e do ambiente são cruciais para minimizar os problemas causados pela construção de barragens de terra.

5.6 Sustentabilidade social e ambiental

A sustentabilidade social e ambiental em barragens de terra para armazenamento de água é fundamental para garantir que essas estruturas não apenas cumpram seu propósito principal de fornecer água, mas também contribuam positivamente para as comunidades locais e para o meio ambiente. No quadro 3 estão algumas práticas e abordagens para promover a sustentabilidade social e ambiental em barragens de terra (ANA, 2021):

Quadro 3: representação social e ambiental

SUSTENTABILIDADE SOCIAL	SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL
Participação comunitária, incluindo às comunidades locais nenhum processo de tomada de decisões desde a fase de planejamento até a implementação.	Preservação da biodiversidade, implementando medidas para proteger a fauna e a flora locais.
Benefícios sociais tangíveis, desenvolvendo programas que garantam benefícios tangíveis para as comunidades como acesso a empregos durante a construção.	Eficiência no uso de recursos, desenvolvendo tecnologias e práticas que minimizem o uso de recursos naturais.
Respeito às culturas locais, respeitando e preservando as tradições e culturas locais durante o processo de construção.	Mitigação de impactos ambientais, implementando estratégias para mitigar os impactos ambientais, como a erosão do solo.
Reassentamento justo, se o reassentamento de comunidades for necessário, garantindo que ele seja transitório de maneira justa.	Gestão de resíduos, adotando práticas adequadas de gestão de resíduos para minimizar a poluição do solo e da água, e promover a reciclagem sempre que possível.
Capacitação local, criando programas de capacitação para as comunidades locais, proporcionando-lhes habilidades e conhecimentos.	Conservação da água, promovendo práticas que conservam a água, não apenas armazenando-a, mas também incentivando seu uso eficiente nas comunidades locais e nas atividades agrícolas.

Fonte: (ANA, 2021)

Ao integrar estas práticas sociais e ambientalmente sustentáveis, as barragens de terra não só satisfazem as necessidades comunitárias e ambientais, mas também se tornam modelos de desenvolvimento sustentável e responsável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As melhores práticas e abordagens em planos de segurança de barragens de terra para armazenamento de água estão em constante evolução, impulsionadas pela pesquisa contínua, inovação tecnológica e aprendizados de experiências passadas. Algumas das melhores práticas e abordagens comuns incluem, a avaliação geotécnica que é um estudo elaborado sobre o solo da construção da barragem, o planejamento hidráulico elabora uma análise rigorosa sobre as chuvas e o monitoramento em tempo real que é capaz de monitorar a barragens e avaliar a sua condição atual sem precisar se aproximar, como também os planos de emergência para qualquer eventual falha. A implementação bem-sucedida dessas práticas requer uma combinação de conhecimento técnico, financiamento adequado, colaboração interdisciplinar e uma forte supervisão regulatória.

É importante enfatizar que, apesar dos progressos, os desafios permanecem, incluindo questões relacionadas com a manutenção, financiamento adequado, avaliação de riscos geotécnicos e educação pública sobre o tema. Além disso, a comunicação eficaz entre todas as partes interessadas, desde engenheiros e reguladores até às comunidades locais afetadas, é essencial para a implementação bem-sucedida de planos de segurança robustos.

Neste contexto, este estudo fornece uma visão abrangente do estado atual do conhecimento e constitui um importante ponto de partida para futuras pesquisas e ações práticas. Esperamos que esta investigação inspire uma abordagem proativa e sustentável à gestão de barragens terrestres, com o objetivo final de garantir um futuro seguro e resiliente para todas as partes interessadas. Sendo assim em última análise, esta investigação destaca a importância de aprender com o passado, adotar as melhores práticas do presente e inovar para o futuro. As barragens terrestres não são apenas um desafio de engenharia, mas também uma missão de segurança contínua que requer cooperação global, investigação contínua e um compromisso firme para proteger a vida humana, o ambiente e os recursos hídricos preciosos do nosso planeta.

REFERÊNCIA

ANDRADE J. dos, SOUZA J. enchente em Santa Cruz – uma tragédia potiguar. 02., 2015, Natal. **Anais Eletrônicos** [...] Natal: TOKDEHISTORIA, 2015. Disponível em: <https://tokdehistoria.com.br/2015/04/02/1981-a-enchente-de-santa-cruz-uma-dos-maiores-desastres-ocorridos-no-rio-grande-do-norte/> Acesso em: 12/10/2023

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **relatório anual**. Brasília: ANA, 2021. 30 p. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/servicos/relatorios-anuais-de-atividades> Acesso em: 22/09/2023

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **relatório anual**. Brasília: ANA, 2022. 36 p. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/servicos/relatorios-anuais-de-atividades> Acesso em: 22/09/2023

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o **Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 22/09/2023

DORSA, A. C. **O papel da revisão de literatura na escrita de artigos científicos**. Interações, Campo Grande, v. 21, n. 4, jul.-sep. 2020. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v21i4.3203> Acesso em: 22/09/2023

F. ARAUJO de; C.O.CRUIZ. **Avaliação da maturidade na gestão de segurança de barragens de rejeitos**: unidade de Minas Gerais. 2021. 19 f. Artigo – universidade federal de ouro negro MG, Minas gerais. 2021 Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/12563/3606> Acesso em: 22/09/2023

JEON, J. de; LEE, J. de; SHIN D. de; HANGYU P. **Development of dam safety management system**. Coreia do sul: Advances in Engineering Software, 2009. 554-563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.10.009> Acesso em: 22/09/2023

LI, C. de; MIN, XU. de; XIAOLEI, T. **Review of Dam-break Research of Earth-rock Dam Combining with Dam Safety Management**. China: Procedia Engineering, 2012. p 382-388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.737> Acesso em: 22/09/2023

MARTINS, M. F. M. Ministério da saúde. **estudo de revisão literária**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018. 37 p. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/29213/Estudos_revisao.pdf;jsession Acesso em: 22/09/2023

MONTEIRO, C. R. L. **Construção de modelos físicos de barragens de terra para aula prática**: um relatório de estágio supervisionado obrigatório, unidade Pernambuco. 2018. 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2018. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1177/1/tcc_eso_carloranny%C3%A0rlopesmonteiro.pdf Acesso em: 12/10/2023

MA, H. de; CHI, F. **Major Technologies for Safe Construction of High Earth-Rockfill Dams.** China: Engineering, 2016. p 498-509. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.001> Acesso em: 22/09/2023

SYNERGIA. **Desastres em barragens e o novo marco na mineração.** São Paulo: Synergia consultoria 2021. Disponível em: <https://www.synergiaconsultoria.com.br/fique-por-dentro/desastres-em-barragens-e-o-novo-marco-na-mineracao/> Acesso em: 22/09/2023