



Açudagem no Semiárido Brasileiro: Características Construtivas, Anomalias e Classificação de Risco de Barragens de Terra de Pequeno Porte

Gabriel Sarmiento de Almeida

Estudante, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, Brasil,
gabrielsarmiento10@hotmail.com

José Daniel Jales Silva

Docente, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, Brasil, daniel.jales@ufersa.edu.br

RESUMO: As barragens exercem papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, sendo essenciais para o crescimento de municípios e regiões. Esta pesquisa teve como objetivo analisar as características construtivas, a classificação de risco e as anomalias presentes em barragens de terra de pequeno porte, situadas nos municípios de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins, no interior do Rio Grande do Norte. A pesquisa busca caracterizar os barramentos com base na geometria e nos elementos construtivos, além de avaliar a categoria de risco e o dano potencial associado. Por meio de inspeções visuais, foram identificadas anomalias estruturais que possam comprometer a segurança dessas estruturas. Com base nos dados obtidos, foram elaboradas recomendações para adequação às diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A metodologia foi dividida em quatro etapas: levantamento teórico, seleção dos barramentos, visitas de campo com inspeções e levantamento topográfico, e classificação conforme as diretrizes do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. O estudo visa contribuir para a gestão segura e sustentável das barragens.

PALAVRAS-CHAVE: anomalias, categoria de risco, barramento de terra, política nacional de segurança de barragem, plano de ação de emergência de barragem.

ABSTRACT: The dams play a key role in economic and social development, and are essential for the growth of municipalities and regions. This research aims to analyze the constructive characteristics, the risk classification and the anomalies present in small land dams, located in the municipalities of Água Nova, José da Penha and Antônio Martins, in the interior of Rio Grande do Norte. Research seeks to characterize buses based on geometry and constructive elements, as well as evaluating the risk category and associated potential damage. Through visual inspections, structural anomalies will be identified that can compromise the safety of these structures. Based on the data obtained, recommendations will be prepared to suit the Guidelines of the National Dam Security Policy (PNSB). The relevance of the study lies in the importance of these structures for water storage in regions susceptible to drought. However, ensuring the safety and integrity of the dams is indispensable as structural failures can pose significant risks to downstream populations. The methodology will be divided into four stages: theoretical survey, selection of dams, field visits with inspections and topographic survey, and classification according to the guidelines of the National Water Resources Council. The study aims to contribute to the safe and sustainable management of dams.

KEYWORDS: anomalies, risk category, earth dam, national dam safety policy, dam emergency action plans.



1 INTRODUÇÃO

As barragens desempenham um papel estratégico no desenvolvimento econômico e social, viabilizando o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos, como geração de energia, abastecimento de água, controle de cheias e irrigação. Em regiões sujeitas à escassez hídrica, como o semiárido brasileiro, essas estruturas são fundamentais para garantir o abastecimento e a segurança hídrica. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei Federal nº 12.334/2010, define diretrizes para fiscalização e gestão dessas obras, sendo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) responsável por publicar relatórios anuais com dados sobre a segurança estrutural. O Relatório de Segurança de Barragens (RSB) de 2023 apontou uma redução de 42% nos incidentes em relação ao ano anterior, mas destacou que ainda é necessário fortalecer as ações preventivas, principalmente após os desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

Problemas estruturais como erosão, percolação, assoreamento e recalques comprometem a integridade das barragens, elevando o risco de falhas. As barragens de pequeno porte, muitas vezes construídas sem projeto técnico e com materiais inadequados, apresentam alto grau de vulnerabilidade devido à falta de manutenção e fiscalização. Apesar de menores em capacidade, o rompimento dessas estruturas pode causar sérios danos à população a jusante e ao meio ambiente, incluindo alagamentos, contaminação de corpos hídricos e destruição de ecossistemas locais. Por isso, é fundamental analisar constantemente suas condições físicas e operacionais, garantindo a segurança das comunidades a jusante.

Este trabalho tem como objetivo analisar as características construtivas, a integridade estrutural e a classificação de risco de barragens de terra de pequeno porte localizadas nos municípios de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins, no interior do estado do Rio Grande do Norte. A pesquisa propõe identificar anomalias e avaliar os riscos associados a essas estruturas por meio de inspeções visuais e levantamento aerofotogramétrico. Além de aprofundar o conhecimento sobre sua condição atual, o estudo visa propor recomendações práticas para fortalecer a gestão de segurança e prevenção de acidentes, contribuindo com medidas eficazes para proteção da população, conservação ambiental e uso sustentável dos recursos hídricos da região.

2 BARRAGEM HOMOGENEAS

As barragens de terra homogênea são formadas predominantemente por um único tipo de solo, compactado de maneira uniforme ao longo de toda a estrutura. Sua simplicidade construtiva torna a execução mais viável do ponto de vista econômico e operacional, especialmente em regiões com recursos limitados. No entanto, essa simplicidade exige um controle rigoroso do processo de compactação, a fim de evitar problemas relacionados à infiltração e à instabilidade estrutural. De acordo com Massad (2010), esse tipo de barragem é particularmente recomendado para locais com baixa disponibilidade de materiais diversos e onde o nível do lençol freático se mantém profundo, o que reduz significativamente os riscos de percolação.

Considerando a complexidade na construção de barragens de terra, é raro que a seção transversal de uma barragem se repita em outro empreendimento. Para definir a seção transversal adequada, é fundamental avaliar diversas técnicas e alternativas que garantam a estabilidade e segurança da estrutura. Nesse contexto, alguns elementos essenciais devem estar presentes e ser cuidadosamente projetados, como a borda livre (free board), que assegura uma margem de segurança contra transbordamentos, a crista, que é a parte superior da barragem onde ocorre o tráfego e que deve apresentar dimensões adequadas para suportar cargas; os taludes, que são as inclinações laterais responsáveis pela estabilidade do maciço e a proteção dos taludes e da crista, que envolve revestimentos e estruturas para prevenir erosão, infiltração e desgaste causado pela ação da água e do vento.

Além dos elementos estruturais fundamentais para a estabilidade da barragem, a instrumentação desempenha papel importante na garantia da segurança da obra. Segundo Costa (2014), diversos tipos de instrumentos são instalados simultaneamente durante a construção, tanto nas fundações quanto no corpo da barragem. Esses dispositivos permitem o monitoramento contínuo das condições da estrutura, verificando os critérios e parâmetros adotados no projeto. Entre os principais instrumentos utilizados estão os medidores de nível d'água, piezômetros e medidores de recalque, que fornecem dados essenciais para detectar alterações e prevenir falhas, reforçando a segurança da barragem ao longo de sua vida útil.



Todos esses processos são importantes para garantir a estabilidade e a segurança das barragens. Com isso, no Brasil, a normativa que rege os barramentos assegura que todos os elementos essenciais estejam presentes e em conformidade com os padrões exigidos. A Resolução ANA nº 742/2011, por exemplo, determina em seu art. 2º que as Inspeções de Segurança Regulares devem ser realizadas periodicamente, com o objetivo de avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem e identificar eventuais anomalias que possam comprometer sua segurança.

3 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em quatro etapas principais. Na fase inicial, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental com foco em autores, instituições e legislações brasileiras sobre segurança de barragens, destacando-se as contribuições da Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA) e do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Na segunda etapa, a seleção dos reservatórios foi baseada em dados do SNISB, optando-se por analisar os barramentos localizados nos municípios de Água Nova, José da Penha e Antônio Martins, no interior do Rio Grande do Norte, devido à sua relevância estratégica e funcional para o abastecimento local.

A terceira etapa consistiu em visitas de campo para inspeções visuais das estruturas, com uso de celular para registros fotográficos e de um drone Phantom 4. O uso do drone foi especialmente relevante, permitindo o mapeamento aerofotogramétrico das áreas analisadas e a obtenção de imagens de alta resolução, proporcionando uma visão ampla e detalhada dos barramentos e de seu entorno.

Por fim, na quarta etapa, os dados capturados foram processados no software Agisoft Metashape. As imagens foram alinhadas, georreferenciadas ao sistema SIRGAS 2000 (Zona 24S) e modeladas para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o ortomosaico da área dos barramentos. A partir dos MDEs, foi possível identificar deformações e anomalias nas estruturas, como irregularidades nos taludes, erosões e recalques. Essas informações permitiram uma análise mais precisa das condições físicas dos barramentos e serviram de base para sua classificação, o qual o processo de classificação é realizado com base em três critérios principais: a categoria de risco, o dano potencial associado e o volume da barragem, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O processo de classificação das barragens é realizado com base em três critérios principais: a categoria de risco, o dano potencial associado e o volume da barragem, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A classificação inicial considera as características técnicas do barramento, seu estado de conservação e a existência de um plano de segurança. Cada um desses critérios recebe uma pontuação, de acordo com os parâmetros observados durante a avaliação, permitindo assim uma classificação precisa e adequada do barramento, de acordo com os níveis de risco e segurança identificados.

4 BARRAGEM ANALISADAS

4.1.1 Barragem de Água Nova

A área de estudo deste trabalho corresponde à barragem localizada no município de Água Nova, situado no interior do estado do Rio Grande do Norte. De acordo com os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui uma população de 2.946 habitantes, distribuída em uma área de 50,684 km², caracterizando uma baixa densidade populacional típica de pequenas cidades do interior nordestino. A barragem estudada encontra-se na zona rural do município, mais precisamente no sítio Nafuê, que desempenha um papel estratégico na região.

Por meio do levantamento topográfico realizado na área, foi possível determinar que o comprimento do barramento é de 280 metros, enquanto a largura da crista mede 5 metros, possui também uma altura de 13 metros, esse parâmetro foi considerado como sendo a diferença entre a cota da crista e a cota do leito do rio do lado a jusante.

Essa barragem é de grande importância para o abastecimento de água local, influenciando diretamente as atividades agrícolas, pecuárias e de consumo humano, que são fundamentais para a subsistência e economia da comunidade. Assim, a escolha desse local como área de estudo é altamente relevante para



2025

contribuir com estratégias de gestão e manutenção que beneficiem diretamente a população e promovam a sustentabilidade hídrica da região.

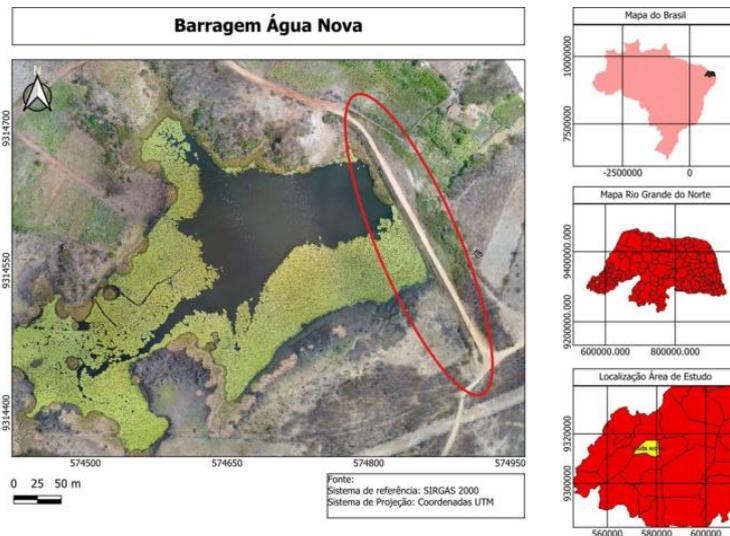


Figura 1. Barramento de Água Nova.

4.1.2 Barragem Angicos

Situada na mesorregião do Rio Grande do Norte, a barragem Angicos está localizada no município de José da Penha, que possui uma população de 5.964 habitantes, conforme o último censo do IBGE de 2024. O município abrange uma área territorial de 117,635 km². A barragem encontra-se a 4,5 km da zona urbana, entre os limites de José da Penha e Major Felipe, estando inserida na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), a barragem apresenta uma capacidade de armazenamento de 4,29 hm³. A partir do levantamento realizado, foi possível determinar que o barramento possui um comprimento de coroamento de 455 metros e uma altura de 9 metros, considerando a diferença entre a cota da crista e o leito do rio a jusante. A largura da crista é de 3,5 metros

Trata-se de um barramento de terra homogêneo, construído com solos característicos da região, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico local. Sua principal função é garantir o abastecimento da população e fornecer água para o perímetro irrigado da cidade, contribuindo para atividades agrícolas e outras demandas hídricas.

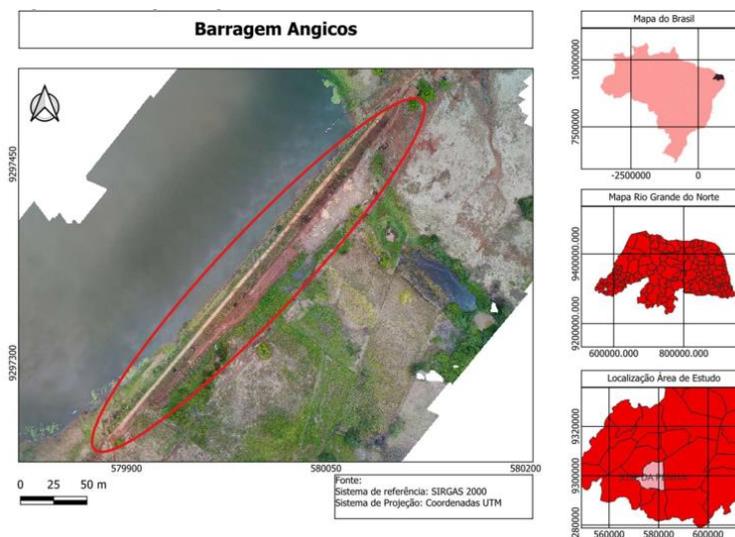


Figura 2. Barramento Angicos.

4.1.3 Barragem corredor

Localizada na mesorregião do Rio Grande do Norte, a Barragem Corredora está situada no município de Antônio Martins, que possui uma população de 6.577 habitantes, segundo o último censo do IBGE (2022). O município ocupa uma área territorial de 244,897 km², e a barragem está a aproximadamente 11 km da zona urbana.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), a Barragem Corredora possui uma capacidade de armazenamento de 4,643 hm³. As medições realizadas indicam que o barramento apresenta um comprimento de coroamento de 439 metros e uma altura de 8,70 metros, considerando a diferença entre a cota da crista e o leito do rio a jusante. Além disso, a largura da crista é de 3,8 metros, conforme ilustrado na Figura 35.

Trata-se de um barramento de terra homogêneo, construído com solos característicos da região. Sua estrutura desempenha um papel essencial no desenvolvimento socioeconômico local, sendo fundamental para o abastecimento da população e o fornecimento de água ao perímetro irrigado da cidade, contribuindo diretamente para as atividades agrícolas e outras demandas hídricas.

De acordo com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), a construção da barragem foi concluída em 1914. Sua bacia hidrográfica abrange uma área de 1.109.700,00 m².

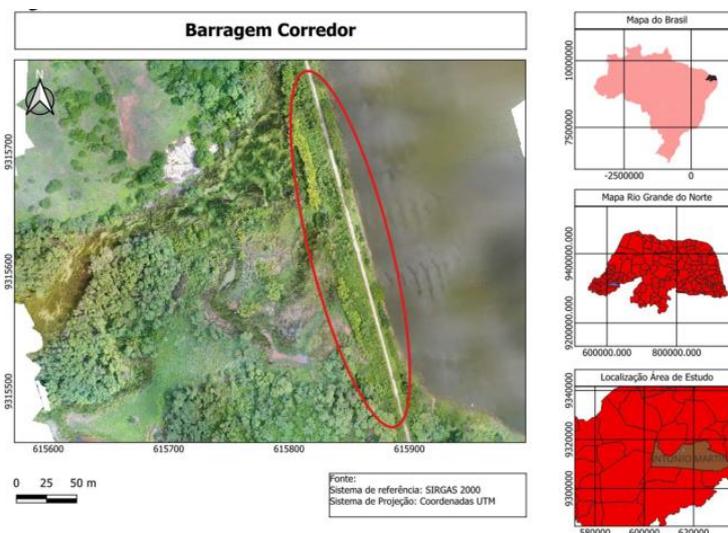


Figura 3. Barramento Corredor.

5 RESULTADOS

A relevância do estudo está na importância dessas estruturas para o armazenamento de água em regiões suscetíveis à seca. Entretanto, garantir a segurança e a integridade das barragens é indispensável, pois falhas estruturais podem representar riscos significativos às populações a jusante.

5.1.1 Elementos Principais

Durante a visita técnica realizada aos barramentos, foi possível identificar e analisar os principais elementos estruturais que compõem essas obras hidráulicas. Dentre eles, destacam-se o talude de montante, o talude de jusante e a crista da barragem, componentes fundamentais para garantir a estabilidade e o funcionamento adequado da estrutura.

Além desses elementos, foi observado também o vertedouro, estrutura responsável por permitir a passagem controlada da água excedente, evitando o sobrecarregamento do barramento durante períodos de cheia.

Verificou-se que os três barramentos visitados apresentam as mesmas estruturas básicas, evidenciando uma padronização construtiva voltada ao atendimento das exigências de segurança e funcionalidade

hidráulica. Essa padronização pode ser observada no Barramento de Água Nova (Figura 4A), no Barramento Angicos (Figura 4B) e no Barramento do Corredor (Figura 4C).



Figura 4. Elementos principais.

5.1.2 Anomalias

Durante a vistoria, constatou-se a presença excessiva de vegetação alta nos taludes dos três barramentos analisados, conforme representado na Figura 5A (Barramento de Água Nova), Figura 5B (Barramento Angicos) e Figura 5C (Barramento do Corredor). Tal condição configura uma situação de alerta, que requer intervenções de manejo e manutenção adequadas a fim de prevenir possíveis danos estruturais.

Enquanto a presença de vegetação rasteira nos taludes pode ser benéfica como medida de proteção contra a erosão, a presença de vegetação alta representa um fator de risco significativo. O crescimento excessivo dessas plantas pode comprometer a segurança e a estabilidade do barramento, já que as raízes das vegetações altas podem penetrar nas camadas do solo, causando danos estruturais, abrindo caminhos para infiltrações e aumentando a vulnerabilidade da estrutura.



Figura 5. Vegetação excessiva.

A inspeção visual realizada nos barramentos também possibilitou a identificação de surgência de água na base do talude de jusante, conforme representado na Figura 5A (Barramento de Água Nova), Figura 5B (Barramento Angicos) e Figura 5C (Barramento do Corredor), frequentemente acompanhada por um crescimento excessivo de vegetação. Esse fenômeno indica a possibilidade de infiltração interna, possivelmente agravada pela presença de vegetação abundante. As raízes de plantas de maior porte podem penetrar nas camadas do solo, criando caminhos preferenciais para o escoamento da água, o que compromete a integridade da estrutura.

Esse tipo de infiltração pode aumentar significativamente a permeabilidade do maciço, favorecendo o desenvolvimento de processos erosivos internos, como a piping (erosão interna), que representam riscos à estabilidade do barramento. A recorrência dessa condição foi verificada nos três barramentos analisados, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e de medidas de controle para evitar o agravamento dessas anomalias.

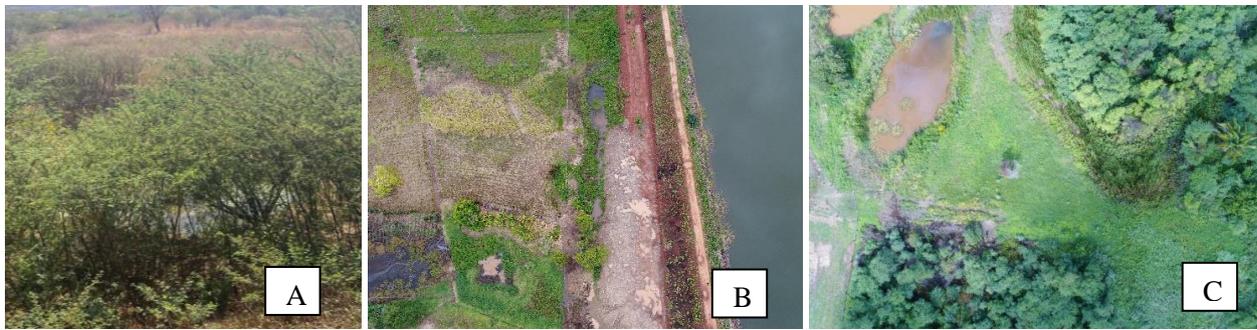


Figura 6. Surgência de água.

5.1.3 Classificação Categoria de Risco

Na tabela 1 a seguir é possível verificar a classificação dos três barramentos tendo em vista os parâmetros adotados pela CNRH, é possível verificar que os três barramentos não estão em conformidade com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), tendo em vista, que os barramentos apresentam uma categoria de risco e um dano potencial associado alto, o que exige medidas necessárias para evitar riscos estruturais e possíveis acidentes.

Tabela 1. Classificação dos Barramentos

	Categoria de Risco			Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo
Barragem Água nova	X			X		
Barragem Angico	X			X		
Barragem Corredor	X			X		

Diante dessa situação, é fundamental que os órgãos fiscalizadores notifiquem os empreendedores responsáveis, solicitando as adequações necessárias. A falta de conformidade identificada com a PNSB neste estudo aponta para anomalias que podem se agravar ao longo do tempo, comprometendo a integridade das estruturas e colocando em risco a segurança da população a jusante.

É evidente que o comportamento das anomalias identificadas nos três barramentos analisados no estudo apresenta padrões semelhantes, tanto em sua ocorrência quanto em sua evolução ao longo do tempo. Essa tendência pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Semelhança de anomalias nos barramentos

	Surgência de água a jusante	Vegetação excessiva	Erosão
Barragem Água nova	X	X	X
Barragem Angico	X	X	X
Barragem Corredor	X	X	X

A semelhança observada nas anomalias pode ser explicada pelo fato de que todos os barramentos analisados são constituídos em terra, um tipo de estrutura que, por sua natureza, apresenta comportamentos e mecanismos de degradação específicos ao longo do tempo. A ausência de manutenções periódicas agrava



esse cenário, favorecendo o surgimento das anomalias, tais como surgências de água a jusante, crescimento excessivo de vegetação nos taludes e outras condições que comprometem diretamente a estabilidade e a segurança das estruturas.

Diante desse comportamento, torna-se imprescindível a adoção de medidas de adequação e recuperação dos barramentos, considerando que essas obras desempenham um papel estratégico para a região, não apenas pelo armazenamento e regularização hídrica, mas também pela presença de propriedades privadas e edificações situadas a jusante, que poderiam ser severamente impactadas em um eventual processo de ruptura.

Para minimizar riscos e retardar processos de degradação, é fundamental a implementação do Plano de Segurança de Barragens (PSB), o qual prevê ações de monitoramento e manutenção contínuas. Entre as medidas recomendadas, destacam-se: a instalação de piezômetros para o controle das pressões neutras no maciço; medidores de recalque para acompanhar eventuais deslocamentos e deformações; além da aplicação de revestimentos de proteção, como o riprap, no talude de montante, a fim de mitigar os efeitos erosivos provocados pela ação da água.

Essas medidas corretivas e preventivas são essenciais para assegurar a continuidade da funcionalidade dos barramentos, garantindo não apenas sua integridade estrutural, mas também a segurança das comunidades localizadas em sua área de influência.

6 CONCLUSÃO

A análise dos resultados revelou-se satisfatória, pois permitiu caracterizar os barramentos, identificar anomalias por meio de inspeções visuais e classificá-los quanto aos níveis de risco e periculosidade. No entanto, algumas limitações foram constatadas. O modelo digital de elevação gerado para os barramentos não foi utilizado para estimar as áreas que poderiam ser impactadas em um possível rompimento, assim como não foi possível realizar investigações detalhadas do solo das barragens, procedimentos esses realizados pelo PSB. Essas limitações ocorreram devido à ausência de informações sobre os projetos junto aos órgãos responsáveis e à falta de materiais adequados para a execução dessas análises.

As condições estruturais dos barramentos analisados exigem atenção, uma vez que apresentam anomalias que comprometem sua estabilidade e segurança. A ausência de elementos essenciais para seu funcionamento adequado, aliada à sua classificação de alto risco e alto dano potencial associado, conforme os dados desta pesquisa, evidencia a necessidade de monitoramento contínuo e da adoção de medidas corretivas.

Diante dessa realidade, torna-se imprescindível aprimorar a gestão de riscos, implementando ações preventivas e corretivas que garantam a segurança dessas estruturas e minimizem seus possíveis impactos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional De Águas (Brasil). *Guia prático de pequenas barragens. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens*. Volume VIII. Brasília, DF: ANA, 2016.

Agência Nacional De Águas e Saneamento Básico (Brasil). *Relatório de Segurança de Barragens 2023*. Brasília: ANA, 2023. 90 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 7 nov. 2024.

Agência Nacional de Águas. *Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem*. Brasília: ANA, 2016.

Ministério da Integração Nacional. *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148 p.

Costa, Walter Duarte. *Geologia de barragens*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

Massad, Faiçal. *Obras de terra*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.