

## **Proposta de Critérios para priorizar a fiscalização de barragens de usos múltiplos a luz da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)**

**Proposal of Criteria to prioritize the inspection of multiple-use dams in light of the National Dam Safety Policy (PNSB)**

**Propuesta de criterios para priorizar la fiscalización de presas de usos múltiples a la luz de la Política Nacional de Seguridad de Presas (PNSB)**

Recebido: 17/07/2025 | Revisado: 25/07/2025 | Aceitado: 25/07/2025 | Publicado: 29/07/2025

**Heitor Soares Moreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4546-8390>  
Instituto Mineiro Gestão das Águas, Brasil  
E-mail: [hsmengenhiero@yahoo.com.br](mailto:hsmengenhiero@yahoo.com.br)

**Patrícia Gaspar Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1292-0467>  
Instituto Mineiro Gestão das Águas, Brasil  
E-mail: [costagpatricia@gmail.com](mailto:costagpatricia@gmail.com)

**Rafael Alexandre Sá**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5165-1538>  
Instituto Mineiro Gestão das Águas, Brasil  
E-mail: [rafaelsagradv@hotmail.com](mailto:rafaelsagradv@hotmail.com)

**Walcrislei Verselli Luz**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3196-6644>  
Instituto Mineiro Gestão das Águas, Brasil  
E-mail: [walcrisleiab@yahoo.com.br](mailto:walcrisleiab@yahoo.com.br)

### **Resumo**

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334/2010, definiu diretrizes para a gestão de riscos em barragens no Brasil. Contudo, sua implementação enfrenta entraves, sobretudo no caso das barragens de usos múltiplos sob jurisdição estadual, frequentemente de pequeno porte, sem documentação técnica obrigatória e fiscalizadas por órgãos com recursos limitados. Este estudo propõe critérios objetivos e operacionais para subsidiar a priorização da fiscalização dessas estruturas. A metodologia incluiu revisão bibliográfica e normativa, abrangendo legislações, documentos da ANA, literatura técnica e modelos anteriores de triagem. Com base nesse levantamento, elaborou-se uma matriz de priorização com quatro critérios binários: (a) presença de população ou infraestrutura a jusante; (b) porte visivelmente médio ou grande; (c) sinais visuais de falhas estruturais; e (d) ausência de regularização formal. A presença de três ou mais critérios indica alta prioridade de fiscalização. A matriz foi aplicada em estudo de caso com quatro barragens cadastradas no IGAM, utilizando dados públicos e georreferenciados. Os resultados evidenciam sua viabilidade técnica, mesmo sem inspeção presencial, por meio de sensoriamento remoto. Propôs-se, ainda, uma classificação padronizada do porte das barragens, com base na altura e volume do reservatório. Constatou-se que muitas estruturas, embora pequenas, apresentam elevada exposição a jusante. Conclui-se que a triagem com critérios simples e verificáveis contribui para a gestão estratégica de riscos, o uso racional de recursos e a prevenção de desastres, sendo recomendada sua ampliação e aprimoramento em etapas futuras.

**Palavras-chave:** Segurança de barragens; Priorização da fiscalização; Gestão de riscos.

### **Abstract**

The Brazilian National Dam Safety Policy (PNSB), established by Law No. 12,334/2010, set out guidelines for dam risk management. However, its implementation faces challenges, particularly regarding multipurpose dams under state jurisdiction, which are often small, lack mandatory technical documentation, and are overseen by agencies with limited resources. This study proposes objective and operational criteria to support the prioritization of inspections. The methodology included a literature and regulatory review covering federal and state legislation, ANA documents, technical literature, and previous screening models. Based on this, a prioritization matrix with four binary criteria was developed: (a) downstream population or infrastructure; (b) visibly medium or large size; (c) visible signs of structural issues; and (d) absence of formal regularization. The presence of three or more criteria indicates high inspection priority. The matrix was tested in a case study of four dams registered with IGAM, using public and georeferenced data. Results

showed its technical feasibility, even without on-site inspection, by using remote sensing. A standardized dam size classification, based on height and reservoir volume, was also proposed. Many small dams showed high downstream exposure. The study concludes that simple, verifiable criteria enable strategic risk screening, resource optimization, and disaster prevention. The method is a preliminary risk management tool, not a replacement for in-depth technical analysis. Further sample expansion and criteria refinement are recommended.

**Keywords:** Dam safety; Inspection prioritization; Risk management.

### Resumen

La Política Nacional de Seguridad de Presas de Brasil (PNSB), establecida por la Ley N.º 12.334/2010, definió directrices para la gestión de riesgos en presas. No obstante, su implementación enfrenta desafíos, especialmente en el caso de presas de usos múltiples bajo jurisdicción estatal, frecuentemente de pequeño porte, sin documentación técnica obligatoria y fiscalizadas por organismos con recursos limitados. Este estudio propone criterios objetivos y operativos para apoyar la priorización de fiscalizaciones. La metodología incluyó una revisión bibliográfica y normativa que abarcó legislación federal y estatal, documentos de la ANA, literatura técnica y modelos previos de selección. Se elaboró una matriz de priorización con cuatro criterios binarios: (a) presencia de población o infraestructura aguas abajo; (b) porte visiblemente medio o grande; (c) señales visuales de fallas estructurales; y (d) ausencia de regularización formal. La presencia de tres o más criterios indica alta prioridad. La matriz se aplicó a un estudio de caso con cuatro presas registradas en IGAM, utilizando datos públicos y georreferenciados. Los resultados mostraron su viabilidad técnica incluso sin inspección presencial, mediante el uso de teledetección. También se propuso una clasificación estandarizada del porte de las presas basada en la altura y el volumen del embalse. Se observó que muchas presas pequeñas presentan alta exposición aguas abajo. Se concluye que el uso de criterios simples y verificables permite una gestión de riesgos más estratégica y eficiente, contribuyendo a la prevención de desastres y a la optimización de los recursos públicos. Se recomienda ampliar la muestra y perfeccionar los criterios en futuras etapas.

**Palabras clave:** Seguridad de presas; Priorización de inspecciones; Gestión del riesgo.

## 1. Introdução

A fiscalização de barragens de usos múltiplos no Brasil configura-se como um desafio crescente e estrutural. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), o país possui mais de 24 mil barragens cadastradas, sendo a maior parte destinada ao abastecimento, irrigação e demais usos múltiplos. Em Minas Gerais, constam 1.500 estruturas dessa natureza registradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Dessas, 1.240 apresentam informações classificadas como boas ou ótimas, enquanto 1.434 estão sob responsabilidade fiscalizatória do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A esses números somam-se milhares de estruturas informais ou não cadastradas, muitas das quais foram construídas sem supervisão técnica ou licenciamento adequado, dificultando sua identificação e monitoramento pelos órgãos competentes (ANA, 2023; Ribeiro et al., 2020).

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334/2010, foi concebida após uma série de eventos críticos nos setores de mineração e abastecimento público. Embora a norma estabeleça diretrizes relevantes—como classificação por risco, exigência de planos de segurança e definição de responsabilidades técnicas—sua implementação plena tem sido limitada, sobretudo no âmbito das barragens de usos múltiplos sob jurisdição estadual. Essa limitação decorre, em grande medida, da discrepância entre os requisitos legais e a realidade operacional dos órgãos fiscalizadores, que enfrentam restrições orçamentárias, carência de equipes técnicas e grande dispersão geográfica das estruturas sob sua responsabilidade (Souza & Lima, 2019).

Um dos principais pontos críticos da PNSB reside na dependência de critérios técnicos complexos, como o Dano Potencial Associado (DPA) e a Categoria de Risco (CRI), para orientar a priorização de ações fiscalizatórias. Embora esses critérios sejam tecnicamente válidos, sua aplicação exige dados detalhados sobre altura da barragem, volume do reservatório, número de pessoas a jusante, impacto ambiental, entre outros parâmetros, os quais frequentemente não estão disponíveis—especialmente em barragens pequenas, não cadastradas ou sem acompanhamento técnico (Rodrigues & Moraes, 2021).

Essa lacuna informacional gera dois efeitos colaterais relevantes: (1) fiscalizações ineficazes, voltadas a estruturas de baixo risco, apenas por serem de fácil acesso ou já regularizadas; e (2) omissão de barragens com risco significativo, que, por

falta de cadastro ou porte reduzido, não recebem a devida atenção proporcional ao seu potencial de impacto.

Diante desse cenário, diversos estudos e experiências têm apontado para a necessidade de reformulação dos critérios de priorização de fiscalização, com adoção de abordagens mais objetivas, simplificadas e adequadas à realidade dos estados (Machado et al., 2022; ANA, 2020). Em vez de se concentrar exclusivamente no porte da barragem ou em parâmetros técnicos tradicionais, propõe-se uma priorização baseada em indicadores de impacto visível, tais como: presença de pessoas ou infraestrutura a jusante; evidências visuais de degradação estrutural (ex.: trincas, erosões, vazamentos); classificação do porte considerando volume e altura; ausência de regularização formal (outorga, licenciamento ambiental ou cadastro de uso insignificante).

Esses critérios podem ser obtidos por meio de inspeções remotas com apoio de imagens de satélite e sistemas de inteligência artificial, possibilitando uma análise automatizada e em larga escala. Essa abordagem permite a aplicação dos critérios em diferentes estratégias de amostragem, como a amostragem aleatória simples ou composta, ampliando a abrangência territorial e aumentando a eficácia da priorização fiscalizatória.

Tal abordagem encontra respaldo nos princípios de gestão de riscos consagrados internacionalmente. De acordo com o manual da *International Commission on Large Dams* (ICOLD, 2011), a identificação de barragens críticas deve considerar fatores de exposição e vulnerabilidade, e não apenas as dimensões físicas da estrutura. Nesse mesmo sentido, o *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2015) recomenda que políticas públicas voltadas à redução de riscos sejam adaptadas à capacidade local de resposta, promovendo soluções proporcionais e viáveis.

É, portanto, necessário abandonar a avaliação baseada unicamente no porte físico da barragem. Como destacam Borges e Andrade (2020), “uma barragem de pequeno porte pode representar risco significativo se houver moradias próximas, infraestrutura crítica ou uso estratégico do recurso hídrico” (p. 85). O foco da fiscalização, assim, deve recair sobre o potencial de dano significativo em caso de falha, ainda que a estrutura seja pequena e não formalizada.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo propor critérios objetivos, simplificados e operacionalmente viáveis para subsidiar a priorização da fiscalização de barragens de usos múltiplos, especialmente aquelas sob responsabilidade dos órgãos estaduais. A proposta considera a escassez de dados técnicos, a limitação de recursos das entidades fiscalizadoras e o elevado número de estruturas em situação de informalidade. A abordagem busca alinhar-se aos princípios da gestão de risco, valorizando indicadores visuais e acessíveis que possam ser aplicados em estratégias de triagem, com o apoio de sensoriamento remoto e dados geoespaciais. Espera-se, com isso, contribuir para a racionalização das ações de fiscalização, o fortalecimento da governança em segurança de barragens e a efetividade da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), especialmente no contexto dos usos múltiplos.

## 2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa mista, com estudo de caso e pesquisa documental de fonte direta na legislação, relatórios e estudos técnicos de órgãos oficiais e, documental de fonte indireta na literatura por meio de revisão narrativa não sistemática e, numa investigação de natureza qualitativa nas discussões realizadas e, quantitativa com uso de fórmulas matemáticas, como é o caso da definição do tamanho de amostragem e dos valores de alturas e volumes (Pereira et al., 2018; Gil, 2017), e com uso de estatística descritiva simples (Shitsuka et al., 2014).

Este estudo possui caráter qualitativo e exploratório, com o objetivo de propor critérios objetivos e aplicáveis para a priorização da fiscalização de barragens de usos múltiplos, especialmente aquelas sob jurisdição estadual ou municipal, que frequentemente não atendem plenamente aos instrumentos exigidos pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

A pesquisa foi dividida em duas etapas principais, descritas a seguir:

## 2.1 Levantamento documental e bibliográfico

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico e documental com foco em:

- Legislação nacional vigente (Lei nº 12.334/2010 e seus desdobramentos);
- Arcabouço legal do estado de Minas Gerais (Decreto 47.705/2019, juntamente com a Portaria IGAM nº 08/2023);
- Relatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), especialmente os Relatórios de Segurança de Barragens (RSB);
- Estudos técnicos e científicos relacionados à gestão de risco, segurança de barragens, e priorização de fiscalização ambiental.

Esse levantamento permitiu compreender as limitações da aplicação da PNSB, identificar lacunas na atuação dos órgãos fiscalizadores e reunir experiências prévias de modelos alternativos de classificação e priorização.

## 2.2 Estudo de Caso: simulação da matriz proposta em barragens pré-selecionadas

Com base nos critérios sistematizados na fase anterior, elaborou-se uma matriz de priorização simplificada, composta por indicadores binários (sim/não) de risco presumido, organizados em três dimensões principais:

- Exposição a jusante (ex.: presença de moradias, infraestrutura, áreas urbanas ou sensíveis);
- Vulnerabilidade da estrutura (ex.: sinais visuais de deterioração, ausência de manutenção ou operação precária);
- Controle institucional (ex.: ausência de cadastro, de outorga ou de planos obrigatórios como Plano de Segurança da Barragem (PSB) e Plano de Ação de Emergência (PAE)).

Para avaliar a aplicabilidade prática da matriz, foi realizada uma simulação com um conjunto de barragens previamente selecionadas a partir de dados públicos disponíveis, tais como:

- Sistemas de cadastro de barragens do IGAM – ano de 2024;
- Dados do Relatório de Segurança de Barragens da ANA;
- Informações de domínio público de consórcios intermunicipais, agências estaduais e relatórios de fiscalização anteriores.

Neste artigo, utilizou-se a metodologia de amostragem aleatória simples, Equação 1, para a seleção de quatro barragens a partir de uma população total de 1.434 barragens cadastradas. Esse método consiste em numerar todas as unidades da população de 1 a 1.434 e, posteriormente, realizar um sorteio aleatório sem reposição, garantindo que cada barragem tivesse a mesma probabilidade de ser selecionada e que nenhuma fosse sorteada mais de uma vez. A seleção foi realizada por meio do software Microsoft Excel, utilizando a função ALEATÓRIOENTRE para gerar os números correspondentes às barragens sorteadas. A escolha por essa abordagem se justifica pela sua simplicidade, transparência e adequação quando se dispõe de uma lista completa dos elementos da população.

Para a aplicação e verificação da matriz de prioridades, foram selecionadas quatro barragens como estudo de caso, a partir de uma população total de 1.434 barragens cadastradas até o ano de 2024, junto ao Igam. Considerando o reduzido tamanho da amostra em relação à população, assume-se uma margem de erro elevada, próxima de 50%, com um nível de confiança de 95%. Essa abordagem visa fornecer uma avaliação exploratória inicial da aplicabilidade da matriz, não tendo como objetivo a generalização estatística dos resultados para toda a população.

A fórmula utilizada para o cálculo do tamanho da amostra foi:

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p(1-p)}{(N-1) \cdot E^2 + z^2 \cdot p \cdot (1-p)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

n = tamanho da amostra

N = tamanho da população

z = valor z correspondente ao nível de confiança

p = proporção esperada

E = margem de erro

Cada barragem recebeu pontuação com base nos critérios da matriz, e os resultados foram consolidados em uma tabela comparativa, com indicação da prioridade de fiscalização (alta, média ou baixa). A simulação teve como objetivo demonstrar:

- A clareza dos critérios propostos;
- A capacidade da matriz de diferenciar estruturas críticas daquelas de baixo risco;
- A viabilidade de aplicação por equipes técnicas com diferentes níveis de capacitação, inclusive em contextos com recursos limitados.

A Tabela 1 apresenta os dados das barragens selecionadas para aplicação e teste da matriz de priorização desenvolvida na metodologia deste estudo.

**Tabela 1** - Relação de barragens, cadastradas no Igam em 2024, testadas para avaliar a aplicabilidade prática da matriz.

Código SNISB	Barragem	Coordenadas Geográficas		Município	Altura (m)	Volume (m³)	Regularização
30080	Córrego do café roxo	-18,27806	-43,00286	Rio Vermelho	2,5	4.000	Portaria de Outorga nº 1402253/2020
30848	Córrego Bebedouro	-15,80306	-46,68556	Unai	4,0	159.000	Portaria de Outorga nº 674/2020
33089	03	- 20,57907	-43,29673	Piranga	1,0	29.000	Certidão de Uso Insignificante nº 50423/2024
30459	08	-16,58686	-46,47356	Natalândia	3,5	26.000	Certidão de Uso Insignificante nº 47974/2021

Fonte: Autoria própria (2025).

Esta proposta metodológica baseia-se em dados secundários e simulações teóricas, sem a realização de inspeções de campo ou medições estruturais.

### 3. Revisão Bibliográfica

A segurança de barragens é tema recorrente na literatura nacional e internacional, sendo objeto de preocupação tanto por parte dos formuladores de políticas públicas quanto pelos órgãos fiscalizadores. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334/2010, estabelece os princípios para a classificação, fiscalização e gestão do risco de estruturas de contenção de águas, rejeitos e outros fluidos (Brasil, 2010). No entanto, diversos autores apontam que a implementação efetiva da PNSB ainda encontra importantes entraves, sobretudo no âmbito estadual (Souza & Lima, 2023; Cunha & Barreto, 2024).

A literatura tem destacado a carência de dados técnicos sobre pequenas barragens, notadamente aquelas de usos múltiplos, cuja responsabilidade recai sobre órgãos estaduais ou municipais. De acordo com Cunha e Barreto (2024), essas estruturas frequentemente não dispõem de cadastro adequado, planos de segurança ou outorgas regulares, dificultando a aplicação de critérios tradicionais como o Dano Potencial Associado (DPA) e a Categoria de Risco (CRI).

A efetividade da PNSB está intimamente ligada à capacidade de articulação federativa e ao fortalecimento institucional

dos entes responsáveis pela gestão de recursos hídricos e fiscalização de barragens. Como observam Souza e Lima (2019), sem diretrizes adaptadas à realidade local, a política tende a ser ineficaz fora do eixo federal, principalmente em estados com quadro de técnicos reduzidos e orçamentária.

A criação de mecanismos de priorização baseados em risco presumido, e não apenas em critérios técnicos tradicionais, representa uma alternativa estratégica para tornar a fiscalização mais eficiente e orientada à prevenção. Essa abordagem contribui, ainda, para a construção de uma governança mais sensível ao território, promovendo uma fiscalização diferenciada conforme o potencial de dano, e não simplesmente segundo padrões formais muitas vezes inalcançáveis.

### **3.1 Limitações da PNSB frente à realidade das barragens de usos múltiplos**

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334/2010, trouxe avanços importantes ao estabelecer diretrizes para a gestão de riscos em barragens, exigindo o monitoramento sistemático de parâmetros técnicos e a adoção de instrumentos como o Plano de Segurança da Barragem (PSB), o Plano de Ação de Emergência (PAE) e a classificação da estrutura quanto ao risco e ao dano potencial associado (BRASIL, 2010). No entanto, a sua aplicação plena encontra desafios significativos, sobretudo no contexto das barragens de usos múltiplos, em especial, aquelas sob responsabilidade de órgãos estaduais.

Conforme a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), o Brasil possui mais de 24 mil barragens cadastradas no SNISB, sendo que a maior parte está relacionada a usos como irrigação, abastecimento público e dessedentação animal. Muitas dessas estruturas são de pequeno porte, apresentam baixa complexidade técnica e não possuem os documentos exigidos pela PNSB, dificultando o cumprimento da legislação. Estudos como os de Souza e Lima (2019) apontam que a maioria dos órgãos fiscalizadores não dispõe de estrutura suficiente, em termos de pessoal, capacitação e tecnologia, para garantir a fiscalização regular e técnica de todas as barragens sob sua jurisdição.

Além disso, diversos autores destacam que a focalização excessiva em critérios técnicos sofisticados, como o Dano Potencial Associado (DPA) e a Categoria de Risco (CRI), não é compatível com a realidade das pequenas barragens (Rodrigues & Moraes, 2021; Ribeiro et al., 2020). Isso se agrava pela falta de dados confiáveis ou atualizados sobre muitas dessas estruturas, o que compromete os processos de classificação e priorização conforme preconizado pela PNSB.

### **3.2 A necessidade de critérios práticos e objetivos para fiscalização**

Diante desse cenário, cresce a demanda por metodologias que permitam avaliar, classificar e priorizar barragens com base em critérios observáveis e simples, sem depender de diagnósticos técnicos detalhados. A literatura sobre gestão de riscos em infraestrutura hídrica tem proposto o uso de indicadores substitutivos que reflitam o potencial impacto de uma falha, mesmo na ausência de informações técnicas completas (ICOLD, 2011; UNDRR, 2015).

Machado et al. (2022) desenvolveram uma matriz simplificada baseada em quatro critérios principais: presença de população a jusante, sinais visuais de degradação, ausência de regularização e volume estimado do reservatório. Essa abordagem, segundo os autores, é eficaz para triagens preliminares e definição de prioridades, principalmente por equipes de campo com estrutura limitada.

Borges e Andrade (2020) também argumentam que o porte físico da barragem não deve ser o único critério de decisão, já que uma estrutura pequena pode representar alto risco se estiver localizada próxima a moradias, escolas ou áreas urbanas. Essa perspectiva é reforçada por princípios internacionais de gestão de desastres, como o Sendai Framework, que recomenda a adoção de abordagens proporcionais à capacidade local de resposta e ao contexto de exposição (UNDRR, 2015).

### 3.3 Propostas de priorização em contextos com baixa capacidade institucional

Vários estudos propõem a adoção de instrumentos operacionais para a triagem de risco, que possam ser aplicados mesmo em contextos de baixa institucionalidade. Rodrigues e Moraes (2021) sugerem o uso de listas binárias de verificação (checklists) com perguntas diretas, como: “há casas a jusante?”, “há sinais visíveis de infiltração?”, “há presença de vegetação sobre o coroamento?”. Tais instrumentos são especialmente úteis para órgãos fiscalizadores com problemas de rotatividade de profissionais técnicos e/ou com pouca formação técnica específica, permitindo a aplicação de uma política de fiscalização mais eficiente e realista.

Ao integrar esse tipo de abordagem com ferramentas de sensoriamento remoto, imagens de satélite e dados públicos (como mapas de uso do solo e densidade populacional), é possível montar matrizes de priorização mais objetivas, direcionando as ações dos órgãos fiscalizadores para estruturas com maior risco potencial.

Adicionalmente, a ANA (2020, 2023) vem indicando que o foco em estruturas de alto risco, independentemente do porte físico, é essencial para fortalecer a capacidade do SNISB. No entanto, o órgão também reconhece que a efetividade da política depende fortemente da adaptação das diretrizes gerais à realidade de cada ente federativo.

### 3.4 A importância da definição do porte da barragem na gestão da segurança

A definição do porte da barragem é um elemento técnico fundamental para a organização da gestão de segurança dessas estruturas. O porte, geralmente classificado em pequeno, médio ou grande, permite uma análise preliminar da complexidade da estrutura, do volume total armazenado, das características construtivas e, principalmente, do potencial de consequências em caso de falha.

Segundo diretrizes técnicas nacionais (como os manuais da ANA) e internacionais (ICOLD, 2011), a classificação por porte considera critérios como altura do maciço, volume total armazenado e, em alguns casos, extensão do reservatório. Esses parâmetros servem como base para diferentes ações de gestão, incluindo o nível de exigência técnica do Plano de Segurança da Barragem (PSB), a frequência das inspeções de segurança e a responsabilidade sobre a fiscalização.

A relevância da definição do porte não está apenas no aspecto técnico, mas também no gerenciamento da informação e dos recursos públicos. Em um cenário onde há milhares de barragens sob a jurisdição de entes federativos com capacidade limitada, a classificação por porte ajuda a segmentar as estruturas, possibilitando que ações mais complexas sejam dirigidas às grandes barragens, enquanto estratégias simplificadas de triagem e fiscalização sejam aplicadas às pequenas, desde que não estejam associadas a alto risco.

Entretanto, é importante destacar que o porte não deve ser interpretado como sinônimo de risco. Uma barragem de pequeno porte pode oferecer riscos elevados dependendo da vulnerabilidade da estrutura e da exposição a jusante (ex: presença de núcleos habitacionais, escolas, estradas). Portanto, a definição do porte deve ser vista como ferramenta inicial de gestão, que deve ser complementada com critérios de impacto e controle institucional.

Nesse sentido, a adoção de uma classificação padronizada do porte, alinhada com diretrizes estaduais e federais, contribui para:

- Uniformizar cadastros e relatórios técnicos;
- Facilitar o intercâmbio de dados entre órgãos gestores;
- Definir níveis de exigência compatíveis com a realidade de cada estrutura;
- Suportar a priorização de ações de fiscalização e prevenção de acidentes.

A definição clara e objetiva do porte da barragem representa um componente técnico e estratégico indispensável para a efetiva implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e para a promoção de uma governança hídrica

orientada ao risco e à eficiência.

### 3.5 Análise dos Dados das Barragens Cadastradas no IGAM (2024)

A presente análise teve como base os dados das barragens cadastradas no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no ano de 2024, com foco nos parâmetros de altura das estruturas (em metros) e volume dos reservatórios (em metros cúbicos).

Os resultados estatísticos demonstram uma ampla variação entre os valores mínimos e máximos para ambas as variáveis:

**Tabela 2** - Resumo Estatístico das Barragens Cadastradas no IGAM (2024).

Altura (m)		Volume (m³)	
Limite Mínimo	-4,75	Limite Mínimo	-318.250
Valor Mínimo	1	Valor Mínimo	1.000
1º Quartil (Q1)	2	1º Quartil (Q1)	5.000
Mediana (Q2)	3,99	Mediana (Q2)	33.000
3º Quartil (Q3)	6,5	3º Quartil (Q3)	220.500
Limite Máximo	13,25	Limite Máximo	543.750
Valor Máximo	62	Valor Máximo	3.971.917.000

Fonte: Autoria própria (2025).

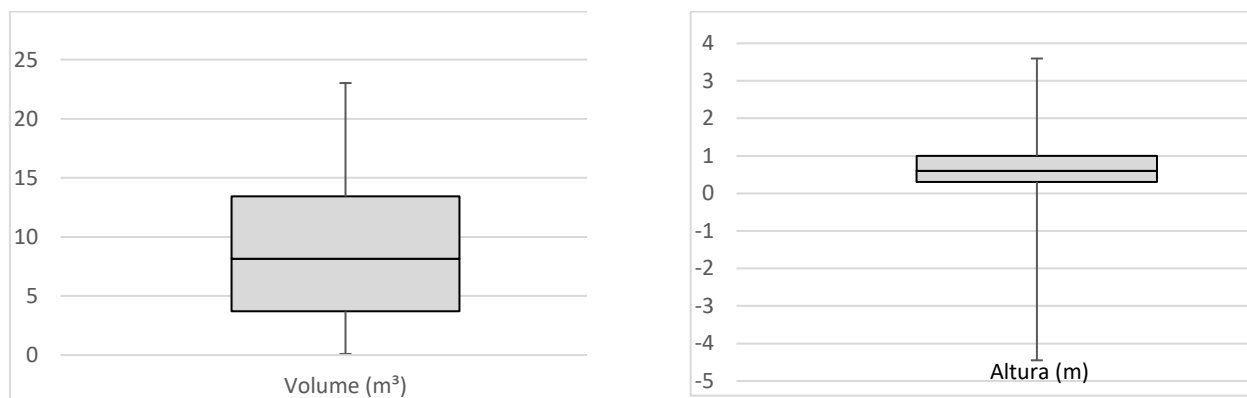
Esses valores revelam que a maioria das barragens em Minas Gerais são de pequeno porte, com volumes e alturas relativamente baixos. No entanto, há uma pequena quantidade de estruturas com valores extremamente elevados, tanto em altura quanto em volume, que afetam a distribuição dos dados.

Para uma análise estatística mais clara e interpretável dos dados de volume dos reservatórios e altura das barragens cadastradas junto ao IGAM, foi necessária a aplicação da transformação logarítmica ( $\log_{10}$ ) antes da geração dos gráficos do tipo boxplot.

Isso se deve ao fato de que tanto os volumes (em m³) quanto as alturas (em metros) apresentam grande amplitude de valores, com variações que vão de unidades até bilhões no caso dos volumes.

A escala logarítmica foi adotada com o objetivo de minimizar o impacto de valores extremos e realçar a distribuição central dos dados, facilitando a visualização de padrões, dispersões e possíveis outliers.

**Figura 1** - Distribuição do Volume e da Altura das Barragens Cadastradas junto ao IGAM (Escala Logarítmica).



Fonte: Autoria própria (2025).

#### 4. Resultados e Discussão

A necessidade de adaptação dos instrumentos de segurança à capacidade institucional é reconhecida também em marcos internacionais, como o Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (UNDRR, 2015), que recomenda abordagens baseadas no risco e no território. O foco deve estar na exposição e vulnerabilidade da população, e não apenas nas características técnicas da estrutura.

Diante das limitações orçamentárias e operacionais dos entes fiscalizadores, torna-se indispensável priorizar as ações de fiscalização, de modo a concentrar esforços nas estruturas que representam maior risco potencial, mesmo sem dados técnicos completos. O desafio está em desenvolver instrumentos objetivos e acessíveis, capazes de identificar, ainda que preliminarmente, quais barragens justificam atenção imediata.

Autores como Rodrigues e Moraes (2021) defendem que a priorização deve considerar critérios como:

- Existência de população ou infraestrutura a jusante;
- Indícios visuais de instabilidade (infiltrações, erosões, vegetação sobre o coroamento);
- Ausência de cadastro ou documentação mínima.

Com base nesses critérios, diversas experiências vêm propondo matrizes de priorização simplificadas, que pontuam barragens com base em critérios binários (sim/não). A proposta de Machado et al. (2022), por exemplo, organiza a análise em três dimensões:

- Exposição (proximidade de pessoas e bens vulneráveis),
- Vulnerabilidade da estrutura (condições físicas observáveis),
- Ausência de controle institucional (sem PSB, PAE ou cadastro).
- A pontuação total serve como indicador da prioridade fiscalizatória, permitindo a gestão de risco adaptada à realidade.

A Tabela 3 apresenta a matriz simplificada de priorização. A proposta considera quatro critérios-chave, cada um respondido com “sim” ou “não”, com base em observações diretas, imagens de satélite ou informações cadastrais mínimas. A presença de um ou mais itens marcados como “sim” indica maior prioridade de fiscalização, permitindo uma triagem preliminar eficiente. Os critérios são os seguintes:

**Tabela 3** - Matriz simplificada de critérios para priorização de fiscalização.

ID	Critério	Como avaliar	Marcar “Sim” ou “Não”
1	Há pessoas, casas ou estradas a jusante?	Visualmente ou por satélite. Qualquer ocupação próxima à área de possível inundação.	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
2	A barragem tem porte médio ou grande?	Altura e volume de acordo com Tabela 5	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
3	Há sinais de falhas visíveis?	Erosão, infiltrações, vegetação no coroamento, trincas, vazamentos.	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
4	Está sem regularização conhecida?	Sem outorga, licença ou cadastro no órgão gestor.	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Total de “Sim”			

Fonte: Autoria própria (2025).

A aplicação prática dos critérios demonstrou a viabilidade do uso de tecnologias de sensoriamento remoto, como imagens de satélite associadas a inteligência artificial, na identificação preliminar de barragens prioritárias. A detecção de sinais

de degradação, ocupação a jusante e estimativa do porte foi possível sem a necessidade de visitas *in loco* em um primeiro momento, o que otimiza recursos e amplia a capacidade de triagem. A utilização dessas ferramentas, aliada a métodos de amostragem estatística (simples ou composta), mostrou-se eficaz para selecionar, de forma objetiva, as estruturas com maior potencial de risco, contribuindo para a racionalização da fiscalização.

Com base na aplicação da matriz simplificada de priorização, foi possível estabelecer uma classificação das barragens quanto ao nível de atenção fiscalizatória recomendada. O número de respostas positivas (“SIM”) aos critérios definidos serve como indicador direto da prioridade de fiscalização, permitindo a triagem das estruturas com maior risco presumido. A seguir, apresenta-se a Tabela 4 de interpretação dos resultados, na qual se sugere a ação mais adequada de acordo com a quantidade de critérios atendidos:

**Tabela 4** - Tabela prioridade de fiscalização.

Quantos "SIM" foram marcados?	Ação recomendada
3 ou 4 SIMs	Alta prioridade de fiscalização
2 SIMs	Média prioridade
0 ou 1 SIM	Baixa prioridade – pode ser postergada ou desconsiderada por ora

Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados obtidos através das Tabela 3 e Tabela 4, evidenciam a importância de se estabelecer critérios objetivos para a definição do porte da barragem, sobretudo no contexto da priorização fiscalizatória. Observou-se que, em diversos casos analisados, estruturas classificadas como de pequeno porte apresentavam exposição significativa a jusante, inclusive com proximidade de áreas habitadas ou infraestrutura crítica. Isso demonstra que, embora o porte da barragem seja um parâmetro útil para fins cadastrais e operacionais, ele não pode ser utilizado isoladamente como indicador de risco.

A altura e o volume, são internacionalmente reconhecidos como os critérios mais representativos para estimar a magnitude física de uma barragem e seu potencial de impacto, especialmente em caso de falha. Ademais, a definição criteriosa do porte da barragem, atende ao critério 2 da Matriz Simplificada apresentada na Tabela 3.

A Tabela 5. Apresenta a proposta de classificação por porte das barragens de usos múltiplos em Minas Gerais, considerando a composição da altura e volume da estrutura. Para que a barragem obtenha seu porte, ela tem que cumprir os dois critérios. Em outras palavras, caso a barragem tenha altura compatível ao porte pequeno e volume compatível ao porte médio, seu enquadramento será como de porte médio.

**Tabela 5** - Definição objetiva de porte da barragem. Considerar Altura e Volume para definição do porte.

Porte da barragem	Altura do maciço (do talude de jusante até o coroamento)	Volume do reservatório (armazenado no nível normal)
Pequeno	Menor que 5 metros	Menor que 100.000 m <sup>3</sup>
Médio	Entre 5,01 e 15 metros	Entre 100.001 m <sup>3</sup> e 1.000.000 m <sup>3</sup>
Grande	Maior que 15 metros	Maior que 1.000.000 m <sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria (2025).

Ainda que o porte, por si só, não determine o risco, pois barragens pequenas podem ter alto dano potencial, ele fornece uma base objetiva e comparável para segmentar o universo de estruturas e definir o grau de complexidade exigido para fiscalização, elaboração de planos de segurança e regularização. Portanto, incluir altura e volume como critérios mínimos de classificação é uma condição técnica necessária para orientar decisões públicas mais eficazes na alocação de esforços de fiscalização e prevenção.

Nesse sentido, órgãos fiscalizadores devem ser capazes de agir preventivamente, mesmo sem o pleno diagnóstico técnico da barragem, utilizando indicadores substitutivos de risco que sinalizem situações críticas. Essa mudança de abordagem fortalece a governança local, evita desperdício de recursos e contribui para uma fiscalização mais estratégica e realista.

A análise estatística dos dados das barragens cadastradas junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no ano de 2024 permitiu uma compreensão mais clara da distribuição das principais características físicas dessas estruturas, especialmente em relação à altura e ao volume de armazenamento.

Os dados de altura (em metros) apresentaram uma distribuição assimétrica à direita, com uma concentração de valores em faixas mais baixas. O valor mínimo registrado foi de 1 metro, enquanto o máximo chegou a 62 metros. A mediana, ou valor central, foi de 3,99 metros, evidenciando que metade das barragens tem altura inferior a 4,00 metros. O primeiro quartil (Q1) foi de 2 metros e o terceiro quartil (Q3) de 6,5 metros, indicando que 50% das barragens possuem altura entre 2 e 6,5 metros. Isso demonstra a predominância de barragens de pequeno porte em relação à altura.

Em relação ao volume armazenado (em metros cúbicos), observou-se uma distribuição altamente assimétrica, com ampla variação entre os dados. O volume mínimo registrado foi de 1.000 m<sup>3</sup>, enquanto o máximo alcançou 3.971.917.000 m<sup>3</sup>, valor típico de grandes reservatórios de usinas hidrelétricas. A mediana foi de 33.000 m<sup>3</sup>, o que indica que metade das barragens possui volumes inferiores a esse valor. O Q1 ficou em 5.000 m<sup>3</sup> e o Q3 em 220.500 m<sup>3</sup>, revelando uma grande disparidade entre os volumes mais comuns e os reservatórios de grande capacidade.

Assim, podemos concluir que a maioria significativa das barragens cadastradas em Minas Gerais se enquadra na categoria de Porte Pequeno, conforme os critérios estabelecidos na Tabela 3, que considera os parâmetros de altura e volume do reservatório. Essa predominância é evidenciada pelos valores de mediana e pelos quartis obtidos nas análises: mais de 75% das estruturas apresentam altura inferior a 6,5 metros e volume inferior a 220.500 m<sup>3</sup>.

Diante da dimensão territorial do estado de Minas Gerais, do elevado número de barragens cadastradas e da estrutura limitada dos órgãos responsáveis pela fiscalização, a priorização das fiscalizações se torna uma estratégia fundamental, conforme orienta a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Essa política recomenda que os esforços de fiscalização sejam direcionados de forma estratégica para as estruturas com maior potencial de risco, seja em função de seu porte, da categoria de dano potencial associado, ou do histórico de manutenção e operação.

A priorização tem como objetivo garantir maior assertividade nas ações de monitoramento, focando nas barragens que, em caso de eventual rompimento, poderiam provocar impactos mais significativos à população, ao meio ambiente e à infraestrutura econômica. Nesse contexto, embora a maioria das barragens seja de pequeno porte, é fundamental que as estruturas de médio e grande porte, ou aquelas com classificação de alto dano potencial associado, sejam priorizadas nas rotinas de fiscalização, mesmo que representem uma fração menor do total.

Esse enfoque fortalece a eficiência da gestão pública ao direcionar esforços para ações mais estratégicas, otimizando o uso de recursos limitados e fomentando uma cultura de prevenção. Tal abordagem está alinhada com os princípios das legislações federal e estadual sobre segurança de barragens. A priorização pode ser realizada com base na matriz apresentada na Tabela 3, que considera critérios essenciais como: a existência de pessoas, residências ou infraestrutura a jusante; o porte da barragem (visivelmente médio ou grande); a presença de indícios visíveis de falhas; e a ausência de regularização formal conhecida.

**Tabela 6** - Resultado da aplicação da Matriz de Priorização em 4 barragens.

Barragem	Prioridade (Tabela 4)	Matriz Simplificada (Tabela3)			
		Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4
Córrego do café roxo	Baixa Prioridade	Não	Não	Sim	Não
Córrego Bebedouro	Média Prioridade	Não	Sim	Sim	Não
Barragem 03	Baixa Prioridade	Não	Não	Sim	Não
Barragem 08	Baixa Prioridade	Não	Não	Sim	Não

Fonte: Autoria própria (2025).

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da matriz de priorização (Tabela 4) após uso da matriz simplificada (Tabela 3) em quatro estudos de caso envolvendo barragens selecionadas aleatoriamente. O objetivo desta análise foi simular o método e verificar a aplicabilidade prática da matriz simplificada na priorização de estruturas de barragens para ações de fiscalização ou intervenção.

Verifica-se que, das quatro barragens analisadas, três (Córrego do Café Roxo, Barragem 03 e Barragem 08) foram classificadas como de baixa prioridade pela matriz de priorização. Quando analisadas pela matriz simplificada, todas elas apresentaram características semelhantes: ausência de pessoas, residências e estradas a jusante (Critério 1: Não), pequeno porte (Critério 2: Pequeno), presença de sinais de danos visíveis (Critério 3: Sim) e existência de regularização junto ao órgão competente (Critério 4: Possui regularização). Esses elementos reforçam a conclusão de que essas estruturas, embora possuam algum nível de risco, estão adequadamente controladas e, portanto, não exigem atenção imediata sob a ótica da priorização adotada.

A única barragem classificada como de média prioridade foi a Barragem Córrego Bebedouro, cujos critérios também se distinguem das demais no que tange ao porte (Critério 2: Médio), mantendo, no entanto, os demais parâmetros semelhantes. O porte intermediário parece ter sido o fator determinante para a elevação da prioridade, sugerindo que esse critério possui um peso relevante na matriz completa, mesmo quando os demais indicadores estão sob controle.

Essa análise comparativa evidencia que a matriz simplificada pode ser uma ferramenta útil e prática, especialmente em contextos nos quais há escassez de informações ou de recursos técnicos para aplicação de métodos mais complexos. No entanto, ela também aponta que certas nuances, como o porte da estrutura ou barragens em áreas urbanas podem ser subestimadas, por receber um único “SIM” o que pode gerar discrepâncias na priorização quando comparada à abordagem mais abrangente.

Assim, a matriz simplificada pode ser recomendada para triagens iniciais, sendo posteriormente complementada por informações adicionais em casos que levantem dúvidas ou onde os critérios apresentem níveis intermediários de risco.

Outra importante aplicabilidade da matriz de priorização (Tabela 4) é sua utilização para selecionar alvos de fiscalização entre as estruturas de pequeno porte, especialmente aquelas com volume inferior a 100.000 m<sup>3</sup> e altura inferior a 5 m, que representam a maioria das barragens cadastradas. Nesse universo mais amplo, a matriz permite destacar aquelas que, apesar de seu porte reduzido, apresentam condições que justificam atenção mais imediata.

## 5. Conclusão

A literatura aponta para um consenso: não é viável tratar todas as barragens da mesma forma, especialmente quando há milhares de estruturas e recursos limitados. A priorização baseada em critérios objetivos como exposição a jusante, ausência de regularização e sinais visuais de degradação, se apresenta como uma estratégia técnica viável e institucionalmente adaptável, sobretudo para barragens de usos múltiplos.

Essa abordagem não substitui a aplicação integral da PNSB, mas pode atuar como etapa preliminar e como instrumento

de gestão de risco proporcional à realidade brasileira. Ao considerar o risco presumido e os dados disponíveis, os órgãos podem alocar recursos de forma mais eficiente e reduzir a probabilidade de eventos catastróficos.

Os critérios utilizados na matriz foram derivados da literatura técnica (ICOLD, ANA, UNDRR) e de experiências na gestão de segurança de barragens de usos múltiplos realizada pelo Igam. A matriz buscou equilíbrio entre simplicidade, aplicabilidade e relevância técnica, priorizando indicadores verificáveis a partir de inspeções visuais, análise geográfica e dados cadastrais mínimos.

A pontuação total permite classificar as barragens em três faixas de prioridade:

- Alta prioridade: presença de múltiplos fatores de risco e impacto potencial significativo;
- Média prioridade: risco moderado ou parcialmente controlado;
- Baixa prioridade: estruturas com baixo impacto estimado e sob algum grau de controle institucional.

A matriz de priorização não substitui a análise técnica detalhada de segurança da barragem, mas constitui uma ferramenta preliminar de triagem e gestão de risco, especialmente útil para orientar a atuação de órgãos fiscalizadores diante da limitação de recursos.

Nas simulações realizadas com os estudos de caso, foi considerada uma margem de erro de 50%, o que implica um baixo grau de confiabilidade estatística dos resultados obtidos a partir da amostra. Em termos metodológicos, margens de erro comumente aceitáveis situam-se entre 2% e 10%, sendo valores superiores a 15% geralmente evitados, exceto em análises de caráter preliminar ou exploratório. Dessa forma, os resultados apresentados devem ser interpretados como indicativos e não generalizáveis para a totalidade da população.

Contudo, considerando que a eventual adoção da matriz de priorização por um órgão fiscalizador implicaria em sua aplicação a toda a população de barragens, a avaliação estatística realizada neste trabalho tem como objetivo demonstrar que os resultados obtidos nas quatro simulações não representam, necessariamente, a classificação predominante das barragens em nível populacional.

Outro viés relevante do presente trabalho é quanto a definição do porte das barragens. A ausência de uma padronização clara e amplamente aplicada sobre o que caracteriza uma barragem de pequeno, médio ou grande porte dificulta a comparação entre estados e compromete a consistência dos cadastros oficiais. Portanto, a definição do porte deve ser considerada uma etapa preliminar essencial para organizar a fiscalização, orientar a exigência de documentos técnicos e estabelecer protocolos compatíveis com a escala e o potencial de dano da estrutura, desde que associada a outros critérios, como exposição, vulnerabilidade e ausência de controle institucional.

Entende-se que conjugar dados de altura e volume, proporciona uma aderência maior a realidade dos órgãos fiscalizadores, quando comparado somente com o volume. Ademais, entende-se que as classes adotadas atualmente pela ANA enquadrariam a maioria das barragens de gestão estadual como sendo de pequeno porte, dificultando a priorização das ações.

A análise das barragens cadastradas no IGAM em 2024 evidencia um cenário composto majoritariamente por estruturas de pequeno porte, tanto em termos de altura quanto de volume. Essa característica, embora possa indicar menor potencial de dano individual, não elimina a necessidade de uma abordagem estratégica e criteriosa na fiscalização, especialmente diante da vasta extensão territorial de Minas Gerais, do elevado número de barragens no estado e da limitação estrutural do órgão fiscalizador.

Nesse contexto, torna-se fundamental o uso de critérios objetivos e simplificados para orientar a priorização das inspeções. Ferramentas como a matriz apresentada (Tabela 3), que avalia a presença de pessoas ou infraestrutura a jusante, o porte visível da barragem, a existência de sinais de falhas e a regularização formal da estrutura, contribuem significativamente para uma gestão mais assertiva.

Esse modelo de priorização favorece a alocação racional de recursos escassos e amplia a efetividade das ações preventivas, promovendo uma cultura de segurança alinhada às diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Ao focar nos empreendimentos com maior potencial de impacto em caso de rompimento, fortalece-se a atuação do poder público na mitigação de riscos e na proteção da vida e do meio ambiente.

Ademais, no presente estudo, observou-se que a ausência de dados básicos como motivos de rompimento de barragens e respectivas consequências dificulta a priorização de fiscalização.

O presente trabalho apresenta e discute os resultados de uma proposta ainda em fase de construção e desenvolvimento. Considera-se adequado, em etapas futuras, ampliar a amostra analisada e incorporar a avaliação das incertezas associadas às informações disponíveis, aos métodos utilizados e aos resultados obtidos.

Portanto, trata-se de um desafio único que promove o diálogo entre empreendedores, órgãos fiscalizadores e a comunidade técnico-científica nacional, visando consolidar com êxito a cultura da segurança de barragens."

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) e à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pelo acesso a dados e informações fundamentais para a realização deste estudo. Estendem, ainda, seu reconhecimento à sociedade, cuja demanda por segurança hídrica e transparência na gestão de recursos inspira a busca por soluções técnicas mais eficazes e inclusivas.

## Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2023). *Relatório de segurança de barragens – 2023*. Brasília: ANA.
- Borges, L. F., & Andrade, R. L. (2020). Pequenas barragens, grandes riscos: a invisibilidade do potencial de impacto em áreas rurais. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 14(2), 33–45.
- Brasil. (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens*. Diário Oficial da União. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm)
- Cunha, A. P., & Barreto, R. L. (2024). Critérios simplificados para avaliação preliminar de segurança de pequenas barragens. *Gestão Pública e Desenvolvimento*, 12(1), 112–128.
- Gil, A. C. (2017). *Como elaborar um projeto científico* (6ª ed.). Editora Atlas.
- International Commission on Large Dams. (2011). *Dam safety management: Operational phase of dams* (ICOLD Bulletin 130).
- Machado, V. R., Oliveira, C. T., & Farias, M. S. (2022). Instrumentos simplificados para triagem de risco em barragens de usos múltiplos. *Revista Planejamento & Gestão Ambiental*, 10(1), 88–101.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica* [e-book gratuito]. Editora UFSM.
- Ribeiro, C. M., Fernandes, M. L., & Tavares, A. P. (2020). A efetividade da PNSB no contexto das barragens de pequeno porte. *Revista de Gestão de Recursos Hídricos*, 15(1), 45–60.
- Rodrigues, T., & Moraes, J. A. (2021). Gestão de risco em barragens: proposta de matriz de priorização objetiva para órgãos estaduais. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 26(2), 112–125.
- Shitsuka, R., Shitsuka, D. M., Pereira, A. S., & Shitsuka, F. M. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia* (2ª ed.). Editora Érica.
- Souza, M. A., & Lima, D. F. (2019). Limites da implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens: um olhar sobre os estados. *Cadernos de Administração Pública*, 17(3), 76–94.
- Souza, D. A., & Lima, P. R. (2023). Avaliação de riscos em barragens de usos múltiplos: desafios para a implementação da Política Nacional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 28(1), e35.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. Geneva: UNDRR.