Gestão de riscos e segurança de barragens de acumulação de água no Brasil:

revisão rápida

JUN | 2026

Expediente

Presidente
Betânia Peixoto Lemos

Diretora-Executiva
Danyelle Siqueira Campos Gil Lemos Barreto

Diretor de Altos Estudos
Alexandre de Ávila Gomide

Diretora de Educação Executiva
Iara Cristina da Silva Alves

Diretor de Desenvolvimento Profissional
Bruna Danielly da Paz Tenório

Diretora de Inovação
Camila de Castro Barbosa Medeiros

Diretor de Gestão Interna
Lincoln Moreira Jorge Junior

Coordenadora-Geral de Avaliação e Organização de Evidências
Tamille Sales Dias

Capa e Diagramação
Equipe EvEx

Autoria
Gessica Cardoso Souza
Liara Ferreira dos Santos
Sara Emanuela de Carvalho Mota

É permitida a reprodução total ou parcial, desde que citada a fonte.

Para mais informações, consulte nossa página www.enap.gov.br/pt/servicos/avaliacao-eorganizacao-de-evidencias)
ou entre em contato:
evidencia.express@enap.gov.br

O Evidência Express (EvEx) é uma iniciativa da Diretoria de Altos Estudos da Escola Nacional de Administração Pública (Enap) em parceria com a Universidade de Brasília (UnB). A missão do EvEx é gerar evidências para informar a tomada de decisão no setor público.

Para isso, a equipe sintetiza, produz e analisa dados que possam servir de base para o desenho, a implementação, o monitoramento e a avaliação de políticas públicas.

Os relatórios produzidos pelo EvEx agilizam a geração de conhecimento voltado para desafios públicos, seguindo três premissas fundamentais: engajamento com pessoas gestoras públicas, tempestividade e tradução do conhecimento. Os produtos EvEx podem subsidiar análises ex ante, avaliações ex post ou Análises de Impacto Regulatório, além de beneficiar gestoras públicas subnacionais, pesquisadoras, docentes, servidoras e demais interessadas da sociedade civil.

Os produtos EvEx podem analisar dados qualitativos e quantitativos, sobre:
- Evolução do problema no Brasil e no mundo;
- Público-alvo de uma política;
- Causas e consequências do problema ou política;
- Soluções existentes para o problema;
- Impactos de intervenções ou políticas públicas.

Projeto financiado pela parceria Enap e Secretaria de Monitoramento e Avaliação do Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO), no âmbito das avaliações do ciclo 2025 do Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas do Governo Federal (CMAP)

Forma sugerida para referenciar este documento: SOUZA, G.C..; SANTOS, L.F.; MOTA, S.E.C. Gestão de riscos e segurança de barragens de acumulação de água no Brasil: revisão rápida. In: ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. Relatório de pesquisa, Evidência Express. Brasília: Enap, 2026. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/6939. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Sumário

Sumário executivo 4

1 Introdução 6

2 Métodos 8

2.1 Tipo de estudo 8

2.2 Pergunta de pesquisa 8

2.3 Critérios de elegibilidade 9

2.4 Busca de informações 9

2.5 Seleção, extração e análise dos dados 9

2.6 Atalhos metodológicos 10

3 Resultados 11

3.1 Características gerais dos estudos 12

3.2 Síntese dos resultados por desfecho 17

4 Considerações finais 38

Referências Bibliográficas 41

Apêndice 1. Base de dados, estratégia de busca e achados recuperados 44

Apêndice 2. Estudos excluídos após leitura do texto completo, com justificativa 45

Sumário executivo

Introdução

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei nº 12.334/2010 e atualizada pela Lei nº 14.066/2020, organiza no Brasil os instrumentos de classificação, monitoramento, fiscalização e resposta a emergências aplicáveis às barragens de acumulação de água para usos múltiplos. Em mais de uma década de vigência, a política consolidou instrumentos centrais como a Categoria de Risco (CRI), o Dano Potencial Associado (DPA), o Plano de Segurança da Barragem (PSB) e o Plano de Ação de Emergência (PAE), e estruturou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). No entanto, registros recorrentes de acidentes e incidentes, dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores estaduais e a repercussão dos rompimentos em barragens de outras finalidades justificam esta sistematização de evidências disponíveis sobre os resultados das ações de reabilitação no contexto da PNSB.

Perguntas

A revisão respondeu à pergunta: quais são os principais resultados e impactos das ações de reabilitação de barragens, no âmbito da PNSB, sobre a gestão de risco e a segurança de barragens de acumulação de água no Brasil? A pergunta foi estruturada no formato População-Conceito-Contexto (PCC), conforme detalhado no Quadro 1.

Método

Trata-se de revisão rápida de literatura com extração estruturada em planilha padronizada. As buscas de estudos foram realizadas em 17 de abril de 2026 nas bases de dados LENS, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Scopus, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Google Acadêmico e nos diretórios institucionais da Escola Nacional de Administração Pública (Enap). Os processos de busca e seleção de dados foram realizados de modo pareado, independente e com cegamento, com o intuito de identificar os estudos mais relevantes. Não foi realizada avaliação metodológica dos estudos incluídos.

Resultados

De 2.523 registros recuperados nas buscas, 20 estudos foram incluídos, sendo 13 artigos e sete dissertações, publicados entre 2011 e 2025, com concentração no quinquênio 2021-2025. Os resultados foram organizados em cinco eixos temáticos: segurança técnica das estruturas; prevenção e proteção da população a jusante; eficiência regulatória e capacidade institucional; efetividade da implementação da política; sustentabilidade, economicidade e adaptação a riscos emergentes. Em

segurança técnica, a literatura concentra-se na calibração de índices compostos (Índice de Segurança de Barragens, ISB; *Dam Safety Index*, DSI; CRI; DPA) e em metodologias de identificação de falhas estruturais e operacionais. Em prevenção, predominam modelos hidrodinâmicos uni e bidimensionais para mapeamento de manchas de inundação e simulação de cenários de ruptura como base do PAE. Em eficiência regulatória, observam-se relatos consistentes de fragilidades na fiscalização e na articulação interinstitucional. Em efetividade da implementação, Prado, Santos e Silva (2025) registram percentuais críticos de atendimento aos macroindicadores da política, com microindicador de inspeções de fiscalização de 3,52% no Brasil em 2021, e Lima (2023a) reporta 58% das 38 barragens do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em Pernambuco em condição insatisfatória pelo ISB. Em sustentabilidade e adaptação, há aporte conceitual de modelos informados por risco (*Risk-Informed Decision Making*) e de calibração regional de coeficientes hidrológicos para os contextos brasileiros.

Conclusão

A literatura disponível indica que os instrumentos centrais da PNSB estão amplamente reconhecidos no campo técnico-acadêmico, com produção consolidada em modelagem hidrodinâmica e em propostas de calibração regional de critérios de classificação. A implementação efetiva, todavia, apresenta fragilidades persistentes, em particular, baixa cobertura de inspeções de fiscalização, deficiência de informações técnicas no SNISB e escassez de profissionais especializados nos órgãos fiscalizadores estaduais. As evidências reportadas concentram-se em estudos de caso e em instrumentos analíticos, com lacuna significativa de estudos avaliativos comparáveis entre estados e capazes de informar sobre a eficácia das ações de reabilitação na redução efetiva de risco. A principal recomendação que emerge da revisão é a necessidade de aproximação entre a literatura técnica de engenharia de barragens e o campo de avaliação de políticas públicas, com mobilização de ferramentas avaliativas sensíveis aos diferentes contextos regionais.

1. Introdução

Barragens são estruturas construídas para contenção de substâncias líquidas (ou mistura de líquidos e sólidos), cujo objetivo é a formação de um reservatório de acumulação. Os dados mais recentes informam que existem 28.085 barragens cadastradas no país e a grande maioria (97%) é destinada à acumulação de água, com objetivo principal de obter uma reserva hídrica para utilização durante os períodos de estiagem. Os principais usos dos reservatórios de água no país são para fins de irrigação, dessedentação animal, regularização de vazão e controle de cheias, abastecimento humano, aquicultura e geração de energia elétrica (Brasil, 2025).

O cadastro de barragens é o ponto de partida para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e nele devem constar informações sobre todas as barragens existentes no Brasil. De responsabilidade dos respectivos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens, o cadastro deve ser realizado no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), gerido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Os dados sobre as barragens existentes no país são monitorados por meio dos Relatórios de Segurança de Barragens (RSB), outro instrumento instituído pela PNSB e publicado anualmente para informar processos de tomada de decisão, garantindo maior transparência e contribuindo para a atuação do controle social.

A PNSB foi criada por meio da Lei Federal nº 12.334, em 20 de setembro de 2010, e estabelece padrões adequados e regras nacionais para a governança da segurança das barragens, com o objetivo de prevenir desastres. Esta política nacional definiu responsabilidades para os empreendedores e atribuições aos órgãos fiscalizadores e outras instituições do poder executivo em todas as esferas.

As ações de segurança de barragens, contudo, tendem a ser onerosas e o orçamento fiscal da União e dos Estados não dispõe de rubrica específica para segurança de barragens, de modo que essas ações em geral são contempladas em rubricas orçamentárias relacionadas à infraestrutura hídrica, a exemplo da ação de Reabilitação de barragens e de outras infraestruturas hídricas (ação orçamentária 21DD, que sucedeu a ação 14RP). Esta ação visa garantir a funcionalidade das barragens por meio de sua recuperação, manutenção e modernização de acordo com as normas nacionais, com a elaboração dos projetos, planos e estudos com foco na prevenção de desastres.

Apesar dos esforços para atualização e aprimoramento da PNSB com vistas a garantir avanços na gestão da segurança de barragens no Brasil, dados recentes demonstram que a quantidade de acidentes e incidentes tem crescido no país. Exemplo disso é o número de incidentes reportados no RSB 2024/2025, 80% superior ao valor reportado no ano anterior (Brasil, 2025).

O registro de incidentes está relacionado à capacidade de gestão de segurança, na medida

em que identifica situações de perigo antes que o acidente venha a ocorrer, permitindo que sejam tomadas as ações preventivas necessárias. Os acidentes, por sua vez, consistem no comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa (Brasil, 2010).

A fonte primária de informações sobre acidentes e incidentes são os relatos enviados pelos fiscalizadores, de modo que esses dados se relacionam também com a capacidade de fiscalização dos órgãos federais e estaduais. Estudos apontam que, entre as dificuldades mais frequentes relatadas por esses órgãos fiscalizadores, estão a inexistência de projetos de barragens, a falta de pessoal técnico especializado em segurança de barragens e a falta de informações técnicas sobre as barragens por parte do empreendedor (Silva; Mattos; Silva, 2023).

São as equipes técnicas vinculadas aos empreendedores públicos e privados das barragens que têm a responsabilidade de elaborar os Planos de Segurança de Barragens (PSB), incluindo os Planos de Ações de Emergência (PAE). Isto porque, de acordo com a Lei nº 14.066/2020, a responsabilidade legal pela segurança da barragem, assim como pelos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento, é dos seus empreendedores, ou seja, das pessoas ou organizações que detenham o direito de operação da barragem e do respectivo reservatório. Deste modo, é obrigação do empreendedor executar as medidas necessárias para garantia dos aspectos de segurança das barragens.

O órgão fiscalizador, portanto, determina a classificação das barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), à Categoria de Risco (CRI) e ao volume, e exige do empreendedor a adoção de medidas preventivas que levem à redução da categoria de risco da barragem. A classificação quanto ao DPA considera o potencial de perdas de vidas humanas e os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de eventual ruptura. A classificação da CRI, por sua vez, considera características técnicas da barragem como métodos construtivos, estado de conservação, idade do empreendimento e o atendimento ao PSB (Brasil, 2025).

No Brasil, os PSB são elaborados a partir de uma abordagem tradicionalmente constituída a partir de padrões de segurança consolidados na área da engenharia. Existe, entretanto, um tipo de abordagem complementar, mais integrada, que prevê procedimentos sistemáticos para identificar possíveis modos de falha das barragens com o intuito de diminuir a vulnerabilidade de pessoas, ecossistemas e da infraestrutura no vale a jusante, reduzindo significativamente o risco global da estrutura. Esta abordagem, denominada gestão integrada de riscos, tem sido adaptada ao contexto da segurança de barragens em diversos países, com pontos positivos relacionados ao tratamento integrado de ações, do desempenho e das consequências (Jesus, 2021).

Esta revisão rápida sintetiza o que a literatura disponível aponta sobre a efetividade da implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens e o impacto de seus instrumentos de monitoramento e prevenção de acidentes na gestão de risco e segurança de barragens de acúmulo de água no Brasil, com destaque para iniciativas e abordagens que contribuam também para a otimização de recursos.

2. Métodos

2.1 Tipo de estudo

O presente estudo é uma revisão rápida, que é um produto de tradução do conhecimento, desenvolvido através de método sistemático e transparente para acessar, avaliar e sintetizar evidências científicas que possam contribuir para a solução de um problema. Embora não haja um modelo único para esse tipo de documento, todos compartilham a característica de serem elaborados em um curto espaço de tempo.

As revisões rápidas consistem em sínteses das melhores evidências disponíveis, apresentadas para abordar um problema prioritário, e são produzidas seguindo rigorosos padrões de metodologia e transparência. Diferentemente da maioria das revisões sistemáticas tradicionais, as revisões rápidas são geralmente realizadas por demanda de um tomador de decisões, que tem participação relevante na definição da questão de pesquisa, bem como nos parâmetros da análise e na definição do tempo a ser empregado (Brasil, 2020). Neste sentido, reuniões de alinhamento para restrição do escopo das perguntas foram realizadas com os demandantes do estudo, assim como a aplicação de critérios relacionados ao desenho do estudo, idioma, tipo de publicação e o uso de literatura cinzenta.

A condução e o relato desta revisão rápida seguem, de forma adaptada, a Declaração PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021).

2.2 Pergunta de pesquisa

Esta revisão rápida foi conduzida a partir da seguinte pergunta de pesquisa:

- Quais são os principais resultados e impactos das ações de reabilitação de barragens no contexto da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) na gestão de risco e segurança de barragens de acumulação de água no Brasil?

Este estudo foi estruturado a partir do acrônimo PCC, descrito no quadro abaixo:

Quadro 1. Estrutura da pergunta de pesquisa

Problema (P)	Risco associado à segurança de barragens destinadas à acumulação de água no Brasil, incluindo riscos estruturais, operacionais e riscos à população potencialmente afetada (dano potencial associado).
Conceito (C)	Impacto e resultados das ações de reabilitação de barragens de acumulação de água no âmbito da Política Nacional de Segurança de Barragens e seus instrumentos.
Contexto (C)	Barragens destinadas à acumulação de água para usos múltiplos, no contexto brasileiro, especialmente após a implementação da PNSB e seus desdobramentos regulatórios.

Siglas: PNSB: Política Nacional de Segurança de Barragens.

2.3 Critérios de elegibilidade

Os critérios incluíram estudos empíricos e descritivos, publicações nacionais ou internacionais; da literatura científica e cinzenta disponível. Foram incluídos estudos que analisavam riscos associados à segurança de barragens de acumulação de água, avaliação de risco estrutural, operacional ou risco à população e estudos sobre a implementação, avaliação e impactos da PNSB no contexto nacional. Foram consideradas as publicações em português, inglês e espanhol. Não houve recorte relacionado ao período de publicação.

Foram excluídos estudos teóricos, apenas com recomendações; artigos de opinião; capítulos de livros; resumos de congresso; guias e manuais; livros e capítulos de livro. Além disso, foram excluídos também estudos que não tinham relação com a temática, que abordavam outros tipos de barragens, como de mineração e hidrelétricas, ou estudos que não analisassem o contexto brasileiro.

2.4 Busca de informações

Para a identificação dos estudos, foram realizadas buscas sistemáticas nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico (até a página 10), LENS, Periódicos Capes, Scopus e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Para a definição da última página incluída no Google Acadêmico foi considerada a identificação de artigos que respondessem à pergunta de pesquisa.

As estratégias de busca foram desenvolvidas com base na combinação de um conjunto de palavras-chave, estruturadas a partir do acrônimo PCC, usando termos específicos da área e suas variações, mapeados na literatura e por especialistas na área, adaptando-os para cada uma das bases consultadas. As estratégias de busca foram desenvolvidas pelas pesquisadoras envolvidas na elaboração desta revisão, em colaboração com a área técnica do Evidência Express.

As buscas foram realizadas no dia 17 de abril de 2026. Foram utilizados, em algumas bases de dados, filtros de data (incluindo apenas documentos publicados a partir de 2010). O detalhamento das estratégias de busca utilizadas está apresentado no **Apêndice 1**.

2.5 Seleção, extração e análise dos dados

A seleção dos artigos foi realizada de modo pareado, independente e com cegamento, com o intuito de identificar os estudos mais relevantes. Eventuais dúvidas foram resolvidas por meio de consenso entre as pesquisadoras e validadas pela coordenação da pesquisa. Foi utilizado o gerenciador bibliográfico Rayyan QCRI (Ouzzani et al., 2016) para a triagem pela leitura de títulos e resumos, após a exclusão de duplicatas. O instrumento para extração manual dos dados dos estudos elegíveis foi desenvolvido pelas pesquisadoras em uma planilha online do Microsoft Excel.

A análise foi conduzida de forma descritiva, sendo extraídas as seguintes informações para

cada um dos estudos incluídos:

- Características gerais dos estudos: autor e ano, título, objetivo, tipo de documento, desenho dos estudos, local, metodologia, fonte de dados e período de realização;
- Características da amostra: tamanho da amostra, porte, tipo construtivo e finalidade da barragem, tipo de risco avaliado e modo de falha investigado.
- Características da intervenção: tipo de intervenção e ação de reabilitação.
- Características dos riscos avaliados: metodologia de avaliação de risco, classificação do risco de acordo com a PNSB e classificação do Dano Potencial Associado (DPA).
- Características dos resultados encontrados: resultados reportados, indicadores de desempenho utilizados, classificação do tipo de resultado e do desfecho.
- Características das conclusões das pessoas autoras: conclusões, lacunas e recomendações apontadas e limitações dos estudos.

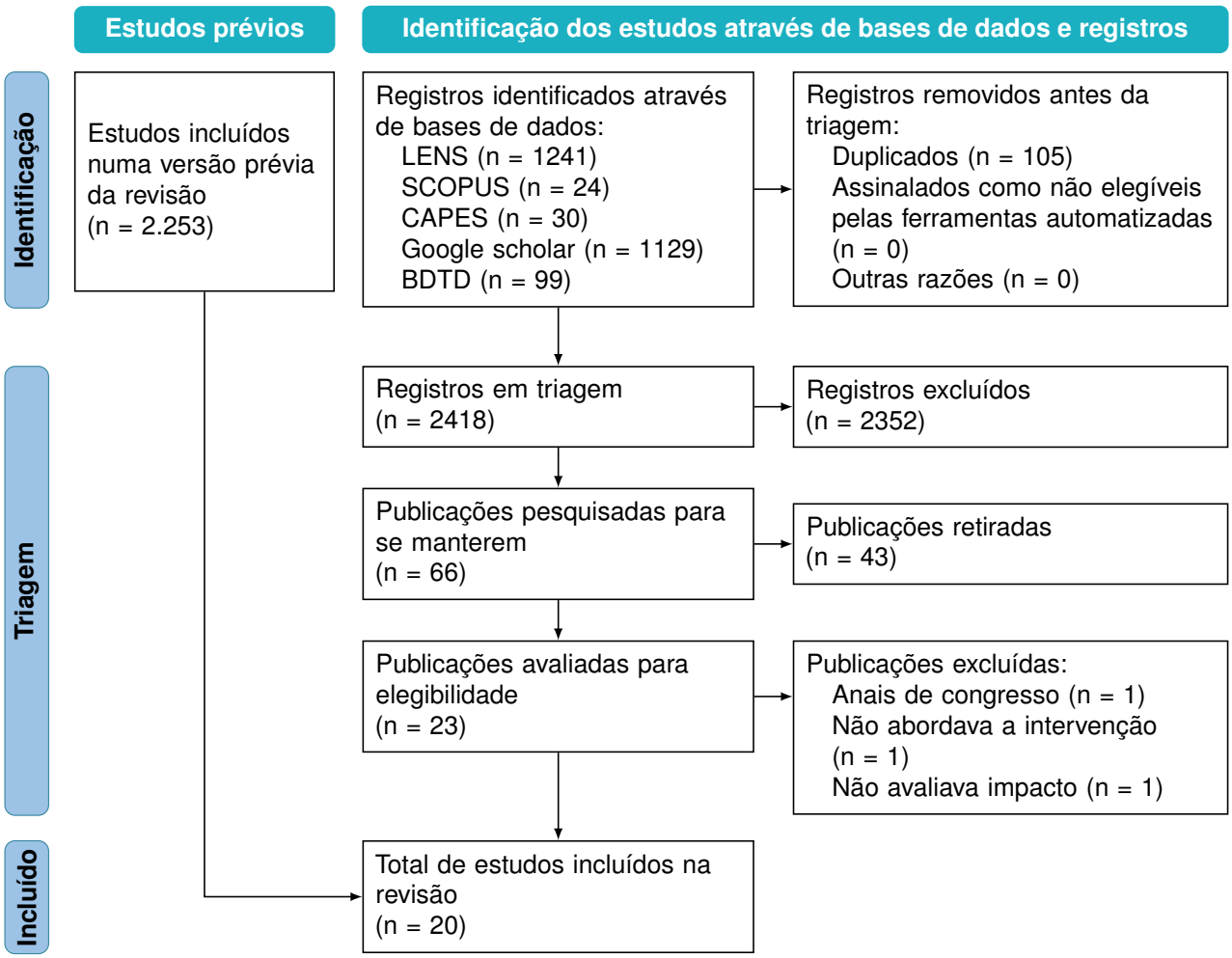
2.6 Atalhos metodológicos

Como é característico de uma revisão rápida, alguns atalhos metodológicos foram adotados. A extração de dados dos artigos foi realizada por duas pesquisadoras individualmente, ou seja, de modo não pareado. Eventuais dúvidas foram resolvidas por meio de consenso entre todas as pesquisadoras e validadas pela coordenação da pesquisa. Não foi realizada avaliação metodológica dos estudos incluídos, bem como da própria revisão rápida.

3. Resultados

As buscas resultaram em 2.523 registros, considerando publicações entre 2011 e 2025. Estes foram exportados para o gerenciador de referências Rayyan QCRI (Ouzzani et al., 2016) e 105 documentos duplicados foram excluídos. Na triagem, foi realizada a leitura de títulos e resumos de 2.418 documentos, sendo selecionados 66 para a leitura na íntegra. Ao final desta etapa, 23 estudos foram incluídos para a extração de dados. Nesta etapa foram excluídos outros três estudos, totalizando 20 estudos analisados. A **Figura 1** ilustra o processo de seleção dos estudos e no **Apêndice 2** estão apresentados os artigos excluídos na etapa de elegibilidade, com as razões de sua exclusão.

Figura 1. Fluxograma PRISMA



Traduzido por: Verónica Abreu, Sónia Gonçalves-Lopes*, José Luís Sousa* e Verónica Oliveira/ *ESS Jean Piaget, Vila Nova de Gaia, Portugal, de:* Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

3.1 Características gerais dos estudos

Dos 20 estudos incluídos para a extração de dados, 13 são artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais e 7 são dissertações de mestrado defendidas em programas de pós-graduação brasileiros. Predominam estudos com abordagem quantitativa ou de métodos mistos, com base em modelagens hidrodinâmicas, índices multicritério de segurança e análises de lacunas regulatórias. Cinco estudos adotam abordagem qualitativa ou revisão narrativa, com foco em governança, instrumentos institucionais e evolução conceitual da segurança de barragens. Quanto aos tipos de dados, predomina a combinação de dados secundários, em particular o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), os Relatórios de Segurança de Barragens (RSB) anuais da Agência Nacional de Águas (ANA) e cadastros estaduais, com dados primários gerados por levantamentos de campo, simulações computacionais e questionários a especialistas.

Em relação à abrangência geográfica, 17 estudos têm recorte exclusivamente brasileiro, distribuídos por onze unidades da federação: Pará (Ferreira, 2025), Pernambuco (Castro, 2024; Lima, 2023a; Prado; Santos; Silva, 2025), Ceará (Chaves et al., 2017), Rio Grande do Norte (Ferreira, 2023), Sergipe (Santa Rita, 2021), Roraima (Pereira et al., 2021), Minas Gerais (Vianini Neto, 2016; Moreira et al., 2025), Rio de Janeiro (Veról; Miguez; Mascarenhas, 2011; Rocha; Miranda Neto, 2018), Rio Grande do Sul (Lima, 2023b), Santa Catarina (Moura; Vieira; Bohn, 2015) e Paraná (Czap; Marques Filho, 2024). Três estudos adotam recorte internacional, comparativo ou de aplicação metodológica não restrita a um estado: Aguiar (2014), Garcia et al. (2019) e Contreras e Escuder-Bueno (2023). Silva, Mattos e Silva (2023) e Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020) têm escopo nacional, com referências comparativas a literatura internacional.

O recorte temporal das publicações é de 2011 a 2025, com concentração no quinquênio 2021-2025 (12 dos 20 estudos). Esse padrão é consistente com a maturação progressiva da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), aprovada pela Lei nº 12.334 em setembro de 2010 e atualizada pela Lei nº 14.066 em setembro de 2020, e com o efeito indutor de pesquisas associadas aos acidentes de mineração em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), refletido e identificado no processo de buscas. Quanto à finalidade das barragens estudadas, predominam as de usos múltiplos e as de abastecimento de água, com aporte secundário de barragens de irrigação e de contenção de cheias. O Quadro 2 sintetiza as características dos 20 estudos incluídos.

Quadro 2. Características dos estudos incluídos

Autor, ano	País / Região	Tipo de documento	Abordagem metodológica	Objetivo	Foco analítico
Veról, Miguez e Mascarenhas, 2011	Brasil, RJ (rio Paraíba do Sul)	Artigo	Estudo de caso aplicado, com modelagem hidrodinâmica pseudo bidimensional (MODCEL) da propagação da onda de ruptura hipotética.	Apresentar os principais elementos técnicos para a preparação de mapas de inundação, que constituem a informação básica para um Plano de Ação de Emergência, por meio da simulação da ruptura hipotética da Barragem do Funil no Rio Paraíba do Sul.	Mapa de inundação para PAE
Aguiar, 2014	Brasil e exterior	Dissertação	Estudo metodológico de revisão e ampliação do ISB, com aplicação de questionário a 45 especialistas brasileiros e do exterior.	Contribuir para o avanço do cálculo do Índice de Segurança de Barragens (ISB) proposto por Zuffo (2005), incorporando novos critérios da legislação brasileira sobre segurança de barragens, reduzindo a subjetividade do método e ampliando sua aplicabilidade prática.	Modificação do ISB pós-PNSB
Moura, Vieira e Bohn, 2015	Brasil, SC (Ituporanga, bacia do Itajaí)	Artigo	Pesquisa exploratória qualitativa, com análise documental e análise crítica de textos bibliográficos, científicos e técnicos.	Analisar o processo de tomada de decisão e as ações de ampliação da Barragem Sul de Contenção de Cheias, situada em Ituporanga (SC), à luz das políticas nacionais de recursos hídricos, segurança de barragens e proteção e defesa civil.	Articulação PNRH/PNSB/ PNPDEC
Vianini Neto, 2016	Brasil, MG (Belo Horizonte)	Dissertação	Estudo de caso aplicado, com retroanálise da brecha histórica de 1954 e modelagem hidrodinâmica 2D da ruptura hipotética atual.	Avaliar os principais impactos na extensão e envoltória da mancha de inundação inerentes a diferentes metodologias e modelos matemáticos em estudos de ruptura hipotética, utilizando a Barragem da Pampulha como estudo de caso, com retroanálise do acidente de 1954.	Equações de brecha e mancha de inundação
Chaves et al., 2017	Brasil, CE	Artigo	Estudo aplicado de regionalização hidrológica, com aplicação de três metodologias de curvas envoltórias (Creager, Francou-Rodier e Castellarin) a dados de projeto de 43 barragens.	Testar a aplicabilidade das curvas envoltórias de Creager, Francou-Rodier e Castellarin às bacias hidrográficas do Ceará e construir curvas envoltórias regionais de cheias milenares (TR 1.000 anos) e decamilenares (TR 10.000 anos) específicas para o estado.	Verificação de cheia de projeto
Rocha e Miranda Neto, 2018	Brasil, RJ (Juturnaíba)	Artigo	Estudo de caso descritivo, com inspeção de campo, análise documental e aplicação dos critérios do CBDB e da Resolução CNRH nº 143/2012.	Classificar a Barragem de Juturnaíba, que mantém o maior reservatório de abastecimento de água do estado, e analisar seus riscos e danos potenciais associados, segundo as classificações do Comitê Brasileiro de Barragens e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.	Classificação CRI/DPA e diagnóstico

(continua)

Autor, ano	País / Região	Tipo de documento	Abordagem metodológica	Objetivo	Foco analítico
Garcia et al., 2019	Brasil e exterior	Artigo	Estudo metodológico de reavaliação dos pesos de um índice de segurança de barragens, com aplicação de questionário a 70 especialistas brasileiros e internacionais e tratamento estatístico.	Reavaliar a importância dos parâmetros do Dam Safety Index (DSI) proposto por Zuffo (2005) e modificado por Aguiar et al. (2015), com base em uma nova ponderação dos critérios, verificando mudanças no viés de importância dos critérios.	Reavaliação dos pesos do DSI
Pacheco, Henriques e Ribeiro, 2020	Brasil (com referências internacionais)	Artigo (revisão)	Revisão da literatura no estado da arte, de natureza teórica e descritiva, sistematizada em duas categorias principais (medidas geotécnicas tradicionais e tecnologias avançadas).	Apresentar uma abordagem teórica sobre aspectos técnico-científicos da auscultação de barragens no Brasil, fundamentada em revisão da literatura no estado da arte, envolvendo normas, conceitos, instrumentação, segurança, procedimentos e métodos de monitoramento.	Auscultação técnico-científica
Santa Rita, 2021	Brasil, SE (bacia do rio Jacarecica)	Dissertação	Estudo de caso aplicado, com modelagem hidrodinâmica bidimensional no HEC-RAS de cenários de ruptura hipotética em cascata.	Simular os efeitos hidrodinâmicos nos vales de jusante das barragens Jacarecica I e II após rompimentos hipotéticos com o HEC-RAS, mapeando manchas de inundação e realizando zoneamento de risco para subsidiar o Plano de Ação de Emergência.	Simulação de ruptura em cascata
Pereira et al., 2021	Brasil, RR (bacia do rio Cauamé)	Artigo	Estudo de caso comparativo, com aplicação do método simplificado de geração de mancha de inundação da ANA, em conjunto com os critérios das resoluções CNRH nº 143/2012 e ANA nº 132/2016.	Pesquisar critérios aplicados à classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) que reflitam melhor a realidade dos barramentos estudados, a fim de propor um modelo de classificação para o estado de Roraima, baseado em sete barragens.	Adaptação dos critérios de DPA
Ferreira, 2023	Brasil, RN	Dissertação	Estudo aplicado, metodológico e quantitativo, baseado em modelagem multicritério fuzzy (FAHP combinado com Sistema de Inferência Fuzzy).	Desenvolver um modelo multicritério de avaliação de risco de segurança de barragens de acumulação de água com emprego de lógica fuzzy.	Modelo multicritério de risco
Lima, 2023b	Brasil, RS (RH do Guaíba)	Dissertação	Estudo aplicado com desenvolvimento metodológico de modelo analítico de atenuação da onda de cheia, validado por comparação com observações.	Desenvolver uma metodologia para avaliar, em grande escala, o perigo potencial de impacto das inundações resultantes de rompimentos de barragens sob efeito cascata, com base em modelo de atenuação de ondas de cheia derivado das equações de Saint-Venant.	Perigo de cheia por efeito cascata
Lima, 2023a	Brasil, PE (semiárido)	Dissertação	Estudo de caso aplicado, com avaliação multicriterial pelo Índice de Segurança de Barragens (ISB) e simulação hidrodinâmica de ruptura hipotética no HEC-RAS.	Analisar a segurança de barragens via modelagem hidrodinâmica do rompimento hipotético das barragens Serra dos Cavalos e Guilherme Azevedo e aplicação do Índice de Segurança de Barragens (ISB) às 38 barragens do DNOCS em Pernambuco.	Diagnóstico de segurança via ISB

(continua)

Autor, ano	País / Região	Tipo de documento	Abordagem metodológica	Objetivo	Foco analítico
Silva, Mattos e Silva, 2023	Brasil (escopo nacional)	Artigo (revisão narrativa)	Revisão narrativa de caráter descritivo e analítico, baseada em análise documental de relatórios oficiais, legislação e dados nacionais sobre segurança de barragens.	Realizar uma análise crítica da gestão da segurança de barragens com base nos dados publicados em 2020 no Relatório de Segurança de Barragens da Agência Nacional de Águas (ANA).	Dificuldades da fiscalização
Contreras e Escuder-Bueno, 2023	Internacional	Artigo (revisão histórica)	Revisão narrativa da literatura técnica e científica internacional, de natureza teórica e histórica, com sistematização da evolução conceitual da segurança de barragens em períodos homogêneos.	Realizar revisão histórica das práticas de segurança de barragens em períodos homogêneos e considerar os fundamentos das duas abordagens contemporâneas: Standard-Based Approach (SBA) e Risk-Informed Decision Making (RIDM).	Comparação SBA versus RIDM
Castro, 2024	Brasil, PE	Dissertação	Estudo aplicado quantitativo, com modelagem hidrodinâmica determinística e probabilística (1D e 2D) associada a simulações de Monte Carlo.	Avaliar a aplicabilidade de modelos hidrodinâmicos simplificados 1D e 2D em cenários determinísticos e probabilísticos de rompimento de barragens, utilizando simulações de Monte Carlo para tratar incertezas relacionadas à altura do reservatório, rugosidade do terreno e formação da brecha.	Mapas probabilísticos de inundação
Czap e Marques Filho, 2024	Brasil, PR	Artigo	Estudo de caso com aplicação de metodologia estruturada em dez etapas para identificação de falhas, com análises probabilísticas e simulação de Monte Carlo.	Propor uma metodologia para identificar falhas na segurança de barragens, sejam elas processuais, técnicas, humanas ou de outra natureza.	Identificação de falhas de segurança
Ferreira, 2025	Brasil, PA (Paragominas)	Dissertação	Estudo exploratório e descritivo, com abordagem quali-quantitativa e delineamento de estudo de caso (geoprocessamento, sensoriamento remoto, imagens Landsat 5 e ASTER-GDEM e método HAND).	Elaborar mapas de localização das barragens de usos múltiplos e de áreas suscetíveis a inundação decorrente de rompimento de barragens na bacia hidrográfica do rio Uraim, em Paragominas, utilizando ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.	DPA e suscetibilidade à inundação
Prado, Santos e Silva, 2025	Brasil e PE	Artigo	Estudo aplicado de avaliação de implementação de política pública por meio de análise de lacunas (gap analysis), com quatro macroindicadores.	Avaliar o grau de implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no Brasil e no estado de Pernambuco, considerando as barragens que têm por finalidade os usos múltiplos.	Grau de implementação da PNSB

Moreira et al., 2025	Brasil, MG	Artigo	Pesquisa mista, qualitativa e exploratória, com estudo de caso e pesquisa documental.	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.	Priorização da fiscalização

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).
Siglas: ASTER-GDEM: *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*; CBDB: Comitê Brasileiro de Barragens; CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos; CRI: Categoria de Risco; DNOCS: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas; FAHP: *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*; HAND: *Height Above the Nearest Drainage*; PAE: Plano de Ação de Emergência; PNPDEC: Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; PNRH: Política Nacional de Recursos Hídricos; RH: Região Hidrográfica; TR: tempo de retorno; CE: Ceará; MG: Minas Gerais; PA: Pará; PE: Pernambuco; PR: Paraná; RJ: Rio de Janeiro; RN: Rio Grande do Norte; RR: Roraima; RS: Rio Grande do Sul; SE: Sergipe.

3.2 Síntese dos resultados por desfecho

Os resultados reportados pelos 20 estudos incluídos foram organizados em cinco categorias temáticas, agrupadas pelo desfecho central observado em cada estudo. A organização adotada parte da pergunta de pesquisa, com a sequência: (i) segurança técnica das estruturas; (ii) prevenção e proteção da população a jusante; (iii) eficiência regulatória e capacidade institucional; (iv) efetividade da implementação da política; e (v) sustentabilidade, economicidade e adaptação a riscos emergentes. A alocação dos estudos não é exclusiva: estudos com aporte em mais de um desfecho são citados em mais de uma subseção, com indicação do desfecho que ocupa o centro da análise reportada. Uma subseção adicional (3.2.6) sintetiza as lacunas e recomendações extraídas dos próprios estudos incluídos.

3.2.1 Resultados sobre segurança técnica das estruturas

Ao todo, foram incluídos 20 estudos que avaliaram aspectos relacionados ao contexto da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A reabilitação de barragens de acumulação de água está prevista na PNSB e visa a recuperação, modernização e adequação de infraestruturas hídricas. Abrange intervenções técnicas, operacionais e estruturais destinadas à correção de falhas, redução de riscos e restabelecimento ou elevação dos níveis de segurança de barragens classificadas com algum tipo de comprometimento.

Os resultados encontrados relacionados à segurança técnica das barragens incluem informações sobre integridade estrutural, segurança operacional, segurança hidrológica de vertedouros, tecnologias de auscultação e mecanismos de falha. Tais resultados estão disponíveis nos estudos de Aguiar (2014), Vianini Neto (2016), Chaves et al. (2017), Rocha e Miranda Neto (2018), Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020), Ferreira (2023), Lima (2023a) e Czap e Marques Filho (2024). Garcia et al. (2019) e Santa Rita (2021) também aportam evidências neste eixo, embora seus desfechos primários sejam analisados em outras categorias. No quadro abaixo, são apresentados os principais resultados dos estudos incluídos.

Quadro 3. Síntese dos principais resultados relacionados à segurança técnica

Estudo	Indicador	Resultado
Aguiar (2014)	Pesos relativos dos 29 critérios iniciais e composição final do ISB com 22 critérios; média, desvio padrão e peso correspondente de cada critério; comparação com os pesos de Zuffo (2005).	Critério mais relevante: presença de percolação ou vazamentos, com média final 10,00 (peso 0,040) e menor desvio padrão (0,63). Segundo: presença de deformações ou recalques (peso 0,039). Menos relevante: tipo de turbina hidráulica (peso 0,017).
Vianini Neto (2016)	Vazão de pico do hidrograma de ruptura (m³/s); área da mancha de inundação; profundidade e velocidade máximas; risco hidrodinâmico; tempo de chegada da onda; duração da cheia; índices binários F2, F3 e F4; geometria da brecha; residentes potencialmente atingidos.	Retroanálise da brecha de 1954: largura de fundo 29 m, altura 17,60 m, largura de topo 75 m. Equação de Froehlich (2008) com melhor desempenho (área frontal da brecha 9% superior à reconstituída); Xu e Zhang (2009) subestimou em 12%; Von Thun e Gillette (1990) superestimou em 64%.
Chaves et al. (2017)	Coeficiente regional de Creager (Cc); coeficiente regional de Francou-Rodier (k); coeficientes a e b de Castellarin; vazão máxima de projeto (m³/s) para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.	Coeficientes Cc=100 e Cc=200 da literatura superestimam as cheias do Ceará; novos coeficientes regionais propostos: Cc=69 (TR 1.000 anos) e Cc=105 (TR 10.000 anos). Para Francou-Rodier, k=4,8 sugerido por Sousa e Pinto (2001) subestima as cheias.
Rocha e Miranda Neto (2018)	Indicadores compostos da PNSB e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos: Categoria de Risco (CRI), Dano Potencial Associado (DPA), Características Técnicas, Estado de Conservação e Plano de Segurança.	CRI alta (pontuação 60); DPA alto (pontuação 28); Características Técnicas 15 pontos; Estado de Conservação crítico (25 pontos); Plano de Segurança deficiente (20 pontos). Recomendação de intervenções urgentes e recuperação estrutural.
Garcia et al. (2019) [aporte secundário]	Pesos relativos (wi) dos 22 critérios do Dam Safety Index (DSI); média e desvio padrão das notas atribuídas por 70 especialistas; diferença relativa entre os pesos do estudo e os obtidos por Aguiar et al. (2015).	Critério mais importante: potencial perda de vidas humanas. Menos relevante: conservação das estruturas de entrada. Maior desvio padrão: material da barragem. Menor desvio padrão: relatórios confiáveis de inspeção de segurança.
Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020)	Parâmetros de monitoramento por auscultação: deslocamentos; vazões; tensões; inclinações; pressão piezométrica; deformação; tensão total; níveis d'água; temperatura; coordenadas espaciais tridimensionais; frequências de vibração; aceleração sísmica.	Avanço técnico-científico em três frentes simultâneas: (i) automação de sistemas de aquisição de dados geotécnicos (ADAS); (ii) fibra óptica para monitoramento estrutural, com tecnologia BOTDA desde os anos 1980; (iii) sensoriamento remoto e auscultação sísmica passiva.

(continua)

Estudo	Indicador	Resultado
Santa Rita (2021) [aporte secundário]	Vazão máxima de ruptura (m³/s); profundidade, velocidade e tempo de chegada da onda; área da mancha de inundação (ha); risco hidrostático e hidrodinâmico em quatro níveis; áreas das Zonas de Autossalvamento (ZAS) e de Intervenção Primária (ZIP).	Cenário de rompimento mais provável em dia de sol (RMP_sol): Jacarecica I rompe com vazão máxima de 718,4 m³/s e Jacarecica II rompe em cascata com 1.178,3 m³/s, gerando manchas de inundação de 217,90 ha e 1.147,08 ha respectivamente.
Ferreira (2023)	Dano Potencial Associado (DPA) e Categoria de Risco (CRI) calculados via modelo multicritério fuzzy (FAHP combinado com Sistema de Inferência Fuzzy).	Metodologia permite classificar adequadamente o DPA utilizando modelagem simplificada de manchas de inundação, considerada satisfatória mesmo com maiores incertezas em comparação a métodos complexos.
Lima (2023a)	Índice de Segurança de Barragens (ISB) com classificação em cinco condições (boa: 91–100; satisfatória: 81–90; regular: 61–80; deficiente: 31–60; insatisfatória: 0–30); profundidade e velocidade máximas das manchas de inundação; tempo de chegada da onda.	58% das 38 barragens em condição insatisfatória (ISB 0–30); 42% em condição deficiente (ISB 31–60); nenhuma alcançou condição regular, satisfatória ou boa. Piores ISB: Pedra D'água (18); Cachoeira I e Poço da Cruz (19); Parnamirim, Quebra Unha e Serigí (20).
Czap e Marques Filho (2024)	Fator de Segurança; probabilidade de ruptura por análise probabilística (Monte Carlo); verificação de conformidade documental da PNSB.	Metodologia estruturada em 10 etapas para identificação de falhas. Aplicação às barragens do Iraí e Derivação do Rio Jordão demonstrou estabilidade satisfatória, com fatores de segurança acima dos limites mínimos exigidos pela PNSB.

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).

Siglas: BOTDA: *Brillouin Optical Time-Domain Analysis*; FAHP: *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*; PNSB: Política Nacional de Segurança de Barragens; TR: tempo de retorno.

Quatro estudos contribuem para o avanço dos índices compostos de segurança. Aguiar (2014) propõe a modificação do Índice de Segurança de Barragens (ISB) originalmente formulado por Zuffo (2005), incorporando os requisitos da PNSB e suas resoluções complementares. Por meio de questionário a 45 especialistas, o autor identifica que o critério mais relevante para a segurança é a presença de percolação ou vazamentos (peso final 0,040, com o menor desvio padrão entre os critérios), seguido por presença de deformações ou recalques (peso 0,039). O critério menos relevante é o tipo de turbina hidráulica (peso 0,017). Garcia et al. (2019), com base em 70 respostas de especialistas nacionais e internacionais, reavaliam os pesos do Dam Safety Index (DSI) e identificam deslocamento dos critérios em direção a aspectos legais e documentais, associado às alterações regulatórias subsequentes aos acidentes de Mariana e Brumadinho.

Lima (2023a) aplica o ISB às 38 barragens do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no semiárido pernambucano e obtém diagnóstico empírico crítico: 58% das estruturas em condição insatisfatória (ISB entre 0 e 30) e 42% em condição deficiente (ISB entre 31 e 60), sem qualquer barragem alcançando as condições regular, satisfatória ou boa. Ferreira (2023) desenvolve modelo multicritério fuzzy (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*, FAHP, combinado com Sistema de Inferência Fuzzy) aplicado a 16 barragens no Rio Grande do Norte, demonstrando que a modelagem simplificada de mancha de inundação pode classificar adequadamente o Dano Potencial Associado (DPA) mesmo na presença de incertezas elevadas.

Três estudos abordam a segurança técnica por meio de modelagem hidrodinâmica aplicada a casos concretos. Vianini Neto (2016) realiza retroanálise do acidente histórico da Barragem da Pampulha (1954) em Belo Horizonte e calibra equações empíricas de previsão de brecha contra observações reais, identificando a equação de Froehlich (2008) como a de melhor desempenho (área frontal da brecha 9% superior à reconstituída). Santa Rita (2021), com aplicação do HEC-RAS às barragens Jacarecica I e II (Sergipe), conclui que as estruturas são seguras quanto ao galgamento mesmo em afluências associadas a períodos de retorno de 5.000 e 10.000 anos, com risco de ruptura concentrado em cenários de falha estrutural.

Chaves et al. (2017) produzem evidência empírica sobre a segurança hidrológica de 43 projetos de vertedouros no Ceará, com proposição de novos coeficientes regionais para as curvas de Creager (Cc=69 para período de retorno de 1.000 anos e Cc=105 para 10.000 anos) e novas equações práticas de verificação, $Q_{1.000} = 173{,}78 \cdot A^{0{,}47}$ e $Q_{10.000} = 301{,}99 \cdot A^{0{,}44}$, que substituem com vantagem os coeficientes da literatura, inadequados às condições hidrológicas do estado.

Quanto à classificação de risco aplicada a casos brasileiros, Rocha e Miranda Neto (2018) classificam a Barragem de Juturnaíba (Rio de Janeiro), que mantém o maior reservatório de abastecimento de água do estado, como de alto risco e alto DPA, com identificação de problemas estruturais e operacionais críticos: deterioração das estruturas hidráulicas, falhas de manutenção, ausência de instrumentação adequada e exposição da população a jusante. Os autores recomendam intervenções urgentes e recuperação estrutural. Czap e Marques Filho (2024) propõem uma metodologia estruturada

em dez etapas para a identificação de falhas em atividades de segurança de barragens, com aplicação às barragens do Iraí e da Derivação do Iguaçu, no Paraná. A primeira atende integralmente às exigências da PNSB e é classificada no Nível 3 da escala proposta; a segunda apresenta deficiências de informação no SNISB.

Por fim, Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020) sistematizam, em revisão narrativa, o estado da arte das tecnologias de auscultação de barragens aplicáveis ao contexto brasileiro, distinguindo as técnicas geotécnicas tradicionais (instrumentação por extensômetros, pêndulos, piezômetros), as tecnologias de fibra óptica distribuída (*Distributed Optical Fiber Sensing*, DOFS; *Brillouin Optical Time-Domain Analysis*, BOTDA), os sistemas geodésicos e de sensoriamento remoto (*Total Station*; *Global Navigation Satellite System*, GNSS; *Light Detection and Ranging*, LiDAR, aéreo e terrestre; *Interferometric Synthetic Aperture Radar*, InSAR, e as variantes DInSAR, *Differential* InSAR, PSI, *Persistent Scatterer Interferometry*, SBAS, *Small Baseline Subset*, e A-DInSAR, *Advanced* DInSAR) e a auscultação sísmica passiva. Os estudos deste eixo cobrem barragens brasileiras predominantemente de pequeno e médio porte, distribuídas em cinco unidades da federação.

3.2.2 Resultados sobre prevenção e proteção da população a jusante

A reabilitação de barragens foca na prevenção de rompimentos e acidentes, protegendo a vida e o patrimônio das populações a jusante. Os resultados encontrados na literatura com foco na prevenção e proteção incluem informações sobre mapeamento da mancha de inundação, simulação de cenários de ruptura, tempo de chegada da onda, identificação do Dano Potencial Associado e suporte técnico à elaboração de PAE. No quadro abaixo, são sintetizados os principais resultados dos estudos incluídos.

Quadro 4. Síntese dos principais resultados relacionados à prevenção de incidentes, acidentes e eventos adversos e proteção da população

Estudo	Indicador	Resultado
Veról, Miguez e Mascarenhas (2011)	Profundidade máxima da água ao longo do canal e das planícies (m); pico de descarga (m³/s); tempo de chegada do pico (h); velocidade do escoamento (m/s); tempo de permanência da inundação; produto velocidade × profundidade como indicador da capacidade de arraste.	Profundidades máximas: 17 m em Itatiaia (5 km a jusante); 15 m em Resende (15 km); 5 m em Barra Mansa (70 km); 4 m em Volta Redonda (80 km). Tempos de chegada do pico: 1,2 h em Itatiaia; 4,2 h em Resende; mais de 14 h em Barra Mansa e Volta Redonda. Em Itatiaia e Resende, o tempo é insuficiente para evacuação.
Vianini Neto (2016)	Vazão de pico da ruptura; área da mancha de inundação; profundidade e velocidade máximas; risco hidrodinâmico; tempo de chegada da onda; índices binários F2, F3 e F4; geometria da brecha; residentes potencialmente atingidos.	Modelo SRTM produz mancha 16% inferior à obtida com LiDAR; HEC-RAS 1D produz manchas com áreas 35,3% e 34,8% inferiores aos cenários base; FLO-2D produz áreas 5,0% e 7,0% superiores.
Santa Rita (2021)	Vazão máxima de ruptura (m³/s); profundidade, velocidade e tempo de chegada da onda; área da mancha de inundação (ha); risco hidrodinâmico classificado em quatro níveis; áreas da Zona de Autossalvamento (ZAS) e Zona de Intervenção Primária (ZIP).	Cenário RMP em dia de sol: Jacarecica I rompe com vazão máxima de 718,4 m³/s e Jacarecica II em cascata com 1.178,3 m³/s, gerando manchas de inundação de 217,90 ha (Jacarecica I) e 1.147,08 ha (Jacarecica II). 80,3% da mancha em Jacarecica I e 56,8% em Jacarecica II sob risco hidrodinâmico muito importante.
Pereira et al. (2021)	Pontuação ponderada por critério (volume total do reservatório, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental, impacto socioeconômico); classificação final do DPA em Alto, Médio ou Baixo; faixas reformuladas (Pequeno até 5 hm³; Médio 5–75 hm³; Grande 75–200 hm³; Muito Grande acima de 200 hm³).	Aplicação dos critérios da Resolução CNRH nº 143/2012 e ANA nº 132/2016 resultou em DPA Alto para mais de 85% das barragens, mesmo com mais de 70% classificadas como volume Pequeno. Modelo adaptado proposto: 42,9% DPA Alto, 42,9% Médio e 14,2% Baixo.
Lima (2023b)	Vazão máxima Q(x) ao longo do rio (m³/s); vazão de pico relativa Q(x)/Q0; tempo de propagação da onda; período de retorno equivalente da vazão de pico; comprimento de atenuação; celeridade; classificação categórica em cinco níveis de magnitude da cheia.	Aplicação à Região Hidrográfica do Guaíba resultou em erros inferiores a 10% em comparação com observações de vazões de cheia. No Rio Jacuí, rompimento de reservatório na cabeceira (PCH Ernestina) causou variação de 10.000 m³/s para 570 m³/s antes de atingir reservatórios a jusante, evidenciando efeito cascata e atenuação.

(continua)

Estudo	Indicador	Resultado
Castro (2024)	Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA); Critical Success Index (CSI) para validação dos modelos hidrodinâmicos simplificados em duas resoluções espaciais (5 m com LiDAR; 30 m com Copernicus).	Modelos hidrodinâmicos simplificados apresentaram CSI de 97% (LiDAR 5 m) e 99% (Copernicus 30 m), com elevada concordância em relação aos modelos completos, permitindo simular cenários de rompimento, profundidade, vazão de pico, propagação da onda e probabilidades de inundação com menor custo computacional.
Ferreira (2025)	Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA); modelagem de suscetibilidade pelo método HAND (Height Above the Nearest Drainage); identificação de áreas suscetíveis à inundação e cenário de alto risco urbano.	Identificação de 106 barragens e barramentos na bacia hidrográfica do rio Uraim; 19 com Categoria de Risco alta; 24 com alto DPA, 4 com médio e 4 com baixo. Cenário de alto risco para a população de Paragominas; divergência entre estruturas mapeadas e cadastradas no SNISB.
Moura, Vieira e Bohn (2015) [aporte secundário]	Verificação qualitativa da existência, conteúdo e adequação do Plano de Ação de Emergência (PAE) e da articulação interinstitucional entre os órgãos competentes pela segurança da barragem.	PAE constante do Estudo de Conformidade Ambiental não prevê articulação entre Deinfra-SC, SDS-SC e Defesa Civil; PAE não foi disponibilizado às comunidades potencialmente afetadas.

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).

Siglas: ANA: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos; Deinfra-SC: Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina; HAND: *Height Above the Nearest Drainage*; LiDAR: *Light Detection and Ranging*; PCH: Pequena Central Hidrelétrica; RMP: rompimento mais provável; SDS-SC: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina; SNISB: Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens; SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*.

Os estudos de Veról, Miguez e Mascarenhas (2011), Vianini Neto (2016), Santa Rita (2021), Pereira et al. (2021), Castro (2024), Lima (2023b) e Ferreira (2025) apresentam resultados centrais sobre prevenção e proteção da população a jusante. Moura, Vieira e Bohn (2015) abordam o tema com foco na disponibilização do Plano de Ação de Emergência (PAE). Veról, Miguez e Mascarenhas (2011) apresentam uma das aplicações pioneiras no Brasil de modelagem hidrodinâmica para subsídio à PNSB.

A simulação da ruptura hipotética da Barragem do Funil (Itatiaia, Rio de Janeiro) ao longo de 107 km do rio Paraíba do Sul, com o modelo MODCEL, hierarquiza a vulnerabilidade dos municípios a jusante pelo tempo de chegada da onda: 1,2 hora em Itatiaia (5 km a jusante, profundidade máxima de 17 metros), 4,2 horas em Resende (15 km, 15 metros) e mais de 14 horas em Barra Mansa (70 km, 5 metros) e Volta Redonda (80 km, 4 metros). Os autores associam diretamente esses tempos à viabilidade da evacuação: em Itatiaia e Resende, o tempo é insuficiente; em Barra Mansa e Volta Redonda, é compatível com evacuação caso o PAE funcione corretamente. Vianini Neto (2016) também explora os impactos das premissas metodológicas sobre a mancha de inundação resultante de ruptura hipotética, com ênfase no uso de modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que, embora gratuito, produz mancha desfavorável à segurança quando comparado a modelos derivados de LiDAR.

Santa Rita (2021) avança a análise para barragens em cascata. A simulação dos rompimentos hipotéticos de Jacarecica I e Jacarecica II (Sergipe) no cenário mais provável em dia de sol produz vazão máxima de 718,4 m³/s em Jacarecica I e 1.178,3 m³/s em Jacarecica II em cascata, com manchas de inundação de 217,90 hectares no vale de Jacarecica I e 1.147,08 hectares no de Jacarecica II. No vale de Jacarecica I, 80,3% da mancha está submetida a risco hidrodinâmico classificado como muito importante, evidenciando a amplitude da exposição. Lima (2023b) escala a análise a 2.005 reservatórios da Região Hidrográfica do Guaíba e desenvolve um modelo simplificado de atenuação de vazão de ruptura, com erros inferiores a 10% em comparação com referências independentes. Os mapas produzidos evidenciam que rompimentos podem ocasionar grande variação na magnitude da vazão à medida que se propaga para jusante, em razão do efeito cascata e da atenuação ao longo do rio.

Castro (2024) reporta que modelos hidrodinâmicos simplificados unidimensionais e bidimensionais podem reproduzir com elevada precisão cenários de rompimento de barragens, permitindo a geração de mapas probabilísticos de inundação por meio de simulações de Monte Carlo, com menor custo computacional do que modelos completos. A aplicação a dez barragens de alto risco e alto DPA em Pernambuco contribui para a elaboração de PAE e para avaliação de impactos. Ferreira (2025) emprega geoprocessamento, sensoriamento remoto e o método HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) para identificar 106 barragens e barramentos na bacia hidrográfica do rio Uraim, em Paragominas, no Pará. Vinte e quatro estruturas apresentaram alto DPA, quatro médio e quatro baixo, com identificação adicional de divergência entre o número de barragens mapeadas e as cadastradas no SNISB, indicativo de deficiência no monitoramento e na fiscalização.

Pereira et al. (2021) abordam a proteção da população a partir de outra perspectiva: a adequação dos critérios de classificação por DPA à realidade de barragens de pequeno porte. A aplicação dos critérios das Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 143/2012 e da ANA nº 132/2016 a sete barragens da bacia do rio Cauamé em Roraima resultou em classificação de DPA alto para mais de 85% das barragens, mesmo quando mais de 70% eram de volume pequeno. Os autores atribuem essa penalização excessiva à pontuação máxima atribuída ao critério de potencial de perda de vidas humanas sempre que há existência de uma ou mais vidas na área afetada, sem distinção quanto à densidade ou ao tipo de ocupação. A proposição é de adoção de modelo adaptado com faixas quantitativas ajustadas à realidade local, em substituição ao modelo binário atualmente vigente.

Os estudos deste eixo abrangem barragens de portes variados em sete unidades da federação, com produtos diretamente vinculados à elaboração de Planos de Ação de Emergência exigidos pela PNSB. Os estudos articulam três frentes técnicas: a simulação hidrodinâmica de cenários de ruptura, a classificação por Dano Potencial Associado e o mapeamento da mancha de inundação. Moura, Vieira e Bohn (2015) registram, em complemento, evidência sobre a disponibilização efetiva do PAE às comunidades potencialmente afetadas, prevista pela PNSB, com indicação de que, no caso analisado, a entrega do plano às comunidades não havia sido realizada.

3.2.3 Resultados sobre eficiência regulatória e capacidade institucional

A PNSB, ao longo da sua implementação, teve o seu caráter preventivo reforçado a partir da ocorrência de eventos críticos que destacaram a necessidade de maior rigor regulatório e aprimoramento dos mecanismos de governança. O processo de atualização do arranjo normativo da política nacional gerou a necessidade de estabelecer uma estratégia de reabilitação enquanto intervenção voltada à adequação técnica das barragens diante de padrões mais rigorosos e correção de déficits acumulados de manutenção e modernização.

Os resultados dos estudos referentes à eficiência regulatória e à capacidade institucional incluem informações sobre articulação interinstitucional entre órgãos fiscalizadores, dificuldades reportadas pelos órgãos estaduais, capacidade técnica e financeira para a fiscalização e instrumentos institucionais previstos pela PNSB. Os estudos de Moura, Vieira e Bohn (2015), Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020), Contreras e Escuder-Bueno (2023), Silva, Mattos e Silva (2023) e Moreira et al. (2025) apresentam resultados centrais sobre este tema. Aguiar (2014) e Garcia et al. (2019) destacaram a adequação dos índices compostos ao arcabouço regulatório vigente. No quadro abaixo, são apresentados os principais resultados dos estudos incluídos.

Quadro 5. Síntese dos principais resultados relacionados à eficiência regulatória e capacidade institucional

Estudo	Indicador	Resultado
Aguiar (2014) [aporte secundário]	Pesos relativos dos 29 critérios iniciais do ISB e composição final com 22 critérios, com incorporação dos requisitos da PNSB e suas resoluções complementares.	Composição final do ISB com 22 critérios e pesos derivados de consulta a especialistas, refletindo a incorporação dos requisitos normativos pós-Lei nº 12.334/2010.
Moura, Vieira e Bohn (2015)	Indicadores qualitativos de aderência ao Plano de Recursos Hídricos do Itajaí; verificação dos requisitos legais do PSB (Lei nº 12.334/2010, Art. 8º); existência e adequação do PAE; existência de outorga; aderência da operação ampliada às regras de operação revistas.	Ampliação atende ao princípio de armazenamento, mas não cumpre o princípio de articulação. Órgão gestor de recursos hídricos não interveio: ausência de outorga, ausência de diretrizes operacionais e ausência de definição sobre quem elabora e fiscaliza o PSB.
Garcia et al. (2019) [aporte secundário]	Pesos relativos (wi) dos 22 critérios do DSI; média e desvio padrão das notas; diferença relativa entre os pesos do estudo e os de Aguiar et al. (2015).	Critério mais importante: potencial perda de vidas humanas. Menos relevante: conservação das estruturas de entrada. Deslocamento dos pesos em comparação com a literatura anterior.
Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020)	Parâmetros de monitoramento da auscultação (deslocamentos; vazões; tensões; pressão piezométrica; deformações; níveis d'água; coordenadas tridimensionais; aceleração sísmica) e instrumentos institucionais previstos pela PNSB.	Sistematização das obrigações de manutenção preventiva, corretiva e preditiva atribuídas aos órgãos fiscalizadores pelos relatórios de segurança e inspeções de monitoramento previstas pela PNSB.
Contreras e Escuder-Bueno (2023)	Probabilidade de falha do sistema; magnitude das consequências adversas (vidas humanas, ambientais, econômicas, sociais); risco individual e risco societal; cost per statistical life saved; F-N curves; indicadores de coincidência para tratamento de incerteza epistêmica.	Artigo de revisão sem resultados quantitativos próprios. Achados descritivos: (i) aplicação correta do Standard-Based Approach está associada a redução documentada do número de acidentes em barragens, conforme ICOLD Bulletin 99 (1995); (ii) abordagem baseada em risco emergiu como complemento, não substituto, do SBA, a partir de 1995.
Silva, Mattos e Silva (2023)	Registros de acidentes e incidentes; categorias de risco e dano potencial associado; indicadores qualitativos relacionados à fiscalização e gestão da segurança.	Aumento significativo dos registros de acidentes e incidentes em 2019 e 2020. Vulnerabilidade na gestão da segurança de barragens brasileiras decorrente da dependência de informações técnicas deficientes ou inexistentes e da escassez de profissionais especializados em fiscalização.

(continua)

Estudo	Indicador	Resultado
Moreira et al. (2025)	Indicadores não detalhados no campo correspondente da planilha. Achados centrais reportados em termos de classificação padronizada do porte das barragens (altura conjugada com volume) e proposta de critérios para priorização da fiscalização aplicáveis sem inspeção presencial.	Classificação padronizada do porte das barragens considerando conjuntamente altura e volume do reservatório. Constatação de que muitas barragens classificadas como pequenas podem apresentar elevada exposição a jusante, reforçando que o porte isoladamente não representa adequadamente o risco.

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).

Siglas: DSI: *Dam Safety Index*; ICOLD: *International Commission on Large Dams*; ISB: Índice de Segurança de Barragens; PAE: Plano de Ação de Emergência; PNSB: Política Nacional de Segurança de Barragens; PSB: Plano de Segurança da Barragem; SBA: *Standard-Based Approach*.

Moura, Vieira e Bohn (2015) analisam o processo de tomada de decisão da ampliação da Barragem Sul de Contenção de Cheias, em Ituporanga, Santa Catarina, à luz de três políticas nacionais correlatas: Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), PNSB e Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A análise documental do Estudo de Conformidade Ambiental e dos pareceres do Comitê do Itajaí evidencia descompasso institucional entre o Departamento Estadual de Infraestrutura, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável e a Defesa Civil de Santa Catarina. Os autores documentam que o instrumento da outorga, previsto na PNRH, não havia sido implementado em Santa Catarina à época do estudo; o Plano de Segurança da Barragem exigido pela PNSB não havia sido formulado; e o PAE constante do Estudo de Conformidade Ambiental não previa articulação interinstitucional nem havia sido disponibilizado às comunidades potencialmente afetadas. Os autores concluem que a obra de sobre-elevação da barragem é, na prática, uma medida mitigatória tratada institucionalmente como medida preventiva.

Silva, Mattos e Silva (2023) realizam análise crítica da gestão da segurança de barragens no Brasil com base no Relatório de Segurança de Barragens da ANA, edição 2020. Os autores sistematizam as dificuldades reportadas pelos órgãos fiscalizadores federais e estaduais, com destaque para três dificuldades mais frequentes: inexistência de projetos das barragens (reportada por dez órgãos estaduais), falta de pessoal técnico especializado em segurança de barragens (oito órgãos) e falta de informação técnica fornecida pelo empreendedor (seis órgãos e a Comissão Nacional de Energia Nuclear). Observam também o aumento significativo dos registros de acidentes e incidentes em barragens em 2019 e 2020, atribuído pela ANA a eventos de chuvas intensas no primeiro trimestre de 2020 no Sudeste e Centro-Oeste, que provocaram inundações históricas e galgamento de barragens em cascata. Os autores concluem que persiste vulnerabilidade na gestão da segurança de barragens brasileiras decorrente da dependência de informações técnicas deficientes ou inexistentes e da carência de profissionais especializados em fiscalização.

Moreira et al. (2025) propõem critérios objetivos, simplificados e operacionalmente viáveis para subsidiar a priorização da fiscalização de barragens de usos múltiplos sob jurisdição estadual, em contexto de escassez de dados técnicos, limitação de recursos e elevado número de estruturas em situação de informalidade. A matriz proposta combina quatro critérios binários: presença de população ou infraestrutura a jusante; porte visivelmente médio ou grande; sinais visuais de falhas estruturais; e ausência de regularização formal. A presença de três ou mais critérios indica alta prioridade. A aplicação a quatro barragens cadastradas no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), entre o universo de 1.434 barragens cadastradas em 2024, demonstra viabilidade técnica da matriz mesmo sem inspeção presencial, com uso de sensoriamento remoto. Os autores também propõem classificação padronizada do porte das barragens, com base em altura e volume do reservatório considerados conjuntamente, em substituição à classificação baseada exclusivamente na altura.

Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020), com foco na governança da auscultação técnica, registram que a PNSB instituiu obrigatoriedade dos relatórios de segurança e das inspeções de monitoramento, com atribuição direta aos órgãos fiscalizadores da responsabilidade pela manutenção preventiva,

corretiva e preditiva. Contreras e Escuder-Bueno (2023), em revisão histórica internacional, sustentam que a capacidade institucional adequada, compreendida como combinação de recursos financeiros, capital humano e capacidade técnica, constitui o elemento decisivo de qualquer sistema de segurança de barragens. Os autores identificam a transição entre o paradigma baseado em padrões (*Standard-Based Approach*) e o paradigma informado por risco (*Risk-Informed Decision Making*, RIDM) como movimento internacional que aumenta a transparência da fiscalização e permite priorização técnica e financeira em ambientes de orçamento restrito.

Os estudos deste eixo cobrem quatro dimensões da gestão institucional da PNSB: a articulação intersetorial entre a Política Nacional de Recursos Hídricos, a PNSB e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Moura; Vieira; Bohn, 2015); as dificuldades sistematizadas reportadas pelos órgãos fiscalizadores federais e estaduais (Silva; Mattos; Silva, 2023); instrumentos operacionais de priorização da fiscalização sob restrição de recursos (Moreira et al., 2025); e o quadro internacional comparado da evolução conceitual da segurança de barragens (Contreras; Escuder-Bueno, 2023). Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020) complementam com a descrição dos instrumentos de auscultação previstos pelos relatórios de segurança e pelas inspeções de monitoramento obrigatórias na PNSB.

3.2.4 Resultados sobre efetividade da implementação da política

A Reabilitação de Barragens se insere no marco mais amplo da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), principal referência institucional para assegurar padrões adequados de segurança de barragens. A PNSB define instrumentos e responsabilidades para garantia da sua efetividade, como o Plano de Segurança da Barragem (PSB), o Plano de Ação de Emergência (PAE), o Relatório de Segurança de Barragens (RSB) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), além de diretrizes expedidas no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Os resultados deste eixo incluem informações sobre grau de implementação dos instrumentos da PNSB, adequação das classificações regulatórias e identificação de lacunas, e estão disponíveis nos estudos de Prado, Santos e Silva (2025), Pereira et al. (2021), Aguiar (2014), Silva, Mattos e Silva (2023) e Moreira et al. (2025).

Prado, Santos e Silva (2025) avaliam o grau de implementação da PNSB no Brasil e em Pernambuco para barragens com finalidade de usos múltiplos, com base na análise de lacunas dos macroindicadores publicados nos Relatórios de Segurança de Barragens da ANA. Segundo os dados analisados em nível nacional, em 2021, o Macroindicador 1 (Classificação de Barragens) atingiu 79,07%, considerado nível suficiente; o Macroindicador 2 (Plano de Segurança de Barragens) atingiu 6,08%, nível insignificante; o Macroindicador 3 (Relatório de Segurança de Barragens) atingiu 26,65%, nível mínimo; e o Macroindicador 4 (Características Técnicas) atingiu 66,59%, nível intermediário. Para o estado de Pernambuco, no mesmo ano, os indicadores correspondentes foram 94,22% (satisfatório), 9,20% (insignificante), valor não reportado e desempenho superior à média nacional nos demais. Os autores concluem que o cenário de segurança de barragens tem melhorado ao longo dos anos, mas as

principais fragilidades concentram-se nas ações dos órgãos fiscalizadores, por limitações orçamentárias e técnicas, e na disponibilidade financeira dos empreendedores, em particular os públicos.

Pereira et al. (2021) trazem evidência de natureza distinta, mas complementar: a inadequação dos critérios regulatórios atualmente vigentes à realidade de barragens de pequeno porte, predominantes em Roraima. A constatação empírica de que mais de 85% das barragens analisadas foram classificadas como DPA alto, mesmo sendo de volume pequeno, evidencia distorção nos critérios da Resolução CNRH nº 143/2012 e da Resolução ANA nº 132/2016. A proposição metodológica dos autores envolve substituição do critério binário atualmente vigente por faixas quantitativas ajustadas à realidade local, com aplicação prática na atualização do mapeamento por DPA das barragens do estado. Silva, Mattos e Silva (2023), em análise transversal, observam que o sistema de classificação por categoria de risco e DPA carece de informações, o que pode levar a dificuldades na priorização da supervisão pelos órgãos fiscalizadores.

Os estudos deste eixo aportam metodologia de análise de lacunas com base nos macroindicadores nacionais publicados nos Relatórios de Segurança de Barragens da ANA, com aplicação ao Brasil e ao estado de Pernambuco (Prado; Santos; Silva, 2025), e proposições de adaptação dos critérios regulatórios à realidade subnacional, particularmente em estados com predomínio de barragens de pequeno porte (Pereira et al., 2021). A aplicação empírica documentada concentra-se no âmbito federal e em unidades subnacionais específicas. Os principais resultados dos estudos incluídos são apresentados no quadro a seguir:

Quadro 6. Síntese dos principais resultados relacionados à efetividade da implementação da política

Estudo	Indicador	Resultado
Aguiar (2014) [aporte secundário]	Pesos relativos dos 29 critérios iniciais e composição final do ISB com 22 critérios, calibrados como indicadores da relevância de cada componente para a avaliação da condição da barragem.	Identificação dos critérios mais relevantes para avaliação da segurança, com aporte conceitual a um instrumento padronizado de avaliação da condição estrutural e operacional das barragens.
Pereira et al. (2021)	Pontuação ponderada por critério (volume, vidas humanas, impacto ambiental e socioeconômico); classificação final do DPA em Alto, Médio ou Baixo; faixas reformuladas (Pequeno até 5 hm³; Médio 5–75; Grande 75–200; Muito Grande acima de 200).	Mais de 85% das barragens classificadas como DPA Alto mesmo com volumes pequenos, indicando inadequação dos critérios atuais. Modelo adaptado proposto resultou em 42,9% Alto, 42,9% Médio e 14,2% Baixo.
Silva, Mattos e Silva (2023) [aporte secundário]	Registros de acidentes e incidentes; categorias de risco e dano potencial associado; indicadores qualitativos relacionados à fiscalização e à gestão da segurança.	Sistema de classificação apresenta vulnerabilidades decorrentes de informações técnicas deficientes ou inexistentes e da escassez de profissionais especializados nos órgãos fiscalizadores.
Prado, Santos e Silva (2025)	Macroindicadores 1 a 4: classificação de Barragens; Plano de Segurança de Barragens; Relatório de Segurança de Barragens; Características Técnicas, calculados como percentual de atendimento dos microindicadores correspondentes.	Pernambuco apresenta classificações superiores ao Brasil em três dos quatro macroindicadores. Os autores identificam as atividades de fiscalização dos órgãos fiscalizadores como principal fragilidade, com microindicador de inspeções de fiscalização em 3,52% no Brasil em 2021.
Moreira et al. (2025) [aporte secundário]	Indicadores não detalhados no campo correspondente da planilha. Achados centrais reportados em termos de classificação padronizada do porte das barragens (altura conjugada com volume) e proposta de critérios para priorização da fiscalização.	Validação preliminar da ferramenta de priorização da fiscalização, aplicável sem inspeção presencial; constatação de que muitas barragens classificadas como pequenas podem apresentar elevada exposição a jusante.

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).

Siglas: DPA: Dano Potencial Associado; ISB: Índice de Segurança de Barragens.

3.2.5 Resultados sobre sustentabilidade, economicidade e adaptação a riscos emergentes

A existência de barragens de acumulação de água em condições inadequadas aumenta a exposição de populações e territórios ao risco de incidentes, acidentes e eventos adversos que podem ocorrer em diferentes escalas, envolvendo desde efeitos imediatos até impactos estruturais sobre a segurança hídrica e custos associados à prevenção e resposta.

Os resultados identificados neste eixo incluem informações sobre custos de elaboração dos instrumentos da PNSB, priorização de investimentos, relação custo-benefício de intervenções, custos diferenciais de tecnologias de monitoramento e adaptação a pressões climáticas. Os estudos de Chaves et al. (2017), Garcia et al. (2019), Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020), Moura, Vieira e Bohn (2015), Prado, Santos e Silva (2025), Contreras e Escuder-Bueno (2023) e Vianini Neto (2016) apresentam resultados relacionados à economicidade, sustentabilidade financeira e ambiental e adaptação a riscos emergentes, em particular às mudanças climáticas.

Prado, Santos e Silva (2025) reportam que os elevados custos de elaboração do Plano de Segurança da Barragem (PSB) e do Plano de Ação de Emergência (PAE) figuram entre as causas plausíveis da baixa adesão dos empreendedores aos instrumentos centrais da PNSB. Os percentuais de adesão observados são de 1,77% no Brasil, em 2020, e 1,40% em 2021, com os autores reportando que os valores financeiros atrelados a esses instrumentos são expressivos e desproporcionais à capacidade orçamentária dos empreendedores, em particular dos públicos. Garcia et al. (2019) descrevem o Índice de Segurança de Barragens (*Dam Safety Index*, da sigla em inglês DSI) como ferramenta de apoio à priorização de investimentos e ao planejamento de manutenção preventiva por gestores de barragens, em particular para barragens pequenas em que análises quantitativas de risco mais sofisticadas seriam proibitivamente custosas. Chaves et al. (2017) sustentam ganhos de eficiência técnica e econômica decorrentes do uso de equações regionais ajustadas à realidade hidrológica local em vez de coeficientes genéricos da literatura internacional.

Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020) hierarquizam as tecnologias de auscultação de barragens em função de custo, precisão, abrangência espacial e capacidade de automação, registrando que tecnologias anteriormente restritas às barragens de grande porte, como receptores do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*, GPS) de baixo custo e sensoriamento remoto via satélite InSAR, vêm se tornando viáveis para barragens de menor porte com instrumentação incipiente. Moura, Vieira e Bohn (2015) questionam diretamente a relação custo-benefício da ampliação isolada de medidas estruturais frente a medidas não estruturais, com destaque para o argumento de que o que se ganha em retenção de água com a sobre-elevação da Barragem Sul de Ituporanga, ao custo de recursos significativos para o Estado de Santa Catarina, se perde com a inadequação do uso e ocupação do solo na bacia do Rio Itajaí. Os mesmos autores chamam atenção para projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), que apontam aumento esperado de 20 a 30% nas precipitações médias anuais na Mata Atlântica da Região Sul até o fim do século XXI, com pressão adicional sobre a

gestão de recursos hídricos e a segurança de barragens.

Contreras e Escuder-Bueno (2023) registram que o planejamento financeiro estratégico, em conjunto com ferramentas que facilitam a priorização de medidas e recursos de segurança de barragens, é particularmente útil em ambientes de orçamento restrito e na busca pela gestão sustentável de recursos econômicos e ambientais. Os autores identificam a abordagem informada por risco como caminho para incorporar de maneira consistente variáveis socioambientais e fatores climáticos ao processo decisório, em alinhamento à Agenda 2030 das Nações Unidas.

Os estudos deste eixo abordam quatro dimensões da sustentabilidade da PNSB: custos de elaboração dos instrumentos centrais da política, em particular o Plano de Segurança da Barragem e o Plano de Ação de Emergência (Prado; Santos; Silva, 2025); priorização de investimentos e de manutenção preventiva via índices compostos (Garcia et al., 2019; Pacheco; Henriques; Ribeiro, 2020); relação custo-benefício de intervenções estruturais frente a medidas não estruturais (Moura; Vieira; Bohn, 2015); e adaptação a pressões climáticas e socioambientais (Moura; Vieira; Bohn, 2015; Contreras; Escuder-Bueno, 2023). Os estudos cujos objetivos e desfechos primários envolvem economicidade são minoria. A maior parte das menções a custos e sustentabilidade aparece em estudos cujo objetivo central não envolve diretamente essa abordagem. Os principais resultados identificados nos estudos incluídos estão apresentados no quadro a seguir:

Quadro 7. Síntese dos principais resultados relacionados à sustentabilidade, economicidade e adaptação a riscos emergentes

Estudo	Indicador	Resultado
Moura, Vieira e Bohn (2015)	Indicadores qualitativos de aderência da decisão de ampliação aos princípios do Plano de Recursos Hídricos do Itajaí; verificação das previsões do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) para a Mata Atlântica da Região Sul (aumento esperado de 20 a 30% nas precipitações médias anuais até o final do século XXI).	Ampliação atende ao princípio de armazenamento, mas não cumpre o princípio de articulação institucional. As projeções do PBMC sustentam que a medida estrutural isolada é insuficiente diante do cenário climático projetado para a região.
Vianini Neto (2016) [aporte secundário]	Área da mancha de inundação; número de residentes e domicílios potencialmente atingidos em cenários alternativos de volume propagado.	Variabilidade da área inundada conforme cenário de volume propagado (de 5,4% inferior a 2,8% superior aos cenários base), com aporte conceitual à valoração das consequências de cenários de ruptura.
Chaves et al. (2017)	Coeficiente regional de Creager (Cc); coeficiente regional de Francou-Rodier (k); coeficientes a e b de Castellarin; vazão máxima de projeto para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.	Coeficientes Cc=100 e Cc=200 da literatura superestimam as cheias do Ceará; coeficientes regionais propostos (Cc=69 e Cc=105) reduzem o sobredimensionamento e os custos associados ao dimensionamento de vertedouros.
Garcia et al. (2019)	Pesos relativos (wi) dos 22 critérios do DSI, mobilizados como ferramenta de apoio à priorização de investimentos e ao planejamento de manutenção preventiva em barragens.	Aplicabilidade especialmente reportada para pequenas barragens em áreas rurais, em que a literatura citada (Pisaniello et al.) registra que pequenas barragens respondem por mais de 90% dos acidentes em países em desenvolvimento.
Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020)	Parâmetros de monitoramento da auscultação (deslocamentos; vazões; tensões; pressão piezométrica; deformações; coordenadas tridimensionais; aceleração sísmica), hierarquizados por custo, precisão, abrangência espacial e capacidade de automação.	Tecnologias antes restritas a barragens de grande porte (receptores GPS de baixo custo, sensoriamento via InSAR, fibra óptica BOTDA) tornam-se viáveis para barragens de menor porte com instrumentação incipiente.
Contreras e Escuder-Bueno (2023) [aporte secundário]	Probabilidade de falha; magnitude das consequências adversas; risco individual e societal; cost per statistical life saved; F-N curves; indicadores de coincidência para tratamento de incerteza epistêmica.	Abordagem informada por risco identificada como caminho para incorporar variáveis socioambientais e climáticas ao processo decisório, em alinhamento à Agenda 2030.

Prado, Santos e Silva (2025)	Macroindicadores 1 a 4: classificação de Barragens; Plano de Segurança de Barragens; Relatório de Segurança de Barragens; Características Técnicas, calculados como percentual de atendimento dos microindicadores correspondentes.	Pernambuco apresenta classificações superiores ao Brasil em três dos quatro macroindicadores. Os autores identificam as atividades de fiscalização dos órgãos fiscalizadores como principal fragilidade, com microindicador de inspeções de fiscalização em 3,52% no Brasil em 2021.

Fonte: Elaboração própria a partir da Tabela de Extração (Apêndice 1).

Siglas: BOTDA: *Brillouin Optical Time-Domain Analysis*; DSI: *Dam Safety Index*; GPS: *Global Positioning System*; InSAR: *Interferometric Synthetic Aperture Radar*.

3.2.6 Limitações, lacunas e recomendações identificadas nos estudos

A literatura acessada a partir de buscas estruturadas em bases de dados amplas sobre estudos avaliativos da segurança de barragens de acumulação de água mostrou-se escassa no contexto brasileiro, sobretudo em relação às ações de reabilitação. Neste sentido, não foram adotados recortes em relação ao desenho metodológico dos estudos selecionados, considerando a existência de lacuna de conhecimento sobre o tema.

Entre os estudos incluídos nesta revisão rápida, é importante mencionar algumas limitações identificadas referentes ao tamanho reduzido de amostras analisadas, vieses de seleção e amostra por conveniência, e a qualidade dos dados analisados em estudos secundários, considerando as lacunas de preenchimento de instrumentos, relatórios e registros administrativos relacionados à política.

Os autores também identificaram limitações em seus estudos, como a falta de aplicação empírica dos métodos de avaliação de segurança de barragens propostos (Aguiar, 2014; Garcia et al., 2019; Moura; Vieira; Bohn, 2015; Pacheco; Henriques; Ribeiro, 2020), associada às incertezas dos parâmetros sugeridos (Castro, 2024), ausência de informações ou informações incompletas sobre as barragens e reservatórios analisados (Chaves et al., 2017; Lima, 2023b; Pereira et al., 2021; Prado; Santos; Silva, 2025; Vianini Neto, 2016) e tamanho da amostra muito reduzido, com potencial limitado de generalização (Moura; Vieira; Bohn, 2015; Moreira et al., 2025).

Os autores formularam ainda recomendações voltadas à realização de estudos complementares e ao aprimoramento das políticas públicas relacionadas à segurança de barragens. Esta subseção sintetiza as recomendações mais recorrentes, agrupadas em dois blocos: (i) aprimoramento de métodos, técnicas, ferramentas, modelos, critérios e indicadores destinados à avaliação, gestão de riscos e monitoramento da segurança de barragens e (ii) fortalecimento institucional, contemplando aspectos normativos, regulatórios, organizacionais e de governança necessários para a efetiva implementação das políticas de segurança.

Quanto ao aprimoramento dos critérios aplicados na classificação de segurança e gestão de risco de barragens, Aguiar (2014) e Garcia et al. (2019) propõem ajustes no sistema de ponderação dos critérios do Índice de Segurança de Barragem (ISB, ou DSI, em inglês), proposto por Zuffo (2005), para auxiliar a priorização de ações de manutenção periódica e preditiva na estrutura das barragens. Moreira et al. (2025) recomendam critérios objetivos e aplicáveis para aperfeiçoar a priorização da fiscalização de barragens de usos múltiplos no país. Czap e Marques Filho (2024) recomendam modelagem multicritério simplificada para avaliação de risco de segurança de barragens. Lima (2023a) propõe uma avaliação multicriterial de segurança combinada com uso de modelagem computacional (simulação hidrodinâmica de ruptura hipotética). Pereira et al. (2021) sugerem critérios nacionais e internacionais que reflitam melhor a classificação de DPA das barragens, com alteração de faixas quantitativas e inserção de critérios objetivos, com verificação in loco das edificações em área afetada para descartar habitações não permanentes e permitir reclassificação por DPA.

Ao analisar metodologias de análise de ruptura de barragens, Vianini Neto (2016) recomenda a substituição do modelo digital de elevação do tipo SRTM, considerando que este é desfavorável à segurança em comparação ao modelo LiDAR (3M) em regiões urbanas densamente povoadas. O autor sugere a utilização de modelos derivados de LiDAR com subtração da vegetação e preservação da volumetria de edificações, e a inclusão de pontes e galerias na modelagem hidráulica para previsão de manchas de inundação, qualificação e quantificação de danos, elaboração de planos de emergência e gestão de riscos. Santa Rita (2021) reforça a necessidade de levantamento topobatimétrico por sonar (*Acoustic Doppler Current Profiler*, ADCP) e classificação de uso da terra com imagens de Veículos Aéreos Não Tripulados nos vales de jusante.

Lima (2023b) recomenda refinamento da metodologia de modelo de atenuação para rios menores. Contreras e Escuder-Bueno (2023) propõem explorar o estudo da segurança de barragens a partir da Teoria Geral dos Sistemas, em contexto de geração massiva de dados e uso de inteligência artificial. Em relação às ferramentas, Veról, Miguez e Mascarenhas (2011) recomendam aplicação do modelo MODCEL como ferramenta útil para a simulação do fenômeno de ruptura, com capacidade de simular dinamicamente as planícies de inundação; Chaves et al. (2017) propõem a aplicação da curva de Francou-Rodier ajustada como ferramenta indicada para verificação do risco hidrológico dos vertedores das barragens cearenses; Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020) sugerem o desenvolvimento de modelos numéricos tridimensionais para análise sísmica de barragens com alta eficiência computacional e precisão.

Quanto ao fortalecimento institucional, Moura, Vieira e Bohn (2015) recomendam a maior articulação entre medidas estruturais e não estruturais, o fortalecimento das políticas públicas habitacionais, de parcelamento do solo e mobilidade, com maior integração dos sistemas de alerta às populações expostas, e o estabelecimento de políticas municipais de uso e ocupação do solo coerentes com o mapeamento de áreas suscetíveis a desastres. Silva, Mattos e Silva (2023) recomendam fortalecimento da fiscalização, ampliação da qualificação técnica e melhoria do sistema de gestão e informações sobre segurança de barragens no Brasil. Prado, Santos e Silva (2025) sugerem que as principais fragilidades da implementação da PNSB estão nas ações dos órgãos fiscalizadores, em razão de limitações orçamentárias e técnicas, e na disponibilidade financeira dos empreendedores, em especial os públicos, com agravante para pequenos empreendedores e barragens órfãs.

4. Considerações finais

Esta revisão rápida teve por objetivo identificar e organizar os principais resultados e impactos das ações de reabilitação de barragens, no âmbito da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), na gestão de risco e segurança de barragens de acumulação de água no Brasil. Foram analisados vinte estudos publicados entre 2011 e 2025, com predominância de artigos em periódicos científicos nacionais e internacionais.

A maior parte dos estudos incluídos não trata especificamente de ações de reabilitação física. O caso mais nítido de intervenção estrutural analisada é o de Moura, Vieira e Bohn (2015), que examina a sobre-elevação de uma barragem de contenção de cheias em Santa Catarina. A maioria do acervo reporta evidências sobre instrumentos e processos previstos pela PNSB: classificação por categoria de risco e dano potencial associado, modelagem de cenários de ruptura, Planos de Segurança da Barragem, Planos de Ação de Emergência, instrumentação de auscultação, fiscalização e avaliação da implementação da política.

Em relação à segurança técnica das estruturas, observam-se três frentes complementares: o desenvolvimento e a aplicação de índices compostos de segurança, a modelagem hidrodinâmica calibrada contra observações reais e a sistematização das tecnologias de auscultação aplicáveis ao contexto brasileiro. A evidência empírica indica que persistem condições de segurança preocupantes em subgrupos relevantes do acervo nacional, com diagnósticos críticos documentados tanto para conjuntos de barragens estaduais quanto para estruturas isoladas de grande porte. Os achados sugerem que a documentação sistemática da condição estrutural e operacional das barragens brasileiras, com instrumentos padronizados, permanece como prioridade analítica e regulatória.

Em relação à prevenção e proteção da população a jusante, a modelagem hidrodinâmica de cenários de ruptura, articulada à classificação por Dano Potencial Associado e ao mapeamento da mancha de inundação, constitui as frentes mais recorrentes. Permanecem, contudo, duas lacunas principais que são destacadas em mais de um estudo: a disponibilização efetiva do Plano de Ação de Emergência às comunidades potencialmente afetadas, exigência da PNSB que não se confirma no caso documentado por Moura, Vieira e Bohn (2015), e a adequação dos critérios regulatórios de classificação por dano potencial associado à realidade de barragens de pequeno porte, conforme aporte de Pereira et al. (2021).

Em relação à eficiência regulatória e capacidade institucional, este foi o eixo de maior densidade nos estudos analisados. A evidência converge na identificação de fragilidades institucionais persistentes dos órgãos fiscalizadores estaduais, com destaque para as dificuldades de obtenção de informação técnica básica sobre as barragens, a carência de pessoal especializado em segurança de barragens e

a inadequação da articulação interinstitucional entre os órgãos competentes. A análise do caso de Ituporanga por Moura, Vieira e Bohn (2015) demonstra como a inadequação dessa articulação pode resultar em descumprimento concreto de instrumentos centrais da PNSB. A literatura mais recente, em particular Moreira et al. (2025), oferece instrumentos operacionais simplificados para endereçar essas fragilidades em contexto de recursos restritos.

Em relação à efetividade da implementação da política, a literatura aponta que existe ferramental metodológico para avaliação sistemática da implementação da PNSB, em particular a análise de lacunas com base nos macroindicadores nacionais publicados nos Relatórios de Segurança de Barragens da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, mas a aplicação empírica desse ferramental ainda é incipiente e restrita ao âmbito federal e às unidades subnacionais específicas.

Em relação à sustentabilidade, economicidade e adaptação a riscos emergentes, as evidências atravessam transversalmente os demais eixos, mas três questões se destacam. Primeiro, a baixa adesão dos empreendedores aos instrumentos centrais da PNSB relacionada aos elevados custos de elaboração do Plano de Segurança da Barragem e do Plano de Ação de Emergência. Segundo, a indicação do uso de índices compostos para redução dos custos de avaliação em barragens de pequeno e médio porte, em que a análise quantitativa de risco mais sofisticada seria proibitivamente custosa. Em terceiro lugar, a pressão climática adicional sobre o desempenho hidrológico das barragens, ainda subdiagnosticada na literatura brasileira específica, apontada como vetor de demanda futura por revisão dos parâmetros de projeto e operação, particularmente em regiões nas quais se prevê aumento expressivo das precipitações.

A análise da literatura evidencia algumas limitações: a produção atualmente disponível é predominantemente técnica e de engenharia, com baixa presença de estudos ancorados no referencial conceitual e metodológico da avaliação de políticas; a avaliação concentra-se no nível de produto, com indicadores de cumprimento formal dos instrumentos, e raramente alcança análise de processo ou identificação dos mecanismos causais que articulam instrumentos a efeitos sobre o risco efetivo; os efeitos distributivos da PNSB sobre diferentes categorias de empreendedores, em diferentes recortes regionais e sobre as populações potencialmente afetadas a jusante, permanecem subdiagnosticados.

Tais limitações dialogam diretamente com a Ficha de Indicadores, produzida no mesmo ciclo de avaliação do Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas (CMAP) 2025, dedicada à análise de viabilidade dos indicadores propostos para o monitoramento da ação orçamentária 21DD, voltada à reabilitação de barragens (Bezerra; Melo, 2026). O produto sistematiza 43 indicadores derivados do modelo lógico da política e classifica nove deles como inviáveis no estado atual dos sistemas de informação, onze como passíveis de cálculo mediante uso de *proxies* e dezenove como viáveis com base nas variáveis disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Os resultados desta revisão oferecem respaldo empírico à ficha de indicadores em três frentes. Primeiro, a ausência de variáveis sobre comunicação social, simulados de emergência e treinamento de populações expostas, que motivou a inviabilidade dos indicadores associados à orientação da população, coincide com a lacuna documentada no eixo de prevenção e proteção da

população a jusante. Segundo, a impossibilidade de operacionalizar indicadores ligados aos fluxos e protocolos institucionais é consistente com os diagnósticos de fragilidade dos órgãos fiscalizadores estaduais reportados por Silva, Mattos e Silva (2023), Prado, Santos e Silva (2025) e Moura, Vieira e Bohn (2015). Terceiro, os indicadores mantidos no núcleo do SNISB, referentes à instrumentação, revisão periódica, inspeção e ao Plano de Segurança da Barragem, encontram base nos estudos de Pacheco, Henriques e Ribeiro (2020), Lima (2023a) e Rocha e Miranda Neto (2018), que documentam aplicações concretas desses instrumentos em diferentes contextos.

Um ponto específico da Ficha de Indicadores merece destaque. O indicador proposto para captar a redução da Categoria de Risco (CRI) e do Dano Potencial Associado (DPA) em relação ao período anterior pressupõe que a variação observada nas classificações reflete alteração efetiva das condições de risco. O achado de Pereira et al. (2021) qualifica essa premissa: ao aplicar as Resoluções CNRH nº 143/2012 e ANA nº 132/2016 a sete barragens da bacia do rio Cauamé, em Roraima, os autores observaram que mais de 85% das estruturas foram classificadas como DPA Alto, mesmo com mais de 70% delas sendo de volume Pequeno; o modelo adaptado por eles proposto resultou em distribuição substancialmente distinta (42,9% Alto, 42,9% Médio, 14,2% Baixo). A leitura conjunta sugere que variações observadas no indicador podem refletir, em parte, ajustes nos critérios de classificação ou na cobertura do cadastro, e não exclusivamente alterações na condição material das barragens. Recomenda-se, portanto, que a interpretação do indicador no monitoramento da política seja acompanhada de informação sobre eventuais mudanças metodológicas ou cadastrais ocorridas entre os períodos comparados.

Para além das implicações específicas para o sistema de monitoramento, a principal recomendação que emerge desta revisão é a necessidade de ampliar a produção de estudos avaliativos sobre a PNSB que sejam comparáveis entre unidades da federação e sensíveis aos diferentes contextos regionais. A agenda demanda ir além da aferição do cumprimento formal dos instrumentos previstos pela política, investigando os mecanismos causais que articulam esses instrumentos aos efeitos sobre o risco efetivo. Sua viabilização passa pela aproximação entre a literatura técnica sobre segurança de barragens e o campo da avaliação de políticas públicas, com mobilização de ferramentas avaliativas e o exame das relações intergovernamentais que condicionam a execução estadual da política.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, D. P. d. O. *Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens, ISB*. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Citado 9 vezes nas páginas 12, 17, 18, 20, 25, 26, 29, 31 e 36.

BEZERRA, B.; MELO, A. *Programa de Reabilitação de Barragens*: análise de indicadores de monitoramento e avaliação. Brasília: Enap, 2026. (Relatório de pesquisa, Evidência Express). Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/6939>. Citado na página 39.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinada 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 Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 set. 2010. Seção 1. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 19 mar. 2026. Citado na página 7.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fiocruz Brasília. *Aprimoramento da gestão de tecnologias no SUS*: plataforma de tradução, intercâmbio e apropriação social do conhecimento: metodologias para produção de sínteses de evidências (revisões rápidas): Subprojeto RAPID: Relatório. Brasília, DF: Ministério da Saúde/Fiocruz, 2020. Disponível em: <https://brasilia.fiocruz.br/aagts/wp-content/uploads/sites/4/2021/01/Relatorio_RAPID_final.pdf>. Acesso em: 28 maio 2026. Citado na página 8.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Relatório de segurança de barragens 2024-2025*. Brasília: ANA, 2025. 129 p. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

CASTRO, M. d. A. R. A. *Métodos determinísticos e probabilísticos para a avaliação do impacto de rompimentos de barragens via modelagem hidrodinâmica*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024. Citado 4 vezes nas páginas 12, 23, 24 e 36.

CHAVES, L. G. et al. Regional envelope curves for the state of Ceará: a tool for verification of hydrological dam safety. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 22, p. e29, 2017. DOI: 10.1590/2318-0331.021720160062. Citado 8 vezes nas páginas 12, 17, 18, 20, 32, 34, 36 e 37.

CONTRERAS, R. J.; ESCUDER-BUENO, I. Dam safety history and practice: is there room for improvement? *Infrastructures*, Basel, v. 8, n. 12, p. 171, 2023. DOI: 10.3390/infrastructures8120171. Citado 8 vezes nas páginas 12, 25, 26, 29, 32, 33, 34 e 37.

CZAP, M. M. F.; MARQUES FILHO, J. Dam safety management methodology in front of the national dam safety policy. *REM: International Engineering Journal*, Ouro Preto, v. 77, n. 2, abr./jun. 2024. DOI: 10.1590/0370-44672023770099. Citado 5 vezes nas páginas 12, 17, 19, 20 e 36.

FERREIRA. *Modelo multicritério de avaliação de risco de segurança de barragens baseado em lógica fuzzy*. Dissertação (Mestrado) — [instituição pendente], Rio Grande do Norte, 2023. Citado 4 vezes nas páginas 12, 17, 19 e 20.

FERREIRA, H. d. S. *Análise de risco associada a barragens de usos múltiplos na bacia hidrográfica do rio Uraim em Paragominas-PA, utilizando ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto*. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/18465>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 23 e 24.

GARCIA, L. d. C. et al. Dams safety index (DSI): a reassessment of the parameters of analysis. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 39, n. 6, p. 715–720, nov./dez. 2019. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n6p715-720/2019. Citado 10 vezes nas páginas 12, 17, 18, 20, 25, 26, 32, 33, 34 e 36.

JESUS, M. B. d. *Aspectos de gestão de segurança de barragens frente à política nacional de segurança de barragens*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. DOI: 10.11606/D.3.2021.tde-07102021-161152. Acesso em: 29 maio 2026. Citado na página 7.

LIMA, A. M. d. S. *Avaliação de segurança e modelagem computacional em barragens de Pernambuco*. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023a. Citado 7 vezes nas páginas 5, 12, 17, 19, 20, 36 e 40.

LIMA, S. G. *Mapeamento de perigo potencial associado a rompimentos de barragens sob efeito cascata*. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023b. Citado 5 vezes nas páginas 12, 22, 24, 36 e 37.

MOREIRA, H. S. et al. Proposta de critérios para priorizar a fiscalização de barragens de usos múltiplos à luz da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). *Research, Society and Development*, v. 14, n. 7, p. e9514749275, 2025. DOI: 10.33448/rsd-v14i7.49275. Citado 8 vezes nas páginas 12, 25, 27, 28, 29, 31, 36 e 39.

MOURA, J. M. B. M. d.; VIEIRA, R.; BOHN, N. Barragem de contenção de cheias e políticas públicas: o caso de Ituporanga - Santa Catarina, Brasil. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 6, n. 3, p. 70–88, set./dez. 2015. DOI: 10.18472/SustDeb.v6n3.2015.15687. Citado 15 vezes nas páginas 12, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39 e 40.

OUZZANI, M. et al. Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, v. 5, n. 1, p. 210, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s13643-016-0384-4.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.

PACHECO, A. d. P.; HENRIQUES, R. F. F.; RIBEIRO, P. M. V. Technical and scientific aspects of dams in Brazil: a theoretical approach. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 15, n. 5, p. e2552, 2020. DOI: 10.4136/ambi-agua.2552. Citado 14 vezes nas páginas 12, 17, 18, 21, 25, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37 e 40.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, p. n71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. Citado na página 8.

PEREIRA, A. d. S. et al. Proposta de classificação de barragens quanto ao dano potencial associado para o estado de Roraima. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 3, p. 679–695, mar. 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0054. Citado 10 vezes nas páginas 12, 22, 24, 25, 29, 30, 31, 36, 38 e 40.

PRADO, A. R. M. d.; SANTOS, R. L. d.; SILVA, S. R. d. Adaptation of a methodology for evaluating the implementation of the National Dam Safety Policy (PNSB) in Brazil and Pernambuco. *Brazilian Journal of Public Policy*, v. 15, n. 1, p. 330–352, 2025. Citado 11 vezes nas páginas 5, 12, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37 e 40.

ROCHA, M. d. A. G. d. H.; MIRANDA NETO, M. I. d. Classification of the Juturnaíba dam: potential risk and damage. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2018. DOI: 10.4236/jwarp.2018.101001. Citado 5 vezes nas páginas 12, 17, 18, 20 e 40.

Santa Rita, L. d. C. S. *Simulação computacional da propagação de cheia por diferentes rompimentos hipotéticos como subsídio para a gestão de segurança de barragens em Sergipe*. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021. Citado 7 vezes nas páginas 12, 17, 19, 20, 22, 24 e 37.

SILVA, L. C.; MATTOS, U. A. d. O.; SILVA, J. C. d. Dams safety: an analysis of safety management and the difficulties of its supervision. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 45, p. e6, 2023. DOI: 10.5902/2179460X72372. Citado 10 vezes nas páginas 7, 12, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 37 e 40.

VERóL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B. Emergency action plans: assessment of the main elements for dam break flood maps. *WIT Transactions on the Built Environment*, Southampton, v. 117, p. 441–453, 2011. (Safety and Security Engineering IV). DOI: 10.2495/SAFE110381. Citado 4 vezes nas páginas 12, 22, 24 e 37.

VIANINI NETO, L. *Estudo de ruptura da barragem da Pampulha, em Belo Horizonte*: retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais. 304 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Citado 10 vezes nas páginas 12, 17, 18, 20, 22, 24, 32, 34, 36 e 37.

Apêndice 1

Base de dados, estratégia de busca e achados recuperados

Base	Data	Estratégia	Filtros	Resultado
Google Acadêmico (Até página 10)	05/04/26	(Brazil OR Brasil) AND (((“water storage” OR (“water supply” OR (reservoir OR “reservatório de água”)))) AND ((“Dam Safety” OR (“Dam rehabilitation” OR (“Risk mitigation” OR (“segurança de barragem” OR (“segurança de barragens” OR (“reabilitação de barragem” OR (“reabilitação de barragens” OR (“Política Nacional de Segurança de Barragens” OR (PNSB OR (“plano de segurança de barragem” OR “mitigação de risco”))))))))))) AND (impact OR (result OR effect))))	Período 2010- atual	1129
Lens	05/04/26	(Brazil OR Brasil) AND (((“water storage” OR (“water supply” OR (reservoir OR “reservatório de água”)))) AND ((“Dam Safety” OR (“Dam rehabilitation” OR (“Risk mitigation” OR (“segurança de barragem” OR (“segurança de barragens” OR (“reabilitação de barragem” OR (“reabilitação de barragens” OR (“Política Nacional de Segurança de Barragens” OR (PNSB OR (“plano de segurança de barragem” OR “mitigação de risco”))))))))))) AND (impact OR (result OR effect))))	período 2010- atual	1241
Scopus	05/04/26	(Brazil OR Brasil) AND (((“water storage” OR (“water supply” OR (reservoir OR “reservatório de água”)))) AND ((“Dam Safety” OR (“Dam rehabilitation” OR (“Risk mitigation” OR (“segurança de barragem” OR (“segurança de barragens” OR (“reabilitação de barragem” OR (“reabilitação de barragens” OR (“Política Nacional de Segurança de Barragens” OR (PNSB OR (“plano de segurança de barragem” OR “mitigação de risco”))))))))))) AND (impact OR (result OR effect))))	x	24
Capes	05/04/26	(“Dam rehabilitation” OR “Water storage” OR “water supply” OR “Risk mitigation” OR “segurança de barragens” OR “reabilitação de barragem” OR “política de segurança de barragem” OR “plano de segurança de barragem” OR “mitigação de risco”) AND (impact or results or effects) AND (Brasil OR Brazil)	período 2010- atual	30
BDTD	05/04/26	(“Dam Safety policy” OR “Dam rehabilitation” OR “Risk mitigation” OR “water supply” OR “water storage” OR “segurança de barragens” OR “reabilitação de barragem” OR “política de segurança de barragem” OR “plano de segurança de barragem” OR “mitigação de risco”) AND (impact OR outcome OR “avaliação de impacto” OR “avaliação de resultados”)	período 2010- atual	99
		TOTAL		**2523**

Fonte: Elaboração própria.
Siglas: BDTD: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações; PNSB: Política Nacional de Segurança de Barragens.

Apêndice 2

Estudos excluídos após leitura do texto completo, com justificativa

Estudo
Não aborda explicitamente resultados ou impactos da política brasileira
PEREIRA, Rute Cavalcante. Borda livre e segurança de barragens: da tradição metodológica ao desafio das mudanças climáticas. 2025. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil-Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.
BARBOZA, Diones Uiliam. *Estudo sobre o comportamento hidrogeotécnico da ombreira direita da barragem do Ribeirão João Leite*. 2021. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
FRAGA, Filipe Oliveira; FAN, Fernando M.; PAIVA, Rodrigo C. D. de. Avaliação da influência da inserção da batimetria e resolução topográfica na propagação da onda de cheia gerada pela ruptura hipotética de barragens com vale moderadamente encaixado. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 30, e12, 2025.
ALMEIDA, Tamiris Aparecida de. Diagnóstico do risco à segurança hídrica da água bruta da represa de Chapéu D'uvas para o abastecimento humano de água da cidade de Juiz de Fora - MG. 2024. 166 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2024.
Uma análise da aplicação do modelo HEC-HMS na determinação de vazões de rompimento de pequenos barramentos: o caso do reservatório Lúzio de Freitas em inhumas, GO. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 1, p. 793–813, 2019.
DA COSTA, Alexandre Sylvio Vieira; SILVA, Altamiro Junior Mendes; COLARES, Rodrigo Silva. Barragem do rio Todos os Santos no vale do Mucuri/MG: análise de rompimento para Teófilo Otoni. Holos Environment, v. 19, n. 4, p. 528–542, 2019.
PERSECHINI, Maria Ines Muanis et al. Segurança de barragens: engenharia a serviço da sociedade. , 2015.
SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Análise do processo de amortecimento de cheias em reservatórios: parâmetros intervenientes e proposta de método de estimativa. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
MOTA, Kevin Reiny Rocha. Rompimento e delimitação da área de inundação da barragem Salto Moraes em Ituiutaba/MG. 2017. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

(continua)

Estudo
ALVES, Douglas et al. Monitoring and reporting dam safety operational risks based on bow tie methodology. Process Safety Progress, v. 42, p. S56–S71, 2023.
TINGEY-HOLYOAK, Joanne L. et al. Incorporating on-farm water storage safety into catchment policy frameworks: International best practice policy for private dam safety accountability and assurance. Land use policy, v. 33, p. 61–70, 2013.
CHAVES, Daniel Rodrigues et al. Time space analysis of dams in the State of Pará in the last 20 years. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 23, p. 100597, 2021.
BHARTI, Mohit Kumar; SHARMA, Manish; ISLAM, Nazrul. Study on the dam & reservoir, and analysis of dam failures: a data base approach. International Research Journal of Engineering and Technology, v. 7, n. 5, 2020.
WISHART, Marcus J. et al. Laying the foundations: a global analysis of regulatory frameworks for the safety of dams and downstream communities. [S.l.]: World Bank Publications, 2020.
DE OLIVEIRA NETO, Geraldo C. et al. Applying neural networks combined with Monte Carlo simulation in dam operations to obtain operational, economic and environmental gains. In: Emerald Publishing Limited, 2025.
STUDART, T. M. C. et al. A Bivariate Return Period Copula Application of Flood Peaks and Volumes for Climate Adaptation in Semi-Arid Regions. Water, v. 17, n. 20, p. 2963, 2025.
AVELAR, Pablo da Silva. A teoria na prática é outra? Estudo de caso de licenciamentos de barragens de abastecimento no Estado da Bahia. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
LIMA, Gabriel B.; ALVES, Douglas P.; MENESCAL, Rodrigo A.; MORAES, Paulo A.; SILVA, Bruno S. Dam system and reservoir operational safety: a meta-research. Safety Science, v. 177, 2024.
BROWN, Casey; LALL, Upmanu. Ageing water storage infrastructure: An emerging global risk. Nature Climate Change, v. 6, n. 10, p. 918-920, 2016.
Outros tipos de barragens
LEITE, Sérgio R. Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy. 2019. xxi, 197 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Computação Aplicada) —Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
CAÇADOR, E. C. *et al.* Unveiling disaster: exploring dam failures and CBRNe events in Brazil and beyond. European Physical Journal Plus, v. 139, n. 10, 2024.
MACEDO, Elisa Patricio. Modelagem matemática como ferramenta para elaboração de planos de ação emergencial. 2013. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
CESTARI-JUNIOR, Euclydes; SOBRINHO, Milton Dall'Aglio; DE OLIVEIRA, Jefferson Nascimento. Estudo de propagação de ondas para auxiliar a elaboração do plano de ação emergencial externo – PAE. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 3, p. 689–697, 2015.

(continua)

Estudo
FIRME, Paulo Henrique Camargos. Análise sobre as possíveis modificações para a atualização da Instrução Técnica n. 01/2021. 2023. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.
LARA, Pedro Guilherme de. Metodologia probabilística de previsão de brecha de ruptura de barragens. 2016. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
SOUZA, Camila Azevedo de. *Uso do geoprocessamento como subsídio à análise de danos ambientais e urbanos: geração dos mapas de potencial de impacto de inundação em caso de rompimento da UHE Santa Branca*. 2017. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
MATA, Juan et al. Validation of Machine Learning Models for Structural Dam Behaviour Interpretation and Prediction. Water, v. 13, n. 19, p. 2717, 2021.
SILVA, Adriana Aparecida et al. The impact of the Brumadinho dam failure in Naô Xohâ village. Sustentabilidade em Debate, v. 10, n. 3, p. 179–211, 2019.
SOHLER, Flavio Augusto Settimi; CALDEIRA, Laura Maria Mello Saraiva. Safety of Dams: A Pathological Approach of Qualitative and Quantitative Risks. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 10, n. 9, 2016.
SAMPAIO, José Adércio Leite. The deficiencies of the emergency action planning for dams in Brazil. Revista Brasileira de Direito, v. 12, n. 2, p. 7–17, 2016.
ADAMO, Nasrat et al., Dam Safety: Monitoring of Tailings Dams and Safety Reviews. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, v. 11, n. 1, p. 249–289, 2020.
ESPÓSITO, Terezinha; PALMIER, Luiz R. Application of Risk Analysis Methods on Tailings Dams. Soils and Rocks, v. 36, n. 1, p. 97–117, 2013.
GUIMARÃES, Roberta N. et al. A conceptual model to establish preventive and corrective actions to guarantee water safety following scenarios of tailing dam failure. Journal of Environmental Management, v. 344, p. 118506, 2023.
SELFE, Ana Cristina Cavalcante et al. A comprehensive review on environmental impacts of Brazilian dams: overview and emerging trends. Sustainable Water Resources Management, v. 11, n. 6, p. 125, 2025.
PACHECO, Fernando António Leal et al. Tailings Dam Failures in Brazil: River Contamination, Ecosystem Recovery, and Institutional Responses to the Mariana and Brumadinho Disasters. Current Opinion in Environmental Science & Health, p. 100654, 2025.
Tipo de Publicação
MORGENSTERN, N. R. Seismic Design and Safety Criteria for Tailings Dams: A Comparison with Water Storage Dams. In: 17th World Conference on Earthquake Engineering. Proceedings. Sendai, Japão, 2021.
ESCUDER-BUENO, Ignacio; *et al*. International Case Studies on Using Risk-Informed Dam Safety Management. In: Proceedings Of the International Symposium on Dam Safety, 2019.

(continua)

Estudo
CASTRO, M. A. R. A.; RAPALO, L.; SILVA, P.; et al. Analysis of the potential direct and indirect impacts of dam failures on storage services for multiple purposes. In: EGU General Assembly 2024. Vienna, Austria, 2024. Geophysical Research Abstracts, v. 26, 2024.
BONATTI, Heloísa; FAIS, Laura Maria Cano Ferreira. Environmental criteria for improving dams safety. Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP, n. 26, 2019.
TEHRANI, Faraz S.; COSTA, Ana Laura; PETERS, Ton. Enabling technologies for monitoring and forecasting: applications in slope stability and dam safety. In: ARMA, 2019.
VIANA, Helber N. L.; PASSETO, Eduardo; OLIVEIRA, Josimar A.; BARROS, Flávia G.; SALGADO, Sérgio Ricardo T.; OLIVEIRA, Marcus Vinicius A. M.; MENEGAZ, Nádia E. V. Risk Category Classification Criteria Established by the Brazilian Dam Safety Regulations Applied on Small Water Storage Dams. In: Proceedings of Dam World Conference 2015. Lisboa, Portugal, 2015.

Fonte: Elaboração própria.