

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL: QUANTIFICAÇÃO DE ACIDENTES E INCIDENTES NO PERÍODO DE 2017-2021

Pedro G. C. da Silva^{1a}, Marcos R. Benso^{1b}, Greicelene J. da Silva^{1c}, Gabriela C. Gesualdo^{1e}, Ianca P. Miranda^{1f}, Danielle de A. Bressiani³, Enio B. Pereira^{2g}, Josiclêda D. Galvincio⁴, Luz Adriana C. Pineda⁵, Suzana M. G. L. Montenegro⁶, Martinus S. Krol⁷ & Eduardo M. Mendiondo^{1d}

Abstract: Brazil's vast river network and diverse dam infrastructure serves various purposes, including water supply and power generation. However, the occurrence of dam failures like the ones in Mariana and Brumadinho has underscored the urgent need for enhanced inspection and safety measures for these structures. While the National Dam Safety Policy (PNSB) laid the foundation for the creation of the National Dam Safety Information System (SNISB) to address these concerns, there are still significant gaps to be addressed. Implementing measures such as safety planning, bolstering civil protection agencies, and reducing risks are crucial to ensuring water security and safeguarding communities residing near dams. This study aimed to identify potential risks associated with dam safety reports (RSB). Examination of the RSBs from SNISB revealed a considerable number of dams with medium to high-risk potential, many of which lacked adequate classification, thereby endangering the surrounding population. Additionally, between 2017 and 2021, a total of 278 accidents and incidents were reported solely in registered dams subject to defined inspections. hydrological and structural factors emerged as key contributors to these mishaps, highlighting deficiencies in the management of these systems. It is of paramount importance to critically examine the efficacy of legislation and oversight mechanisms governing Brazilian dams, aiming to enhance the practices employed by competent authorities and the field of dam engineering.

Resumo: O Brasil possui uma extensa rede fluvial e uma diversidade de barragens para usos que vão desde o abastecimento humano à geração de energia. No entanto, casos de rompimento de barragens como os de Mariana e Brumadinho destacaram a necessidade de aprimorar a fiscalização e a segurança dessas estruturas. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) embasou a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) para lidar com essas questões. Medidas como a elaboração de Planos de Segurança, o fortalecimento dos órgãos de proteção civil e a redução de riscos são essenciais para garantir a segurança hídrica e proteger as comunidades próximas às barragens. Este trabalho teve como objetivo identificar os riscos potenciais associados aos Relatórios de Segurança de Barragens (RSB). A análise dos RSBs do SNISB revelou que há milhares de barragens com potencial de médio a alto risco, muitas das quais carecem de classificação adequada, colocando a população circundante em risco. Além disso, entre 2017 e 2021, um total de 278 eventos acidentais e incidentes foram relatados apenas em barragens registradas com inspeção definida. Fatores hidrológicos e estruturais estavam entre as principais causas desses acidentes e incidentes, destacando problemas na gestão desses sistemas é fundamental discutir a eficácia da legislação e dos mecanismos de fiscalização das barragens brasileiras, a fim de melhorar as práticas utilizadas pelas autoridades competentes e pela engenharia de barragens.

Palavras-Chave: Segurança de barragens; Rompimento de Barragens; Segurança hídrica.

¹USP, Programa de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos-SP, Brasil; ²INPE, Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, São José dos Campos, Brasil; ³UFPEl, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Pelotas, Brasil; ⁴UFPE, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Recife, Brasil; ⁵CEMADEN, São José dos Campos, Brasil; ⁶UFPE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Brasil; ⁷University of Twente, Civil Engineering & Management, Enschede, The Netherlands. E-mails: ^apedrogc.silva@usp.br (autor correspondente); ^bmarcosbenso@usp.br; ^cgreicelene.silva@usp.br; ^demm@sc.usp.br; ^egabriela.gesualdo@usp.br; ^fiancapmiranda@usp.br; ^gdaniebressiani@gmail.com; ^henio.pereira@alumni.usp.br; ⁱjosicleda@gmail.com; ^jadriana.cuartas@cemaden.gov.br; ^ksuzanam.ufpe@gmail.com; ^lm.s.krol@utwente.nl.

INTRODUÇÃO

Com uma dimensão continental e extensa rede fluvial, o Brasil possui uma diversidade de barramentos para vários usos necessários ao desenvolvimento socioeconômico, dentre eles o abastecimento humano. Atualmente, além de servir aos usos múltiplos da água, as barragens possuem uma conexão direta com a segurança hídrica (ANA, 2023). À medida em que secas e cheias vêm atingindo o país, aumenta a necessidade de ampliar-se essas estruturas e rever seu dimensionamento e condições de segurança.

De acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), a Segurança Hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões (humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência) como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país (ANA, 2019).

A partir do estabelecimento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), conforme Lei 12.334/2010, foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens no Brasil (SNISB), com intuito de reunir os dados de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais (Brasil, 2010). O sistema reúne o cadastro de barragens de usos múltiplos da água, de geração de energia elétrica, de contenção de resíduos industriais e de rejeitos de mineração, abrangendo tanto as que são submetidas à lei, quanto as que não são.

Apesar disso, nos últimos anos, o país vivenciou alguns casos de rompimento de barragens que puseram em discussão a forma como a fiscalização e manutenção de barragens tem sido realizada. Casos de rompimentos de barragens como as das cidades de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambas no estado de Minas Gerais (MG), mais recentemente, o rompimento da barragem em Ouroana (2023), distrito de Rio Verde, no estado de Goiás (GO), mostra que há muitas lacunas no gerenciamento desses barramentos, apesar dos avanços propiciados pelo PNSB.

Segundo o último relatório de segurança de barragens (RSB), presente no SNISB (ANA, 2021), novas medidas propostas incluem que os empreendedores de barragens elaborem e implementem os Planos de Segurança de Barragens, atendendo às recomendações dos relatórios de Inspeção de Segurança, com a inclusão dos volumes das barragens. Além disso, é necessário fortalecer os órgãos de proteção e defesa civil, especialmente nos municípios com maior quantidade de barragens de alto risco. O objetivo é estabelecer um alinhamento entre os Planos de Contingência da defesa civil e os Planos de Segurança de Barragem dos empreendedores. É essencial fortalecer as entidades fiscalizadoras, proporcionando autonomia financeira, capacitação técnica, recursos materiais e logísticos, além de um planejamento eficiente. Por fim, é recomendada a criação de um programa ministerial para apoiar intervenções físicas e obras visando a redução de riscos e melhoria das condições de segurança das barragens.

Atualmente, das barragens classificadas a partir da análise de seu Dano Potencial Associado (DPA), que leva em consideração quanto dano elas podem causar se vier a romper, um total de quase 5 mil barragens estão classificadas como dano potencial entre médio e alto. Ademais, mais de 14 mil barragens não possuem classificação neste indicador, agravando o perigo para a população a jusante desses barramentos, pois não têm indicação da situação desses sistemas (ANA, 2023).

Nesse sentido, propor uma discussão a respeito da eficácia da legislação e da forma como os mecanismos por ela criados são empregados no contexto da fiscalização da situação das barragens brasileiras é uma forma de contribuir para o desenvolvimento das práticas atualmente empregadas pelas autoridades competentes, bem como com a engenharia de barragens de maneira geral (Silva et al., 2021). Portanto, o objetivo deste estudo é investigar os acidentes e incidentes relatados nas

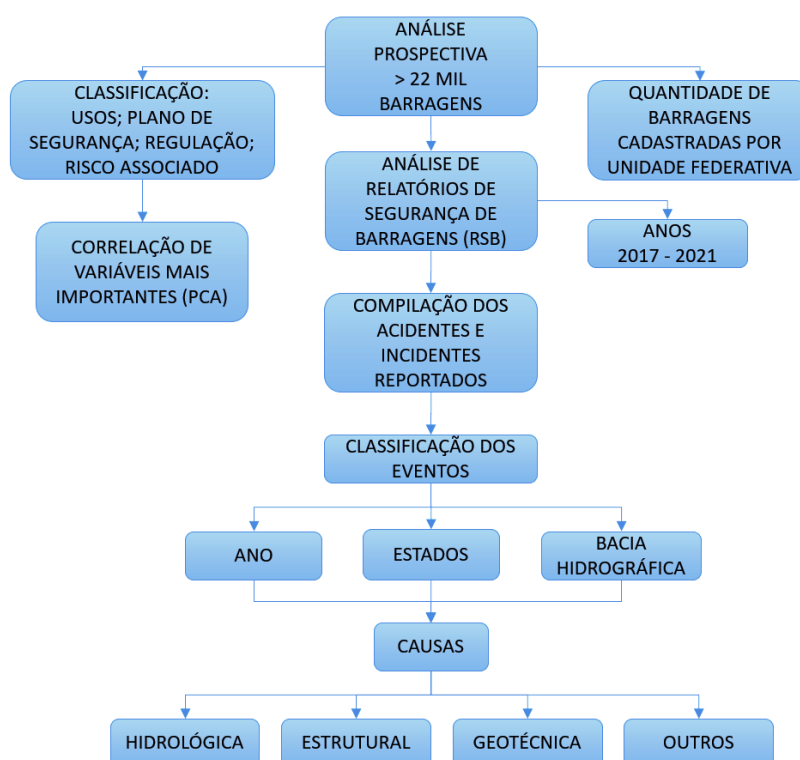
barragens registradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), no período de 2017 a 2021, com o intuito de identificar as principais causas desses eventos.

METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado conforme o escopo apresentado no fluxograma da Figura 1. Todos os dados foram obtidos a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (ANA, 2023). Cabe aqui destacar duas definições importantes, de acordo com o art. 2º da Resolução nº 144/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (Brasil, 2012):

1. Acidentes: é o comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa.
2. Incidentes: o incidente se refere a qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

Figura 1. Fluxograma de delimitação metodológica.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

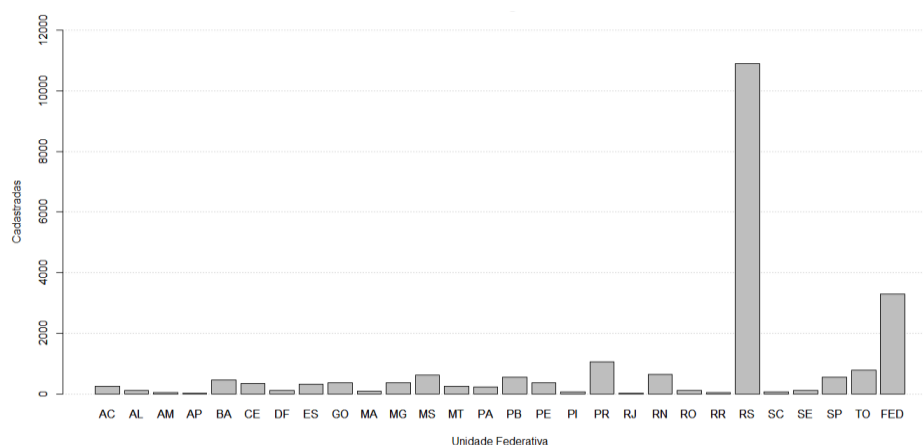
Análise prospectiva da quantidade de barragens e classificação conforme usos e regulação

A Figura 2 apresenta a distribuição de barragens por unidade federativa. Notadamente, há uma concentração no número de barragens localizadas no estado do Rio Grande do Sul (RS). Com um total de mais de 10 mil barragens no estado, o que corresponde a quase metade da quantidade de barragens cadastradas no SNISB. Cabe salientar que nem toda barragem está submetida à Política Nacional de Segurança de Barragens. No RS há 1.716 barragens outorgadas passíveis de fiscalização.

Isso evidencia uma grande quantidade de barragens que podem apresentar certo risco, uma vez que não há fiscalização determinada.

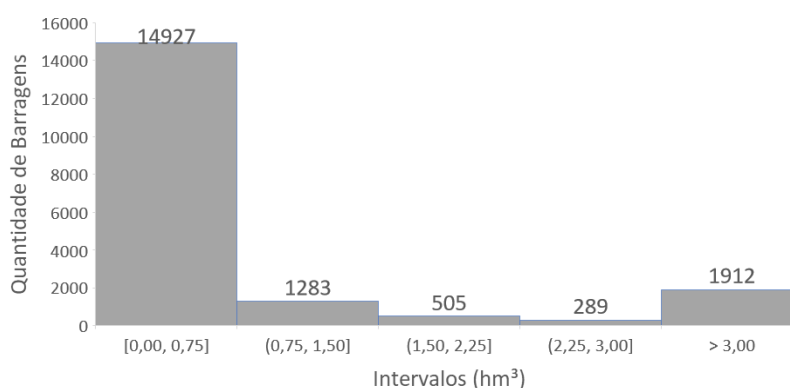
Ademais, o restante do país demonstra uma homogeneidade na distribuição de barragens que estão sob cadastro no Sistema de Informações sobre Segurança de Barragens. Todas as barragens indicadas como pertencentes a algum dos estados estão ligadas a um órgão fiscalizador estadual. As demais barragens, classificadas como “FED” (aproximadamente 4 mil), são fiscalizadas por agências em âmbito nacional (Agência Nacional de Águas - ANA, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Agência Nacional de Mineração - ANM e Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN).

Figura 2. Distribuição das barragens por Unidade Federativa Brasileira.



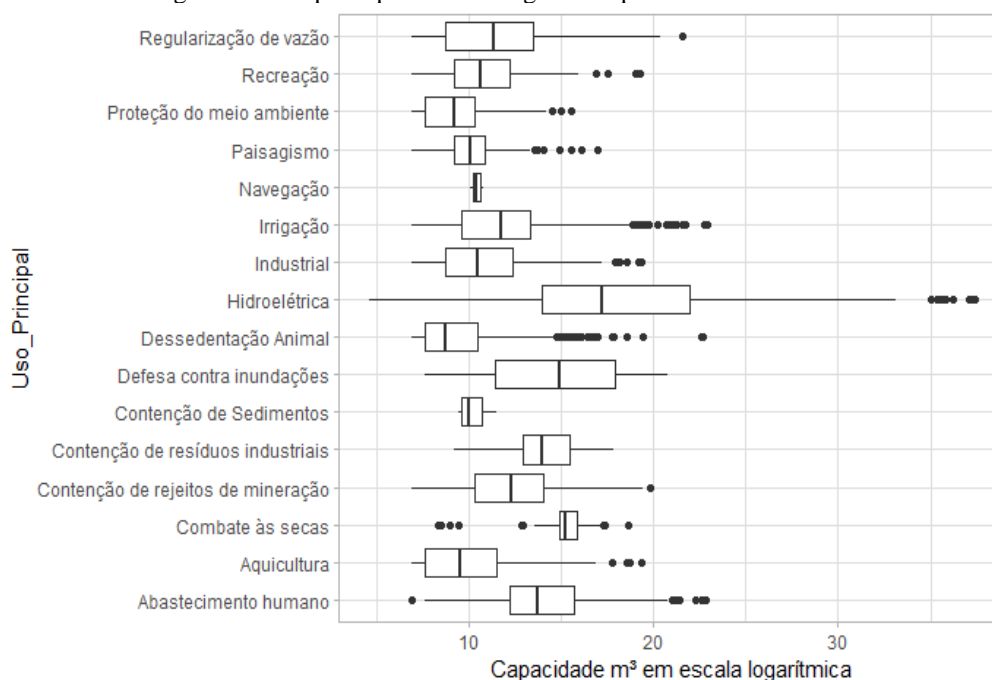
Com relação à capacidade (Figura 3), a maior concentração de barragens encontra-se na faixa de volume $< 3 \text{ hm}^3$, que são barragens com volumetria pequena. Essa classificação não abrangeu toda a quantidade de barragens cadastradas no SNISB, uma vez que parte dessas não apresenta dado de volumetria discriminado, sendo esta uma lacuna do banco de dados do SNISB.

Figura 3. Histograma de volume das barragens cadastradas.



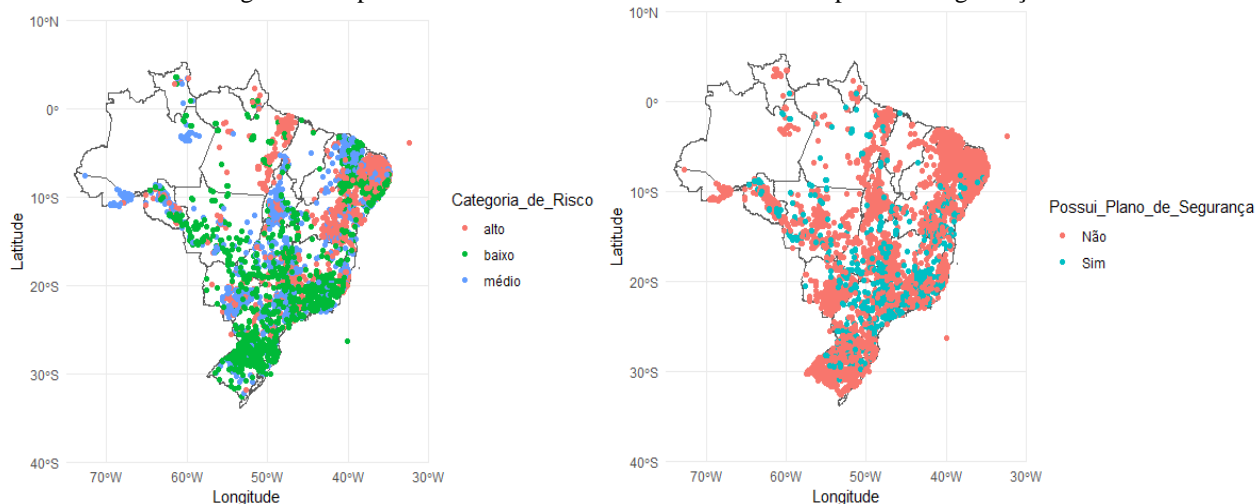
Pelos usos principais, as barragens são categorizadas conforme Figura 4. Dessa categorização, as barragens com maior volumetria são aquelas destinadas à função de geração de energia hidrelétrica, notadamente, uma vez que o Brasil tem sua matriz energética majoritariamente vindo da fonte hidráulica. A escala logarítmica foi adotada para melhor representação dos dados.

Figura 4. Usos principais das barragens e capacidade volumétrica.



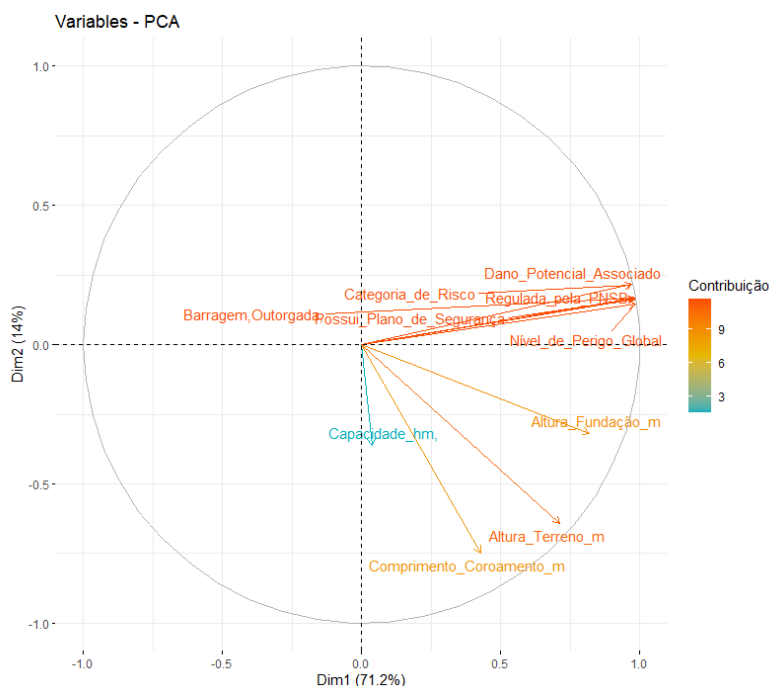
Da análise dos indicadores Categoria de Risco e existência de Plano de Segurança, é possível perceber que a maioria das barragens não possuem plano de segurança e ainda apresentam de alto a médio grau de risco (Figura 5). Isso evidencia a potencialidade de danos caso algum desses barramentos venha a romper.

Figura 5. Mapas com indicadores de risco e existência de plano de segurança.



Foi realizada uma análise de componentes principais considerando as principais variáveis relacionadas à segurança das barragens: as variáveis de caráter qualitativo, como existência de plano de segurança, existência de regulação e existência de outorga foram categorizadas quantitativamente. Foi observado que as variáveis relacionadas a danos e riscos têm maior importância nas análises de problemas associados às barragens (Figura 6).

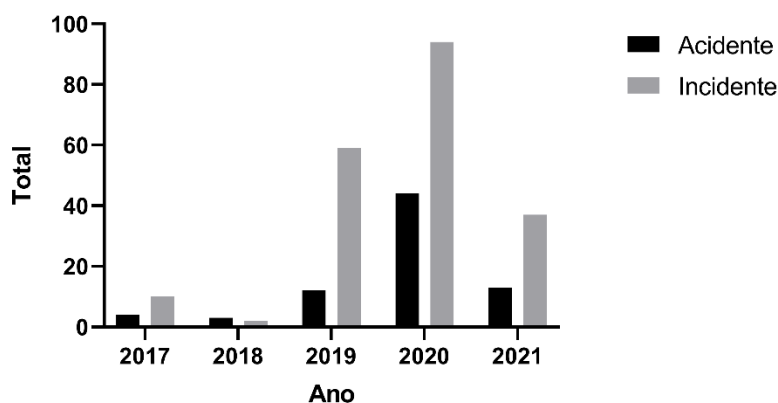
Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) para as variáveis relacionadas à segurança de barragens.



Acidentes e Incidentes Reportados entre 2017 e 2021

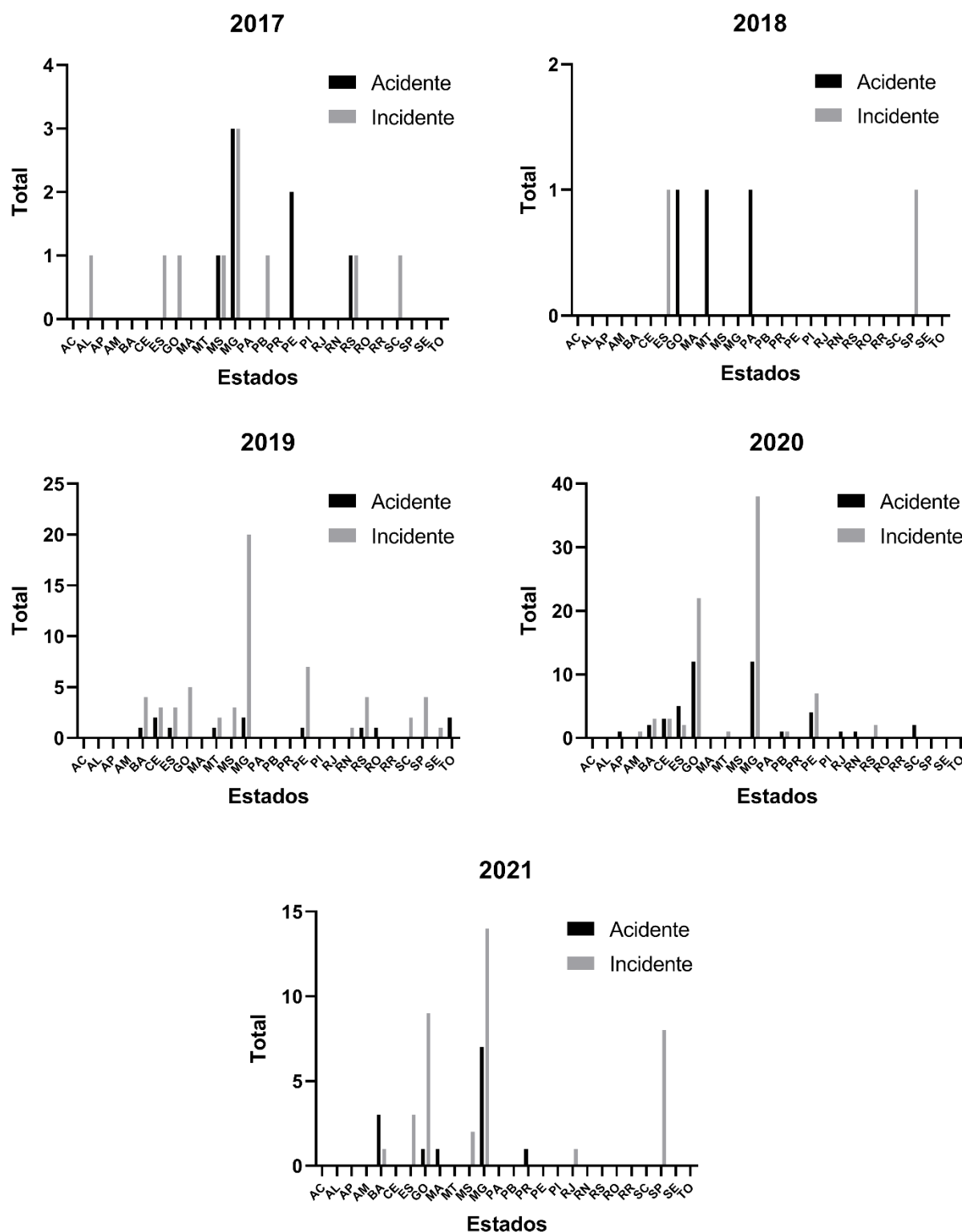
Entre os anos de 2017 e 2021, foram contabilizados um total de 278 eventos, entre acidentes e incidentes, registrados em relatórios do SNISB (Figura 7). Observa-se um maior número desses eventos para o ano de 2020 (94 incidentes e 44 acidentes), além de ser verificado, em termos gerais, uma tendência de crescimento entre os anos de 2017 e 2020, não sendo identificada uma razão específica.

Figura 7. Total de Acidentes e Incidentes no Período de 2017-2021.



A análise por estado e ano (Figura 8) demonstra uma distribuição heterogênea de acidentes e incidentes reportados, sendo destaque o estado de MG, que, excluindo o ano de 2018, é a unidade federativa que apresenta os maiores patamares dos dois eventos, com maior expressividade para o ano de 2020. Isso pode ser explicado devido ao elevado número de barragens de rejeito em MG decorrente de intensas atividades de mineração no Estado. Esse risco em MG é maior por conta da alta concentração dessas estruturas próximas a centros urbanos. O maior quantitativo de barragens se concentra na Região Metropolitana de Belo Horizonte e no entorno. O estado também possui grande quantitativo de barragens nas regiões leste, sul e noroeste (ANM, 2022).

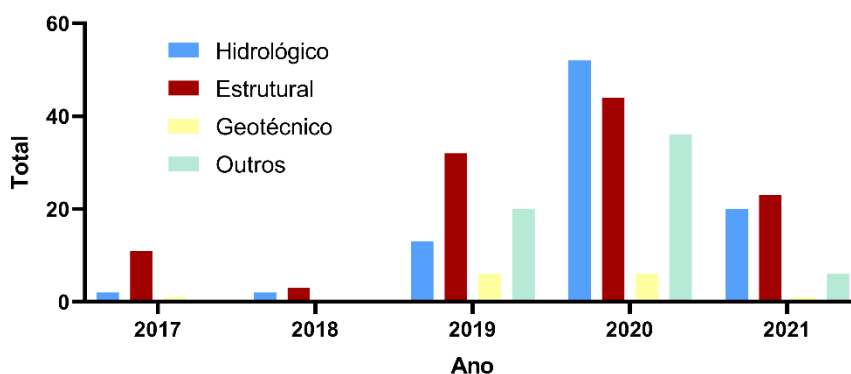
Figura 8. Quantidade de acidentes e incidentes por estado e ano.



Ao analisar os eventos de acidentes e incidentes agrupados por causa (Figura 9), verifica-se que há uma concentração de casos de caráter “hidrológico” e “estrutural”, seguido da categoria “outros”, quando o acidente ou incidente não se encaixa nas demais categorias. Já o “geotécnico” fica bem abaixo dos demais. Isso indica que as principais causas de acidentes e incidentes são decorrentes

de vazões elevadas devido a índices pluviométricos, bem como por falta de manutenção nas barragens. Outro fator importante a ser levado em consideração são os reservatórios em cascata, pois um dano a montante, ocasionado por uma causa hidrológica ou estrutural, pode se propagar e impactar barragens a jusante, através de efeito “dominó”.

Figura 9. Acidentes e Incidentes por Causa – 2017-2021



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos neste estudo, é evidente a necessidade de um debate acerca da eficácia da legislação e da aplicação dos mecanismos de fiscalização das barragens no Brasil. A concentração significativa de barragens no estado do Rio Grande do Sul, juntamente com a falta de fiscalização determinada para muitas dessas estruturas, destaca a existência de muitas barragens que podem apresentar riscos. Além disso, a análise dos indicadores de risco e da existência de planos de segurança revela que a maioria das barragens possui graus médio a alto de risco e não possui planos de segurança. A ocorrência de acidentes e incidentes entre 2017 e 2021, principalmente nos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, indica a necessidade de medidas preventivas para evitar danos significativos. Portanto, é crucial que as autoridades competentes aprimorem suas práticas e adotem medidas para garantir a segurança das barragens e a proteção das comunidades afetadas. Somente por meio de um esforço conjunto será possível garantir a segurança dessas estruturas e evitar futuros desastres.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Proc. 141079/2022-3 e INCT ONSeadapta Proc. 406919/2022-4) e Projeto OUR-EYES (FAPESP 2022/07521-5; FACEPE PROJ-APQ-0392-22).

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). (2019). *Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas*. – Brasília: ANA, 2019.

_____. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). (2021). *Entenda o relatório de segurança de barragens: versão síntese / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico*. -- Brasília: ANA, 2021.

_____. Agência Nacional de Águas (Brasil). SNISB - Sistema de Segurança de Barragem. (2023). *Relatórios de Segurança de Barragens*. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/documentos-e-capacitacoes/rsb>. Acesso em 09 de jun. 2023.

ANM - Agência Nacional de Mineração. (2023). *Cadastro Nacional de Barragens 2023*. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>. Acesso em: 11 jun. 2023.

Brasil, 2010. Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. (2010). “*Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000*”. Diário Oficial da União. Brasília, DF.

Brasil, 2012. Resolução n. 144, de 10 de julho de 2012. (2012). “*Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997*”. Diário Oficial da União. Brasília, DF.

PERSECHINI, M. I. M.; FREITAS, P.; DE NYS, E.; NUNES, C. M. (2015). Grupo Banco Mundial. Série Água Brasil 11. “*SEGURANÇA DE BARRAGENS: ENGENHARIA A SERVIÇO DA SOCIEDADE*”. Brasília, DF, 2015.

SILVA, R. S. A. DA; MEDEIROS, A. B. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. P.; FREITAS NETO, O.; SANTOS JUNIOR, O. F. (2021). *Acidentes e incidentes em barragens brasileiras: uma análise dos dados disponíveis nos relatórios de segurança de barragens e da legislação vigente*. HOLOS, v. 6, p. 1–17, 30 set. 2021.