

IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS EM BARRAGENS DE FUNDAÇÕES ARENÍTICAS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS BARRAGENS DOS PORCOS (BREJO SANTO– CE) E JABURU I (UBAJARA–CE)

Francisco Kleison Santiago Mota¹; César Ulisses Vieira Veríssimo¹;
Carla Beatriz Costa de Araújo¹; Joel Pedrosa Sousa¹; Rafael Mota de Oliveira²;
Filipe Maciel de Moura de Moura¹.

1 – Universidade Federal do Ceará. E-mail: mail1 : geokleison@yahoo.com.br. Mail2: cesarulisses85@gmail.com.
Mail3: carlabeatriz@ufc.br. Mail4: joelppedrosa1@gmail.com. Mail5: filipemaciel92@yahoo.com

2 - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH. E-mail: Rafaelmotaego@gmail.com

Resumo: Tendo como objetivo realizar uma análise, sob a ótica geológica e geotécnica, de fundações em arenito nas barragens Porcos (Brejo Santo) e Jaburu I (Ubajara/Tianguá), ambas localizadas no estado do Ceará. A análise baseia-se em documentos técnicos, fontes públicas especializadas (SRH/CE, COGERH, ANA/PNSB) e literatura científica, abordando o contexto geológico regional, o histórico de anomalias geotécnicas, as intervenções executadas e o marco regulatório vigente (Leis nº 12.334/2010 e nº 14.066/2020). Mapas temáticos e seções esquemáticas subsidiam a discussão sobre os mecanismos de percolação e os processos de erosão interna em maciços areníticos. Os resultados destacam a importância da instrumentação contínua, manutenção sistemática e gestão integrada de riscos, com recomendações para inspeção, drenagem e tratamento de fundações.

Palavras-chave – Barragens; Arenito; Percolação.

Abstract: This study aims to conduct a geological and geotechnical analysis of sandstone foundations at the Porcos (Brejo Santo) and Jaburu I (Ubajara/Tianguá) dams, both located in the state of Ceará. The analysis is based on technical documents, specialized public sources (SRH/CE, COGERH, ANA/PNSB), and scientific literature, addressing the regional geological context, the history of geotechnical anomalies, the interventions carried out, and the current regulatory framework (Laws No. 12.334/2010 and No. 14.066/2020). Thematic maps and schematic sections support the discussion on percolation mechanisms and internal erosion processes in sandstone masses. The results highlight the importance of continuous instrumentation, systematic maintenance, and integrated risk management, with recommendations for inspection, drainage, and foundation treatment.

Keywords – Dams; Sandstone; Seepage.

1. INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas fundamentais para o armazenamento de água, geração de energia e controle de rejeitos. A escolha adequada da fundação é determinante para a segurança e longevidade dessas obras (ICOLD, 2017). O arenito, amplamente presente no território brasileiro, oferece desafios técnicos devido à sua heterogeneidade e comportamento geomecânico variável.

Este estudo tem como objetivo analisar anomalias geotécnicas observadas nas barragens Porcos e Jaburu I, ambas fundadas em unidades de arenito, visando aprimorar os protocolos de avaliação, manutenção e segurança estrutural.

Dentre os tipos de rocha utilizados como fundação, o arenito destaca-se pela ampla ocorrência em território brasileiro, mas também pelos desafios técnicos decorrentes de sua heterogeneidade e comportamento geomecânico variável (Nieble; Guidicini; Mello, 2021).

O arenito é uma rocha sedimentar clástica composta por grãos de quartzo, feldspato e fragmentos líticos, cimentados por sílica, car-

bonato ou argila. Suas propriedades, como porosidade, permeabilidade e resistência, variam conforme o grau de consolidação e o tipo de cimento. (Nieble; Guidicini; Mello, 2021). Casos como a Barragem de Barra Bonita (SP) e o rompimento da PCH Apertadinho (RO) evidenciam a importância de investigações geológico-geotécnicas rigorosas e de soluções de engenharia para mitigar riscos.

Por sua natureza sedimentar o arenito, é constituído pela compactação de grãos de areia cimentados por minerais como sílica, carbonato de cálcio ou óxidos de ferro (Santos, 2020). A diversidade na composição mineralógica influencia diretamente propriedades fundamentais, tais como porosidade, permeabilidade e resistência mecânica.

Um dos primeiros registros no Brasil de barragem com fundação em arenito, é a barragem de Barra Bonita (SP), cujos estudos se iniciaram em 1952 e a obra foi concluída em 1963. Como aponta Nieble et al. (2021), atualmente encontram-se catalogadas aproximadamente 85 barragens com fundação em arenito (Figura 1).

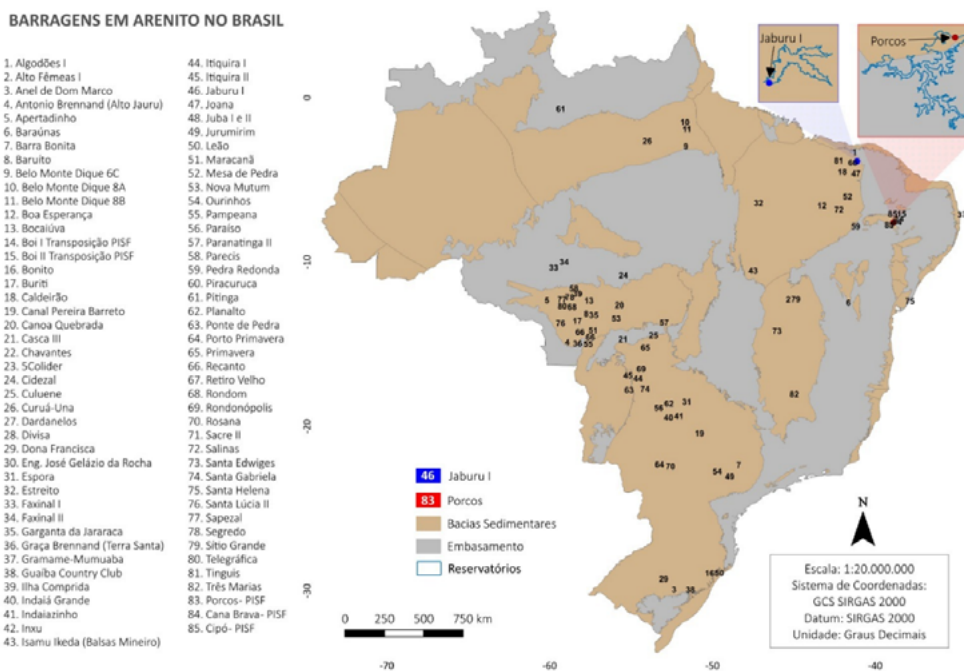


Figura 1. Ocorrência de Barragens com Fundação em Arenito no Brasil. Fonte: Adaptado Nieble et al (2021).

A compreensão do comportamento do arenito sob a ação da pressão hidrostática e das cargas provenientes da estrutura da barragem é fundamental para a prevenção de recalques diferenciais, processos de infiltração e eventuais colapsos (Pastore e Freitas Júnior, 2022). A análise aprofundada dessas características não constitui apenas uma exigência técnica, mas representa um compromisso profissional com a segurança e a integridade da obra.

A construção de barragens sobre formações geológicas complexas, como o arenito, representa um desafio significativo. Suas propriedades físicas e mecânicas podem comprometer a integridade da estrutura, causando infiltrações, erosões internas e, em casos extremos, rupturas catastróficas (Silva et al., 2018).

Desta forma, é possível inferir que a antecipação dessas anomalias é a medida mais adequada,

sendo essa estabelecida por meio de investigação geológica-geotécnica rigorosa, classificação do maciço rochoso, tratamentos de fundo de fundação, projetos de drenagem, instalação de instrumentos de monitoramento e planos de manutenção permanente são essenciais.

Dito isto, este artigo tem como objetivo analisar anomalias observadas em duas barragens com fundações em arenito, situadas no estado do Ceará: Jaburu I e Porcos, visando aprimorar os protocolos de avaliação e manutenção.

A Barragem dos Porcos localiza-se em Brejo Santo–CE (Figura 1), integrando as infraestruturas associadas ao Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), com papel estratégico no abastecimento regional e na condução de vazões no Eixo Norte.

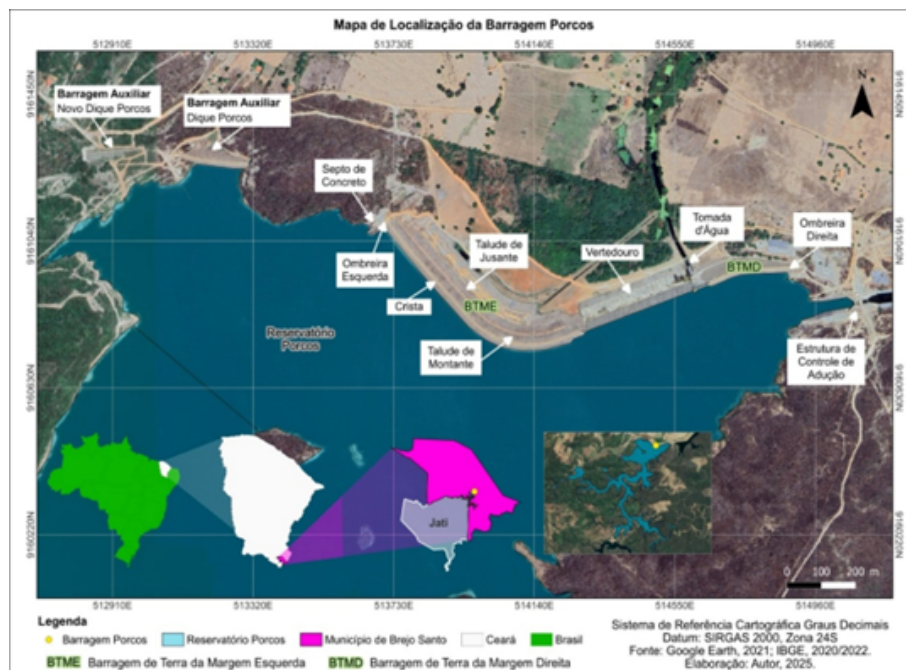


Figura 2. Localização da Barragem Porcos.
 Fonte: elaborado pelo autor a partir de ANA.

A Barragem Jaburu I está situada na região de Ubajara (Figura 3), no estado do Ceará, e apresenta um histórico consolidado de operação, com registros de intervenções voltadas ao controle de percolação em fundações constituídas

por arenito. Essas ações estão amplamente documentadas em relatórios técnicos da SRH/COGERH, bem como na literatura acadêmica especializada, evidenciando a atenção contínua às condições geológico-geotécnicas da estrutura.

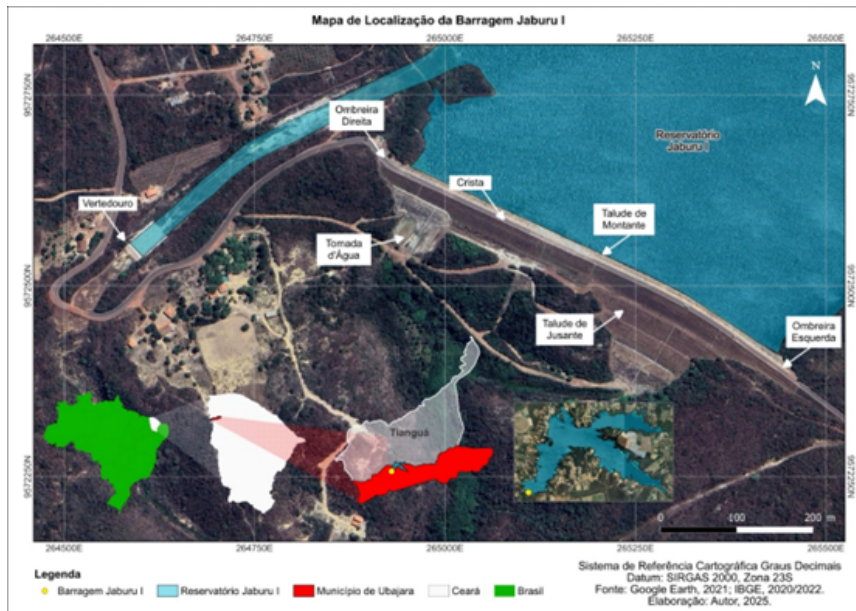


Figura 3. Localização da Barragem Jaburu I.

Fonte: elaborado pelo autor a partir de SRH/ANA/COGERH.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada envolveu:

- Levantamento de dados técnicos e históricos das barragens Porcos e Jaburu I.
- Consulta a relatórios da SRH/CE, COGERH e ANA.

- Classificação das anomalias geotécnicas observadas.
- Caracterização geológica das fundações.
- Análise das intervenções executadas e dos instrumentos de monitoramento instalados.

3. RESULTADOS

Conforme aponta Balieiro (2023) e Pastore e Freitas Júnior (2022), entre as principais anomalias e por consequência desafios observados em barragens fundadas em arenitos, destacam-se:

- a) infiltrações e vazamentos, decorrentes de fraturas e zonas de alteração que facilitam o fluxo d'água;
- b) piping ou erosão interna, resultante da percolação preferencial ao longo de descontinuidades;

- c) instabilidade de taludes, associada à presença de planos de fraqueza e material alterado; e
- d) recalques diferenciais, provocados pela compressibilidade de arenitos brandos ou pouco cimentados.
- Desta forma, de modo

3.1. Barragem Porcos

- A Barragem Porcos Localizada em Brejo Santo-CE, a Barragem Porcos integra o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). Possui 1.348 m de extensão e altura máxima de 30 m. A fundação em arenito apresentou, já no primeiro ano de operação, surgências e áreas saturadas, indicando percolação.



Figura 4. Vista Aérea da Barragem Porcos.
 Fonte: MIDR – Projeto de As Built (2022).

A Barragem Porcos totalizou 5 anos de operação no ano de 2025, após o primeiro ano em operação, foram identificadas regiões anômalas, associadas à presença de surgências e áreas com saturação excessiva, indicando possíveis processos de percolação na fundação.

Buscando observar de forma preventiva o surgimento de anomalias e, conseqüentemente viabilizar seu monitoramento contínuo, foram

realizadas inspeções de campo periódicas, acompanhadas da elaboração de relatórios mensais e internos pelo consórcio operador. Paralelamente, foi feito o acompanhamento sistemático do comportamento dos instrumentos instalados nas estruturas das barragens, cuja avaliação ocorreu semanalmente.

As anomalias identificadas concentram-se em regiões críticas da barragem, como ombreiras,

faixa de segurança e áreas lindeiras, exigindo atenção técnica contínua. Do ponto de vista legal e técnico, os resultados e interpretações referentes à segurança estrutural da barragem estão formalmente registrados na Inspeção de Segurança Regular (ISR).

As principais anomalias identificadas foram:

- Surgência na região do morrote.
- Saturação próxima aos poços de alívio da margem esquerda.
- Surgência junto ao canal de restituição do vertedouro.
- Saturação próxima ao acesso à galeria do vertedouro. Medidas corretivas incluíram instalação de medidores de vazão, inspeções periódicas e monitoramento instrumental

semanal. A análise sugere que parte das anomalias decorre da ineficiência do sistema de drenagem e do subdimensionamento dos poços de alívio.

Na estrutura em questão, foram identificadas quatro regiões com ocorrência de anomalias, localizadas nos seguintes pontos do empreendimento (Figura 5):

- 1) região do morrote;
- 2) próximo dos poços de alívio da margem esquerda;
- 3) lado esquerdo do canal de restituição do vertedouro e;
- 4) próximo ao acesso para a galeria do vertedouro.

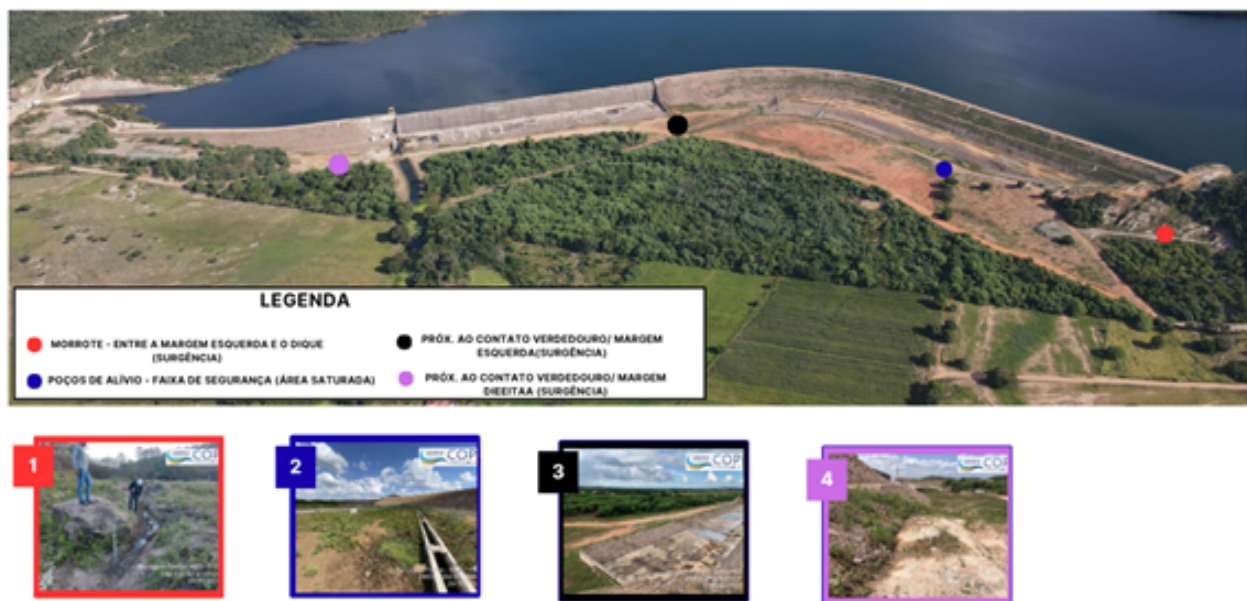


Figura 5. Anomalias Identificadas na Barragem Porcos
 Fonte: Consórcio Operador do PISF (2025)

Nas regiões anômalas (3 e 4), foram instalados medidores de vazão complementares, vazão complementares para monitoramento específico das condições de percolação. Já nas regiões 1 e 2, as anomalias permanecem em estado de observação, uma vez que, até o momento, não

evoluíram para situações de fluxo ativo ou condições que demandem intervenção imediata.

O acompanhamento contínuo dessas áreas inclui registros fotográficos e inspeções técnicas regulares (Figura 6).

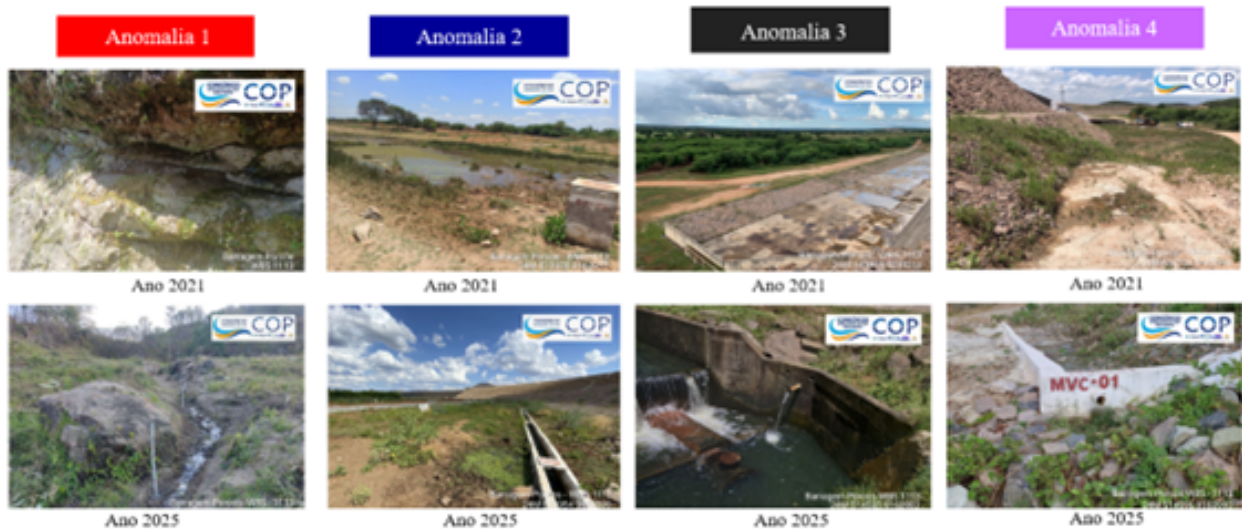


Figura 6. Histórico das Anomalias Identificadas na Barragem Porcos
 Fonte: Consórcio Operador do PISF (2025)

Logo em seu primeiro ano operação, a barragem Porcos, apresentou situações anômalas associadas, principalmente deve estar entre vírgulas neste caso, às condições do arenito presente na fundação. Entre os registros iniciais, destacam-se surgências localizadas na região do morrote e nas proximidades do acesso à galeria do vertedouro.

Além dessas, foram identificadas outras duas anomalias relevantes: uma área saturada na região dos poços de alívio da margem esquerda e uma ocorrência de saturação acompanhada de possível surgência nas imediações do canal de restituição do vertedouro, junto à margem esquerda da barragem. Neste último caso, a distinção entre saturação e surgência não pôde ser feita com precisão, devido à presença de enrocamento no canal e à distância entre o ponto de medição de vazão e a área afetada.

As duas primeiras anomalias identificadas ocorrem de forma evidente na faixa de jusante da barragem, diretamente associadas ao maciço de arenito que compõe a fundação. A segunda anomalia, em particular, pode estar relacionada a dois fatores distintos: o primeiro refere-se à possível ineficiência no escoamento do tapete drenante em direção aos medidores de vazão 2 e 3, previstos no projeto executivo e responsáveis por captar a contribuição do sis-

tema de drenagem; o segundo fator diz respeito à insuficiência no número de poços de alívio instalados, sugerindo um possível equívoco no dimensionamento original.

Em relação a anomalia 3, há forte indicação de que esteja vinculada a processos de percolação pela fundação, uma vez que sua manifestação ocorre no maciço de arenito, especificamente na região adjacente ao canal de restituição do vertedouro, próximo à zona de dissipação revestida com enrocamento.

3.2 Barragem Jaburu I

Situada entre Ubajara e Tianguá-CE, a Barragem Jaburu I possui 770 m de extensão e estrutura em aterro zonado. Desde 1983, foram registradas diversas anomalias, como fissuras, surgências e cavidades.

A barragem de Jaburu I é uma estrutura em aterro zonado, com extensão de 770 metros, coroamento na cota 720,20 m (COGERH, 2021).

O talude de jusante tem uma inclinação de 1:2.0 e três bermas às cotas 709,20m, com 6 m de largura; 698,20m com 4 metros de largura e um corpo de coroamento de pé a cota de 687,20m, com 15 metros de largura e 13 metros de altura, até o terreno natural (COGERH, 2021).



Figura 7. Vista Aérea da Barragem Jaburu I.
Fonte: COGERH (2023).

Para a Barragem Jaburu I, com base em análise de documentos disponibilizados pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), documentos esses essencialmente foram os

PSB's (Plano de Segurança de Barragens) do ano de 2021. Foi possível entender uma linha histórica de eventos e intervenções associado ao aparecimento de anomalias na mesma.



Figura 8. Histórico das Anomalias Identificadas na Barragem Jaburu I.
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da COGERH (2021).

A Barragem Jaburu I passou por inúmeras intervenções estruturais ao longo de sua vida útil, devido a vários tipos de manifestações anômalas observadas em diferentes períodos, com destaque as seguintes.

- Injeções de calda de cimento (1988, 1992, 1993, 2009, 2016, 2019).
- Estabilização e drenagem do canal do vertedouro.
- Reforço da fundação com cortinas de impermeabilização.
- Instalação de filtros invertidos e retaludamento.

As ações demonstraram eficácia na contenção de processos de percolação e na preservação da estabilidade estrutural.

A primeira ocorrência significativa foi registrada em 1983, quando fissuras e um abatimento de aproximadamente 0,5 m foram identificados no coroamento da estrutura, especificamente na zona do vale principal, após um evento de enchente. Essa ocorrência revelou a fragilidade do maciço e motivou ações corretivas emergenciais.

Em meados de 1988, foi iniciada uma sequência sistemática de intervenções na barragem, com o objetivo de mitigar processos de percolação e reforçar a integridade do maciço rochoso de fundação. A primeira medida consistiu na execução de uma campanha de injeção para impermeabilização da fundação, visando reduzir a permeabilidade e melhorar o desempenho geotécnico da estrutura.

No ano 1992, um novo episódio de surgência na ombreira esquerda, com vazão de 47 l/s, ressaltou a importância de intensificar os trabalhos de tratamento do contato maciço da barragem- fundação. Como resposta técnica, foi realizada uma segunda intervenção, envolvendo a aplicação de injeções de calda de cimento e a execução de sondagens rotativas nos trechos compreendidos entre as estacas 27+12 m e 29+8 m.

Em 1993, foi realizada a terceira intervenção, com foco no reforço do tratamento de fundação, estabilização e drenagem da estrutura, além da impermeabilização e consolidação do canal do sangradouro, especialmente nas Zonas de Intervenção 3 e 4. Posteriormente, em 2002, foram identificados mais de quatro pontos de surgência a jusante da barragem, com vazão total estimada em 26 L/s, o que motivou a adoção de medidas corretivas voltadas à contenção da percolação e à preservação da estabilidade da fundação.

Em 2009, foi executada a quarta intervenção, envolvendo serviços de reparo em cavidades e sumidouros localizados no canal de aproximação do vertedouro. Na sequência, foi realizada a quinta intervenção, que consistiu no reforço da fundação por meio da execução de cortinas de injeção a partir da crista da barragem, visando melhorar a impermeabilidade e a resistência do maciço rochoso.

Entre os anos de 2016 e 2019, observou-se uma redução na frequência das intervenções, com destaque para a sexta intervenção, que consistiu na aplicação de calda de cimento na ombreira esquerda, em resposta à ocorrência de fuga de água. A sétima intervenção, por sua vez, envolveu injeções de calda de cimento e argamassa na região a jusante da barragem, visando reforçar a impermeabilização e a estabilidade da fundação.

Em 2021, novas avaliações técnicas identificaram um acúmulo expressivo de sedimentos no ponto de medição MV-4. Como medida corretiva, foi recomendada a execução de um retaludamento a montante do medidor de vazão, seguido da instalação de um filtro invertido na interface entre o talude e o medidor, com o objetivo de melhorar o desempenho hidráulico e evitar obstruções. Ainda nesse mesmo ano, foi orientada a realização de inspeções e ações de recuperação nos tubos associados à descarga de fundo, visando garantir a funcionalidade e segurança do sistema.

4. CONCLUSÕES

Com base nos levantamentos técnicos, inspeções históricas e análises geológico-geotécnicas realizadas nas barragens Jaburu I e Porcos, conclui-se os seguintes pontos:

- Fundações em arenito demandam atenção contínua devido à sua variabilidade e sensibilidade à saturação.
- Instrumentação geotécnica é essencial para a gestão de riscos e tomada de decisão.
- Intervenções como injeções, drenagens e retaludamentos são eficazes na contenção de anomalias.
- A manutenção sistemática e o monitoramento integrado são determinantes para a segurança operacional.
- O marco legal brasileiro (Leis nº 12.334/2010 e nº 14.066/2020) orienta boas práticas de gestão e responsabilização técnica.
- Recomenda-se manter Planos de Ação Emergencial (PAE) e mapas de inundação atualizados.
- Fichas de inspeção adaptadas às características locais contribuem para a padronização das avaliações.
- A capacitação técnica e a integração institucional são pilares para a gestão eficiente de barragens em litologias complexas.

Por fim, destaca-se a importância da capacitação contínua das equipes técnicas, da integração entre instituições gestoras e da valorização da memória técnica dos empreendimentos como pilares para a gestão eficiente de barragens com fundações em litologias complexas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às instituições públicas cujos acervos e documentos forneceram base técnica para este estudo (SRH/CE, COGERH, ANA e PISF) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF): monitoramento e O&M (apresentações 2022–2025). Disponível em: gov.br/ana. Acesso em: set. 2025.

BALIEIRO, N. M. Classificação geomecânica de maciços rochosos para implantação de barragem: estudo de caso da Barragem Belém de São Francisco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334/2010 e dá outras providências.

COBA. Relatórios de inspeção e recuperação da Barragem Jaburu I (1998–2004).

COGERH. Relatórios técnicos sobre a Barragem Jaburu I (2010–2012). Fortaleza, CE.

NIEBLE, C. M.; GUIDICINI, G.; MELLO, L. G. de. Barragens em arenitos brandos no Brasil. São Paulo: ABGE, 2021.

PASTORE, E. L.; FREITAS Jr., M. de S. Geotecnia de barragens em arenitos. São Paulo: ABGE, 2022.

SOUSA, L. N. Monitoramento/Recuperação da Fundação da Barragem Jaburu I. Dissertação (Mestrado), UFC, 2014.

SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará. Notas e informes sobre operação de reservatórios (2025).