

GESTÃO DO RISCO EM BARRAGENS COM INDÍCIO DE RUPTURA IMINENTE: LIÇÕES APRENDIDAS COM O CASO DA BARRAGEM IPANEMA I

Anna Elis Paz Soares

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, PE, Brasil
anna.elis@ufpe.br

Alexson Caetano da Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, PE, Brasil
alexsoncaetano@hotmail.com

Amanda Rafaely Monte do Prado

Universidade de Pernambuco – UPE
Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE, Brasil
armp@poli.br

Fernandha Batista Lafayette

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, PE, Brasil
ufpe.fernandha@gmail.com

Simone Rosa da Silva

Universidade de Pernambuco – UPE
Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, PE, Brasil
simonerosa@poli.br

RESUMO

O estudo apresenta o caso da Barragem Ipanema I durante situação de emergência, destacando as medidas tomadas para prevenção de ruptura e as lições aprendidas através da ótica do empreendedor. A metodologia consistiu na análise do impacto da cheia no barramento, elaboração de mancha de inundação para simulação de rompimento, monitoramento e articulação interinstitucional, definição e execução de solução emergencial. Verificou-se que a ocorrência de precipitações acima da média, associada ao rompimento de um barramento à montante, gerou o escoamento que provocou danos à estrutura da barragem Ipanema I. A simulação de rompimento estimou os tempos de chegada da onda de cheia que atingiria 81 imóveis ribeirinhos. Mediante tais informações, as defesas civis atuaram no acompanhamento e proteção às famílias potencialmente afetadas. Em paralelo, a articulação com diversos órgãos nas esferas governamentais possibilitou definir e executar a solução da recuperação emergencial, que consistiu na recuperação dos pontos de infiltração e da área erodida do talude, e na elevação do muro lateral da bacia do vertedouro. Por fim, o estudo de caso da Barragem Ipanema I em muito contribuiu para fomentar a aplicação da Política de Segurança de Barragens, especialmente em situações adversas que requerem agilidade para minimização de riscos.

Palavras-chave: Segurança de Barragens. Empreendedor. Situação de emergência.

RISK MANAGEMENT IN DAMS WITH EVIDENCE OF IMMINENT FAILURE: LESSONS LEARNED FROM THE CASE OF THE IPANEMA I DAM

ABSTRACT

The study presents the case of the Ipanema I Dam during an emergency situation, highlighting the measures taken to prevent failure and the lessons learned from the entrepreneur's perspective. The methodology consisted of analyzing the impact of the flood on the dam, designing a flood spot to simulate a rupture, monitoring and inter-institutional articulation, definition and execution of an emergency solution. It was found that the occurrence of above-average rainfall, associated with the rupture of an upstream dam, generated the flow that caused damage to the structure of the Ipanema I dam. The rupture simulation estimated the arrival times of the flood wave that would reach 81 riverside

properties. Based on this information, the civil defenses acted to monitor and protect potentially affected families. In parallel, the articulation with different governmental spheres made it possible to define and execute the emergency recovery solution, which consisted of the recovery of the infiltration points and the eroded area of the slope, and the elevation of the side wall of the spillway basin. Finally, the case study of the Ipanema I Dam contributed greatly to fostering the application of the Dam Safety Policy, especially in adverse situations that require agility to minimize risks.

Keywords: Dam Safety. Entrepreneur. Emergency situation.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi instituída no Brasil através da Lei Federal nº 12.334, de 2010, atualizada pela Lei nº 14.066, de 2020, sendo aplicada a barramentos para fins de acumulação de água ou de resíduos industriais e de disposição temporária ou final de rejeitos, desde que as mesmas apresentem altura superior a 15m, capacidade do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³, categoria de dano potencial associado médio ou alto, categoria de risco alto ou armazenem resíduos perigosos (BRASIL, 2010, 2020a).

Segundo Menescal (2009), os acidentes com barramentos no país se relacionam com o grau de importância direcionado a gestão de segurança de barragens, que se caracterizava pela ausência de critérios e padrões. De fato, só no ano de 2004, estima-se que ocorreram mais de 400 incidentes e acidentes com barragens, em todo território nacional, dos quais a incapacidade das estruturas suportarem os eventos hidrológicos ocorridos foi uma causa recorrente.

Em inventário realizado em 600 pequenas barragens na República Checa, a capacidade insuficiente do vertedouro foi observada em 45% dos casos. Essa baixa capacidade de vertedouros e de barragens mais antigas reflete o pouco conhecimento sobre hidrologia da época de sua concepção. Ou ainda, a capacidade do vertedouro também pode ser considerada inadequada devido ao maior nível de segurança hidráulica exigido atualmente, do que a cheia de verificação levada em consideração quando a barragem foi projetada (RIHA, 2019).

Desse modo, a PNSB tem como um de seus objetivos o fomento da cultura de segurança de barragens, bem como de sua gestão de riscos. A legislação também estabeleceu definições importantes, como as figuras do empreendedor, que é definido como a pessoa física ou jurídica que detenha o direito de operação da barragem e do respectivo reservatório, ou, subsidiariamente, àquele com direito real sobre as terras onde a barragem se localize, se não houver quem os explore oficialmente, e do fiscalizador, o qual é variável em função da finalidade do barramento (BRASIL, 2010, 2020a).

Ademais, a referida Lei apresenta instrumentos para garantia da segurança dos barramentos, tais como sua classificação por categoria de risco e dano potencial associado. Ambas apresentam as classes “alto”, “médio” ou “baixo”, sendo a primeira relacionada às características técnicas, estado de conservação e atendimento ao Plano de Segurança de Barragem (PSB); e a segunda, com o potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da estrutura (BRASIL, 2010).

Em Pernambuco, para as barragens com finalidade de acumulação de água construídas em corpos hídricos de domínio da União, a Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA exerce a função de fiscalizador, caso da barragem Ipanema I, objeto desse estudo. Para os barramentos sob sua fiscalização, os empreendedores devem obedecer a Resolução ANA nº 236/2017 (ANA, 2017), que regulamenta procedimentos a serem cumpridos quanto ao PSB, Inspeção de Segurança Regular (ISR), Inspeção de Segurança Especial (ISE), Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB) e o Plano de Ação de Emergência (PAE), em conformidade com os artigos 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334/10 (BRASIL, 2010, 2020a).

Para as barragens construídas em corpos hídricos de domínio do Estado de Pernambuco, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) é o órgão fiscalizador, tendo iniciado as ações relativas à PNSB em 2012, com a cobrança aos empreendedores pelo seu cumprimento, a partir da identificação das barragens que se enquadravam na legislação (ROSAL; OLIVEIRA FILHO; MONTENEGRO, 2019). Em 2016, foi emitida a Resolução APAC nº 02/2016 (APAC, 2016), que estabeleceu diretrizes

para a ISR de barragem, em conformidade com o art. 9º da Lei Federal, e definiu as penalidades. No ano seguinte, a APAC emitiu a Resolução nº 03/2017 (APAC, 2017), que estabeleceu diretrizes não apenas para a ISR, mas também para o PSB, a ISE, a RPSB e o PAE, em consonância com a legislação federal. Além disso, a mesma revogou a Resolução APAC nº 02/2016.

Conforme dados disponibilizados no Relatório de Segurança de Barragens do ano de 2020, em Pernambuco existiam 434 barragens, das quais 251 apresentavam características que se enquadravam nos critérios da PNSB (ANA, 2021). Rosal, Oliveira Filho e Montenegro (2019) apontam que o Estado possui um grande número de barramentos em função de sua escassez hídrica e que, devido ao preenchimento incompleto da ficha cadastral da barragem, muitas delas são classificadas como sujeitas à PNSB. Desse modo, os autores estimam que aproximadamente 70% das barragens possuem capacidade de acumulação inferior a 3 hm³ e poderiam não ser enquadradas na legislação.

Entretanto, embora apresentem reservatórios com volumes menores, os pequenos barramentos também necessitam de uma gestão adequada, uma vez que sem projeto, construção e manutenção realizadas de forma correta, os mesmos podem causar danos significativos à população, à propriedade e ao meio ambiente (MENESCAL, 2009).

Em 1977, no estado da Geórgia, nos Estados Unidos, o rompimento da barragem privada Kelly Barnes, com apenas oito metros de altura, resultou na morte de 38 pessoas (MENESCAL, 2009; WISHART et al., 2020). Em 1982, no estado do Colorado, o rompimento da barragem de Lake Lawn, que também apresentava oito metros de altura e acumulava 0,83 hm³, causou o afogamento de três pessoas e um prejuízo financeiro de U\$31 milhões (MENESCAL, 2009).

Em Burkina Faso, na África Ocidental, ocorrem de um a dez rompimentos de pequenas barragens por ano. No país, em 2011, foram identificadas 1.001 pequenas barragens, cujas características gerais correspondem ao fato de serem constituídas de aterro de terra majoritariamente compactado e terem altura inferior a 15m acima do leito do rio (NACANABO e KABORÉ, 2019).

Na República Tcheca, nas últimas décadas, mais de vinte pequenas barragens foram rompidas durante eventos de inundações extremas. Por serem de menor tamanho, admite-se uma aparente menor importância e menores consequências para essas estruturas, as quais sofrem com projetos inadequados, supervisão técnica deficiente durante a construção e manutenção insuficiente. Além de proprietários com conhecimento insuficiente e que não realizam as ações necessárias para manter a segurança das barragens sob sua responsabilidade (RIHA, 2019).

A barragem Ipanema I, objeto de estudo deste artigo, apesar de ser de pequeno porte, conforme critério proposto pelas Normas Francesas e pelo Boletim ICOLD nº 157 e adotado pela ANA (ANA, 2016a), poderia causar impactos relevantes caso viesse a romper.

Ainda, cabe ressaltar que apesar da PNSB ter sido aprovada em 2010, a fiscalização da sua aplicação tem sido mais efetiva nos últimos dois anos, especialmente após o rompimento de barragens do setor de mineração que causaram desastres ambientais com repercussão internacional. Nesse sentido, também se destaca a importância das relações interinstitucionais, que contribuem positivamente para a tomada de decisões relacionadas a segurança de barragens. Em 2019, a ação integrada da ANA, da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH, da Superintendência de Obras Hidráulicas - SOHIDRA e da Prefeitura Municipal de Ubajara, no estado do Ceará, foi fundamental para as intervenções emergenciais realizadas na barragem Granjeiro, visando reduzir seu risco de ruptura (SALGADO et al., 2019).

As relações interinstitucionais tornam-se ainda mais relevantes quando as barragens se localizam em corpos d'água que são compartilhados por mais de um estado, ou seja, em bacias interestaduais. Conforme Relatório do Banco Mundial acerca das estruturas regulatórias para segurança de barragens em âmbito global, nesses casos, podem ocorrer divergências nos regimes legais de cada estado, implicando em padrões e responsabilidades diferentes. Assim, visando a segurança das barragens e comunidades a jusante, é essencial o estabelecimento de um nível mínimo de coordenação entre os estados envolvidos (WISHART et al., 2020).

Nesse contexto, objetiva-se apresentar o estudo de caso da Barragem Ipanema I, localizada no estado de Pernambuco, durante situação de emergência, destacando as medidas tomadas para prevenção de ruptura e as lições aprendidas através da ótica do empreendedor da barragem.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa, de natureza aplicada, traz uma abordagem qualitativa e exploratória acerca da gestão de risco em situação de emergência, aplicada ao estudo de caso da Barragem Ipanema I. Os dados foram levantados junto à Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA), através da sua Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SERH). Primeiramente, foi realizada a caracterização da Barragem e do seu histórico, desde sua construção até o momento da ruptura. Em seguida, foi realizada análise das ações tomadas pela SEINFRA para gestão de risco durante o período em que a barragem Ipanema I foi classificada com NPGB Emergência - nível de resposta 3 (vermelho) (ANA, 2016b), a saber:

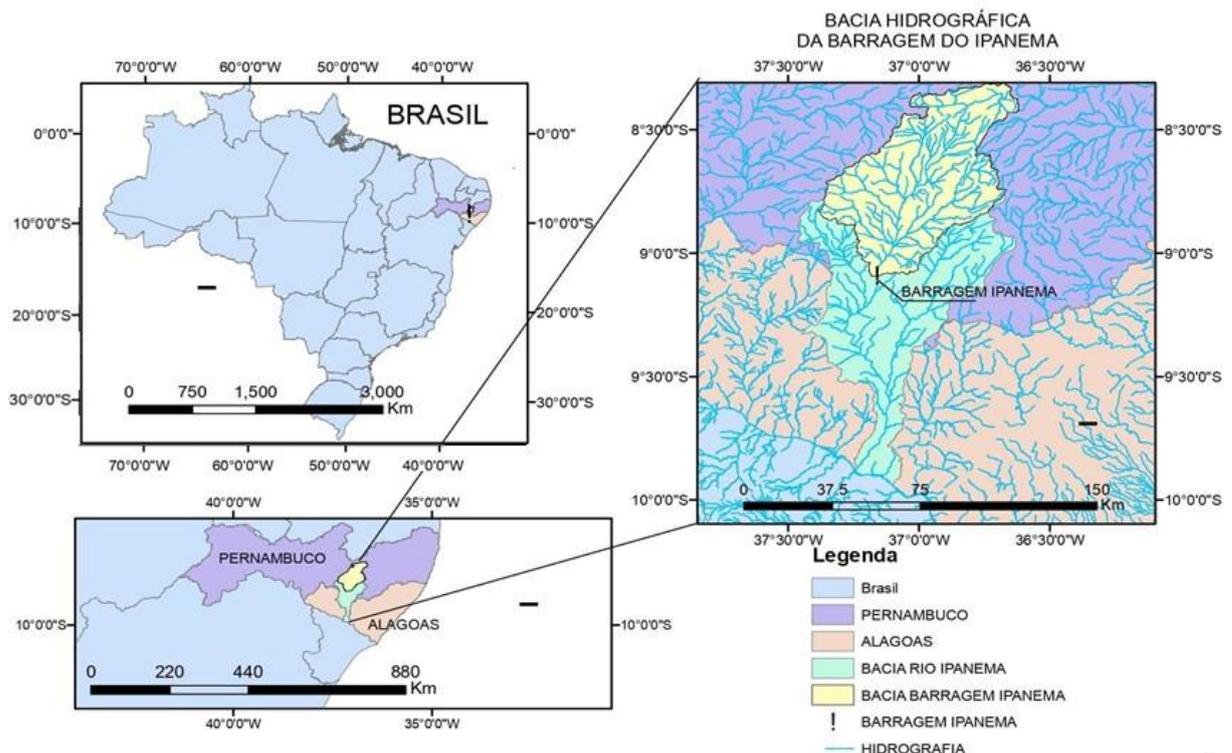
- Análise do impacto da cheia na estrutura do barramento.
- Simulação de rompimento através da elaboração de mancha de inundação.
- Monitoramento e articulação interinstitucional.
- Definição de solução emergencial.
- Realização dos serviços e encerramento da emergência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização e histórico da barragem Ipanema I

A bacia hidrográfica do rio Ipanema, que faz divisa com o Estado de Alagoas, tem sua porção norte no Estado de Pernambuco (coordenadas entre 8° 18' 04" e 09° 23' 24" de latitude Sul e 36° 36' 28" e 37° 27' 54" de longitude Oeste), conforme Figura 1. Apresentando uma área de 6.209,67 km², sua nascente se situa no município de Pesqueira, a uma altitude média correspondente a 950m, e seu deságue é no rio São Francisco. Ao todo, são 23 municípios nos estados de Alagoas e Pernambuco que estão total ou parcialmente inseridos dentro da bacia do rio Ipanema, representada na Figura 1.

Figura 1 - Águas Belas (PE): Localização das bacias do rio Ipanema e barragem Ipanema I, 2020.



Fonte - IBGE, 2020. Elaboração – Os autores, 2021.

A bacia hidrográfica da barragem está localizada na porção norte da bacia do rio Ipanema e encontra-se totalmente inserida no Estado de Pernambuco, entre as mesorregiões Semiárida e Agreste. A bacia apresenta uma área de 3.265 km², abrangendo 11 municípios pernambucanos, em sua totalidade ou parcialmente. O curso d'água percorre aproximadamente 117 km até chegar no lago do reservatório da barragem Ipanema I.

A barragem Ipanema I, localizada no município de Águas Belas, foi projetada pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco (DER-PE) e construída em 1970, ano de grande estiagem no semiárido nordestino, como parte integrante da implantação da rodovia estadual PE-300, trecho Águas Belas-Itaíba. Com recursos subsidiados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), a obra traria duplo benefício para a região: aumento da reserva hídrica no combate às severas e prolongadas secas na região e incremento do sistema de transporte, melhorando o nível de serviço da rodovia. A ponte de 120 m de extensão encontra-se construída sobre o sangradouro do barramento.

Construída há 50 anos, antes da criação da Lei de Segurança de Barragens e dos próprios organismos de regulação ambiental e de gestão de recursos hídricos do Estado de Pernambuco, a exemplo da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e APAC, a barragem não possui acervo técnico disponível nos arquivos do DER-PE.

Atualmente, perante a Agência Nacional de Águas e Saneamento, a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco, através da Secretaria Executiva de Recursos Hídricos, é o empreendedor da barragem. Todavia, a Secretaria não faz uso da água represada. A partir das visitas e inspeções técnicas realizadas, foram identificados usos para dessedentação animal, piscicultura, irrigação e lazer. Segundo a população local, existe conflito entre os usuários de montante e jusante, o que ocasionou a depredação do dispositivo de descarga de fundo, possivelmente durante um período de estiagem acentuada. O mau estado das saídas de fundo foi identificado como uma situação recorrente em cerca de 40% dos 600 pequenos barramentos que foram avaliados na República Checa (RIHA, 2019).

A barragem Ipanema I também não possuía Conselho de Usuários (CONSU) constituído, conforme definido pela Lei nº 12.984/2005 (PERNAMBUCO, 2005), que são chamados de Conselhos Gestores, os CONSU's são colegiados constituídos para atuar na área de influência de um reservatório ou microbacia e são uma importante ferramenta para a gestão, principalmente nas regiões Agreste e do Sertão, onde os rios são intermitentes e a água disponível é acumulada nos açudes e barragens para atender diversos usos.

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens de 2019, a barragem Ipanema I foi classificada com Dano Potencial Associado - DPA Alto e Categoria de Risco Médio (ANA, 2020). No primeiro trimestre de 2019, foi realizada a ISR no empreendimento, conforme estabelecido na PNSB. Na ocasião, o Nível de Perigo Global da Barragem foi classificado como Alerta, devido às fissuras e degradação no vertedouro, na bacia amortecedora e nos muros laterais. Essa classificação motivou a Secretaria a realizar ISE com profissionais especialistas, além de iniciar processos para contratação de projeto de recuperação para a barragem e elaboração do PSB e PAE.

Cabe ressaltar a dificuldade que os órgãos públicos encontram para contratação de especialistas para realização dessas inspeções, uma vez que é necessária uma equipe multidisciplinar e que o custo desses profissionais é elevado. A ISE foi realizada na primeira semana de 2020 e manteve o NPGB em Alerta. No entanto, entre os dias 29 e 31 de março do mesmo ano, foi registrada a ocorrência de eventos excepcionais na bacia, que provocaram a acentuação das anomalias anteriormente identificadas e a emissão da Declaração de Início de Emergência da barragem.

A cheia de 31 de março de 2020 foi decorrente de fortes precipitações ocorridas entre os dias 29 e 30 de março de 2020, como é apresentado na Tabela 1, que apresenta as chuvas registradas em um período de 24 horas, para postos da bacia hidrográfica da barragem Ipanema I, sendo as informações coletadas às 9:00h (horário de Brasília) do dia 30 de março de 2020, junto à APAC (APAC, 2020).

Tabela 1 - Águas Belas (PE): Precipitações da bacia hidrográfica da barragem Ipanema I em 30 de março de 2020.

Posto	Chuvas ocorridas em 24h em 30/março (mm)	Média climatológica de março (mm)	Percentual de 30/março em relação à média do mês
Águas Belas PCD	66,6	74,9	89%
Buíque	126,0	118,0	107%
Venturosa (IPA)	40,0	112,3	36%
Saloá	45,0	87,6	51%
Iati	48,1	73,9	65%
Itaíba (IPA)	49,0	93,8	52%
Alagoinha (IPA)	102,0	68,1	150%
Tupanatinga (IPA)	61,0	109,2	56%
Pesqueira (IPA)	29,0	93,4	31%

Fonte - APAC, 2020. Elaboração – Os autores, 2021.

Pode-se observar que o percentual da precipitação diária em relação à média climatológica possui valores elevados para todos os postos analisados, chegando a 150% do previsto para o mês no posto Alagoinha (IPA), em apenas 24 horas.

Um fato importante é que há registros nas mídias sobre o rompimento de um barramento situado à montante da Barragem Ipanema I, conhecido como Barragem Zumbi, localizado no município de Arcoverde (RABELO, 2020). De fato, no RSB 2020, há o registro desse acidente, informando, ainda, que o conjunto dos eventos extremos de março e do rompimento da Barragem Zumbi provocaram cheias na bacia do rio Ipanema (ANA, 2021). Assim, em consonância com o exposto, infere-se que o grande volume de precipitação em toda a bacia, associado à ruptura de uma barragem a montante, gerou o escoamento com capacidade de provocar sérios danos à estrutura de Ipanema I. Assim, deve-se levar em consideração também que a geometria do canal de aproximação da barragem, em cheias excepcionais, pode resultar em vórtices e turbilhões que aceleram a erosão da estrutura.

Análise do impacto da cheia na Barragem Ipanema I

Após a cheia de 31 de março e o alerta da Prefeitura Municipal de Águas Belas para a situação da barragem, a primeira etapa consistiu em realizar avaliação para entendimento técnico dos impactos do evento na estrutura da barragem Ipanema I. A vistoria constatou uma erosão significativa no talude de jusante, próximo à ombreira direita da ponte, caracterizando anomalia do tipo grande, que comprometia a segurança da barragem, com probabilidade de rompimento. Diante do quadro observado, foi emitida Declaração de Início de Emergência em 03 de abril de 2020.

Cabe ressaltar que, nesse mesmo período, o Governo Federal havia colocado o país em estado de calamidade pública em razão da pandemia do coronavírus. Como medida para conter a expansão do vírus, muitas cidades suspenderam por completo ou parcialmente as viagens interestaduais e implantaram medidas de distanciamento social. Com esse quadro estabelecido, não foi possível que especialistas pudessem conduzir inspeção especial na barragem. Todavia, como havia sido realizada inspeção há apenas três meses, foi possível consultar à distância os profissionais que conheciam o histórico da barragem e os mesmos apoiaram a declaração de emergência.

A observação do estado da barragem pós-cheia não foi suficiente para a compreensão do que, de fato, havia ocorrido nos momentos mais críticos (com as maiores vazões). As equipes técnicas da SERH e da ANA, em conjunto, analisaram vídeos produzidos durante o evento, o que permitiu discernir o que de fato ocorreu e, a partir daí propor soluções. Verificou-se que durante o galgamento

o fluxo da água não seguia o curso natural do rio à jusante da barragem. Devido à forte turbulência e, possivelmente, a pouca profundidade para a vazão na calha, o fluxo passava por cima do muro lateral e retornava erodindo a ombreira direita no talude de jusante, portanto, as infiltrações que pareciam estar atravessando o maciço da barragem, na verdade foram causadas pelo fluxo à jusante.

Na Declaração de Início de Emergência constou como ação a ser executada a interdição da PE 300 no trecho correspondente a crista do barramento, incluindo a ponte sobre a estrutura do vertedouro, mas a mesma estava sujeita a avaliação do DER-PE. Após avaliação de técnicos do órgão, foi realizada a intervenção das extremidades da ponte e a definição de rotas alternativas. O trecho liga a cidade de Águas Belas a Itaíba, sendo muito importante no escoamento da produção da bacia leiteira da região, e ficou interditado por seis dias, tendo sido liberado em 11 de abril de 2020.

A cheia também acarretou danos ao sistema de energia elétrica da CHESF, se fazendo necessários reparos em linhas de transmissão situadas próximas às margens do rio Ipanema, à jusante da barragem Ipanema I. Com a possibilidade de ruptura da mesma, foi necessária a interrupção dos serviços nas linhas de transmissão, cujas torres encontravam-se dentro da mancha de inundação. Houve o desligamento de cinco linhas de transmissão de alta tensão, sendo duas linhas de 500 kV e três de 230 kV, causando um prejuízo ao atendimento energético dos estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, todos na região Nordeste do país. A CHESF utilizou os dados da mancha de inundação e elaborou estratégia que permitisse a execução dos serviços de recuperação das linhas, mesmo que os serviços emergenciais na barragem Ipanema I não tivessem sido iniciados. Em 17 de abril, todas as linhas já haviam sido restabelecidas.

A liberação da rodovia e os trabalhos da CHESF foram possíveis a partir da instauração do monitoramento diário e do grupo de trabalho formado pelos órgãos envolvidos, onde as informações poderiam ser compartilhadas com rapidez. Além disso, havia sido constatado o rebaixamento do nível no reservatório, a redução da percolação através da erosão e não havia previsão de novas chuvas de intensidade significativa na região.

Algumas comunidades a jusante da barragem haviam sido atingidas pela enchente do Rio Ipanema no dia 30 de março de 2020. Essas famílias tiveram que deixar suas residências por conta do risco de rompimento da barragem. Mesmo com a ausência de um Plano de Contingência específico, as defesas civis municipais agiram rapidamente e fizeram o acompanhamento necessário a 18 famílias (50 pessoas) em Águas Belas e 12 famílias (41 pessoas) em Itaíba, que aguardaram o fim da situação de emergência para retornarem a suas casas.

Para manter as pessoas longe das áreas de risco da barragem Ipanema I, sejam aquelas que residem nas margens do rio ou que a utilizam para atividade de pesca ou lazer, a Defesa Civil e a Prefeitura Municipal de Águas Belas emitiram notas informando a todos sobre os perigos. As referidas notas foram veiculadas em diferentes plataformas, tais como rádios, carros de som, blogs e redes sociais.

Especificamente quanto ao risco de rompimento da barragem Ipanema I, foi definido um esquema de “rota de fuga” para a população de risco, equipes de assistência foram deslocadas para a região e foi realizado um trabalho de sensibilização e distribuição de panfletos, uma vez que a comunidade estava sem energia elétrica, pois as redes haviam sido danificadas pela cheia.

Simulação de rompimento - mancha de inundação

Foram elaborados mapas da inundação gerada pelo possível rompimento da barragem e estimativas de tempo para impacto nas diversas comunidades a jusante utilizando o modelo HEC-RAS 2D. O modelo considerou a descarga de pico do hidrograma do modelo de ruptura mais provável de 638,00 m³/s, cujo mecanismo de ruptura seria por galgamento do reservatório. O período de propagação da cheia foi de 49,5 horas e a extensão simulada foi de 56km. A malha considerada foi a quadrada com 20 m de lado e o modelo possuiu 826.885 células. Para a simulação, foi considerado ainda o coeficiente de manning de 0,030. Para melhor precisão nas simulações foi adotado o modelo não permanente de escoamento com um passo de tempo de 15 minutos. Os resultados do modelo foram verificados com modelos simulados pelos técnicos da ANA.

A mancha de inundação foi confeccionada como uma forma de gerir as áreas que poderiam ser atingidas por uma possível ruptura do barramento e proteger a população que pudesse ser atingida

por essa nova onda de cheia. Essa estimativa foi imprescindível para que a CHESF pudesse desenvolver o planejamento e retomada das obras de recuperação das linhas de transmissão e para que as defesas civis dos municípios possivelmente afetados pudessem planejar as ações com as famílias em área de risco.

Uma vez que a cheia ocorreu antes que os Planos de Segurança e de Ação de Emergência estivessem prontos, destaca-se que a ausência do PAE, por parte do empreendedor, e do Plano de Contingência (PLANCON), por parte dos municípios afetados, não foi impeditivo para a mobilização das defesas civis municipais, evidenciando a relevância da rápida comunicação entre os órgãos e a divulgação das informações técnicas da situação da barragem.

De acordo com o estudo realizado do modelo de rompimento da barragem, a onda de cheia atingiria populações ribeirinhas dos municípios de Itaíba e Águas Belas, em Pernambuco, e dos municípios de Poço das Trincheiras, Olivença e Santana do Ipanema, em Alagoas. Além disso, o modelo indicou que 81 imóveis seriam alcançados pela propagação da onda de cheia. Outro importante resultado do modelo da mancha de inundação foram as estimativas de tempo de chegada da onda de cheia a partir do rompimento da barragem, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Águas Belas (PE): Estimativa de tempo de chegada da onda de cheia, 2020.

Local	Distância da Barragem (km)	Tempo de Chegada de Onda	Tempo de Para o Pico	Vazão de Pico (m ³ /s)
Barragem	0	0	19 min	631
Subestação da CHESF	10,0	30 min	1h 46min	206
Povoado Quantu	18,2	1h 50min	3h 51min	165
Poço das Trincheiras/AL	29,4	2h 50min	6h 3min	157
Santana do Ipanema/AL	38,6	4h 13min	7h 28min	155

Fonte - Os autores, 2020.

Esses dados ajudaram as defesas civis estaduais e municipais e a CHESF no planejamento das ações de mobilização, em um eventual rompimento da estrutura do reservatório.

Monitoramento e articulação interinstitucional

Após a emissão de Declaração de Início de Emergência pela SEINFRA, foi criado um grupo de monitoramento da crise com a coordenação da ANA, enquanto órgão fiscalizador, e participação de representantes de várias instituições. Além da SEINFRA, participaram: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL); Defesa Civil nacional, de Pernambuco, de Alagoas e dos municípios de Itaíba, Águas Belas e Santana do Ipanema; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN); e Agência Pernambucana de Águas e Clima. Ainda, houve a participação de representantes do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), CHESF e dos Ministérios Públicos Estaduais e Federais.

Em março, o Governo do Estado de Pernambuco já havia decretado “Estado de Calamidade Pública” em função da pandemia do COVID-19 (coronavírus), através do Decreto nº 48.833, de 20 de março de 2020 (PERNAMBUCO, 2020a), em consonância com o reconhecimento do Congresso Nacional mediante Decreto Legislativo nº 06, de 20 de março de 2020 (BRASIL, 2020b). Assim, reuniões presenciais com mais de 10 pessoas estavam proibidas, bem como, estava sendo recomendado evitar viagens intermunicipais. Como agravante, as medidas restritivas foram intensificadas pelo Governo do Estado de Pernambuco no mês de maio, devido ao aumento do número de casos da doença, culminando com a restrição da circulação de veículos e pessoas em municípios da região metropolitana de Recife, a partir do Decreto nº 49.017, de 11 de maio de 2020 (PERNAMBUCO,

2020b). Com isso, todas as reuniões entre as instituições supracitadas foram realizadas por meio de videoconferência.

No total, foram realizadas dez reuniões semanais por videoconferência para discutir as medidas a serem adotadas para a barragem e monitorar a situação do empreendimento, cenários de ruptura e acompanhamento hidrometeorológico da região. O primeiro encontro aconteceu em seis de abril e o último ocorreu em 29 de maio. As videoconferências permitiram a participação de diversos órgãos nas reuniões de monitoramento, inclusive do Ministério Público, que pôde acompanhar a definição das ações estratégicas para garantir a segurança da população. A integração com as defesas civis também se mostrou relevante, uma vez que a decisão em encerrar a situação de emergência foi tomada em conjunto com os órgãos, levando em consideração não apenas a condição estrutural da barragem, mas também a conjuntura do trabalho social realizado pela defesa civil.

Durante todo período de emergência, foi realizado o monitoramento diário do nível da água no reservatório. Para tanto, foram realizadas ações para instalação de réguas linimétricas e estações automáticas de monitoramento de níveis d'água na bacia do rio Ipanema, visando aperfeiçoar o gerenciamento de eventuais novas situações semelhantes de cheia ou emergências com barragens futuramente.

O monitoramento pluviométrico também foi realizado diariamente na bacia, bem como a previsão meteorológica pela APAC. O monitoramento foi realizado permanentemente através de imagens de satélites e, quando eram identificadas massas de ar passíveis de gerar precipitação volumosa na área da bacia hidrográfica da Barragem Ipanema I, imediatamente a informação era compartilhada com os participantes do Grupo de Monitoramento para ficarem de sobreaviso para possíveis ações necessárias à evacuação da população.

A SERH também realizou o monitoramento da estrutura do barramento com o apoio da defesa civil municipal de Águas Belas. Após o início das obras emergenciais, foram emitidos relatórios diários sobre o avanço das obras até sua conclusão e encerramento da emergência.

Definição de solução emergencial

Após tratativas com o consultor especialista em barragens, foi gerado um relatório técnico final com especificações técnicas para correção de anomalias e minimização dos riscos de ruptura. A solução adotada consistiu em três ações principais: recuperação dos pontos de infiltração do concreto da ombreira direita, através da aplicação de concreto projetado com microfibras e malha Telcon; recuperação da área erodida do talude de jusante, com preenchimento de enrocamento e implantação de filtro invertido; e elevação do muro lateral da bacia do vertedouro, a fim de evitar novas ocorrências de *galgamento* durante eventos hidrológicos extremos. Para tanto, foi necessária a demolição parcial da ogiva do vertedouro, objetivando acelerar o rebaixamento do reservatório. Com a conclusão da primeira ação, há previsão para recuperação da mesma, a fim de restabelecer sua configuração geométrica inicial.

Salienta-se que devido ao caráter emergencial da situação, foi fundamental definir a solução em um curto período de tempo, sem minimizar a importância das discussões técnicas. Nesse sentido, é importante ressaltar que na ocasião da Declaração de Emergência, a elaboração do projeto executivo de recuperação da barragem Ipanema I encontrava-se com processo licitatório em andamento, portanto, fez-se necessário diferenciar o que seria realmente urgente para evitar o rompimento da barragem e o que poderia ser adiado para realizar na execução do projeto definitivo.

A contratação para realização da obra emergencial ocorreu através de dispensa de licitação fundamentada no inciso IV do art. 24 da Lei de Licitações e Contratos Administrativos, por ser uma situação emergencial e/ou de calamidade pública. O referido inciso da Lei nº 8.666/1993 (BRASIL, 1993) caracteriza que é dispensável a licitação:

Nos casos de emergência ou de calamidade pública, quando caracterizada urgência de atendimento de situação que possa ocasionar prejuízo ou comprometer a segurança de pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens, públicos ou particulares, e somente para os bens necessários ao atendimento da situação emergencial ou calamitosa e para as parcelas de obras e serviços que possam ser concluídas no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias consecutivos e ininterruptos, contados da ocorrência da emergência ou calamidade, vedada a prorrogação dos respectivos contratos (BRASIL, 1993, Art. 24).

Os recursos para execução das obras de engenharia foram assegurados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR, a qual participou ativamente das reuniões de monitoramento, seguindo os procedimentos definidos pela Portaria MI nº 624, de 23 de novembro de 2017 (BRASIL, 2017).

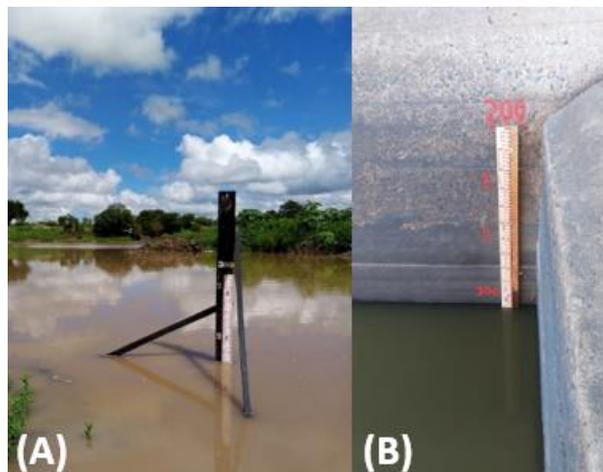
As ações de prevenção que se enquadram na referida portaria, de caráter mitigador, de urgência e celeridade, são realizadas antes do desastre, destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade desses com ações essencialmente estruturais. Abrangem a implantação de obras de engenharia, com o objetivo de estabilizar uma área com potencial de causar danos à comunidade afetada (BRASIL, 2017). Sendo assim, o MDR transferiu recursos para o Estado de Pernambuco no valor de R\$ 211.059,89 (BRASIL, 2020c), para execução da obra, visando promover a redução da vulnerabilidade da população à jusante do barramento, através da recuperação das estruturas comprometidas da barragem.

Faz-se necessário ressaltar a importância de contar com especialistas na área de barragens, principalmente para empreendedores da esfera pública, onde se sabe da dificuldade de ter em seu quadro próprio profissionais especialistas nas áreas de concreto, estrutura, geotecnia e projeto de barragens, bem como para contratar equipe técnica qualificada, uma vez que os recursos são limitados e essa é uma mão de obra de custo elevado.

Execução da obra emergencial e encerramento da situação de emergência

Conforme diário de obras, a obra emergencial da barragem Ipanema I teve início efetivo em 05 de maio de 2020. Durante todo o período da obra foi realizado o monitoramento diário do nível do reservatório. Inicialmente, através da régua linimétrica instalada no reservatório e, após a diminuição do nível do mesmo, por meio de nova régua instalada junto à face de montante do vertedouro (Figura 2).

Figura 2 - Águas Belas (PE): (A) Régua linimétrica instalada no reservatório; (B) nova régua instalada na face montante do vertedouro, 2020.



Fonte - Acervo dos autores.

Além disso, ocorreram três visitas de fiscais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, representando a ANA, uma vez que neste período não foi possível o deslocamento de técnicos da ANA ao local da Barragem devido à pandemia, e uma visita do diretor da CPRM.

A conclusão da execução dos serviços (Figura 3) ocorreu em 30 de maio de 2020, restando apenas a cura do concreto até 05 de junho do mesmo ano. Nessa data, realizou-se uma vistoria final na obra e não foram identificadas anomalias ou surgências no filtro invertido/enrocamento da erosão no talude de jusante. Destaca-se que o encerramento dos serviços ocorreu em prazo inferior ao estabelecido

no cronograma inicial, que previa a conclusão da obra em 18 de junho de 2020. Desse modo, evidenciava-se o empenho e compromisso da SERH para a execução da obra e, conseqüente, diminuição dos riscos de ruptura da barragem Ipanema I.

Figura 3 - Águas Belas (PE): (A) Recuperação dos pontos de infiltração com concreto projetado; (B) filtro invertido executado na área erodida; (C) elevação do muro lateral, 2020.



Fonte - Acervo dos autores.

CONCLUSÕES

Através da experiência relatada no presente artigo, buscou-se destacar as ações tomadas pela SEINFRA, enquanto empreendedora da barragem Ipanema I, e as lições aprendidas a partir da situação de emergência decorrente da cheia ocorrida no final de março de 2020. No momento em que a barragem passou de alerta para emergência, os Planos de Segurança e de Ação de Emergência da Barragem, além do projeto de recuperação da estrutura, ainda estavam em processo de elaboração. Somado a esse fato, o estado de Pernambuco já havia decretado estado de calamidade pública em função da pandemia do Covid-19, o que resultou em limitação de recursos e dificuldades de locomoção da equipe técnica.

Nesse contexto, visando a prevenção de ruptura, foi realizada a análise do impacto da cheia na estrutura do barramento e a simulação de rompimento através da elaboração de mancha de inundação. A partir desses dados, a defesa civil organizou e executou as ações de resposta ao evento, visando garantir a segurança da população até que a situação de emergência tivesse sido encerrada. Em paralelo, a SEINFRA definiu a solução emergencial para recuperação da estrutura e minimização do risco de rompimento. Destacou-se, ainda, a relevância das relações interinstitucionais na busca de soluções práticas e prospecção de recursos para execução das mesmas. Essa articulação com diversos órgãos nas esferas municipal, estadual e federal, tornou possível a execução da obra de recuperação emergencial.

Por fim, essa experiência relatada contribuirá efetivamente no fortalecimento de novas discussões sobre a aplicação da Política de Segurança de Barragens, entre empreendedores e fiscalizadores, especialmente na atuação em situações adversas que requerem agilidade para minimização de riscos e proteção da população.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco, através de sua Secretaria Executiva de Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**. Brasília: ANA, 2016a. 66 p. (Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, 3).

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência** – PAE. Brasília: ANA, 2016b. 129 p. (Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, 4).

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório de Segurança de Barragens 2019**. Brasília: ANA, 2020. 103p.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. Brasília: ANA, 2021. 130p.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Resolução nº 02, de 22 de dezembro de 2016**. Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 e define penalidade. Recife: APAC, 2016. Disponível em: http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/pagina.php?page_id=3&subpage_id=7. Acesso em: 04 mai. 2020.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Resolução nº 03, de 28 de dezembro de 2017**. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB, além de revogar a Resolução nº 02/2016 DC APAC, de 22 de dezembro de 2016. Recife: APAC, 2017. Disponível em: http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/pagina.php?page_id=3&subpage_id=7. Acesso em: 04 mai. 2020.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Boletim Pluviométrico Diário - 2020**. Disponível em: http://www.sirh.srh.pe.gov.br/apac/meteorologia/boletins_pluviometricos_old.php. Acesso em: 30 mai. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano CXXXI, n. 116, p. 1, 22 junho 1993.

BRASIL. Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 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**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 181, p. 1, 21 setembro 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Portaria nº 624, de 23 de novembro de 2017. Define procedimentos a serem adotados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - Sedec/MI para as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de recuperação em áreas atingidas por desastres, disciplinadas pela Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012, pela Lei n. 12.340, de 1º de dezembro de 2010, e alterações posteriores, e pelo Decreto n. 7.257, de 4 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 154, n. 225-A, p. 66, 24 novembro 2017.

BRASIL. Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227,

de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 189, p. 3, 1 outubro 2020a.

BRASIL. Decreto Legislativo nº 06, de 20 de março de 2020. Reconhece, para os fins do art. 65 da Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000, a ocorrência do estado de calamidade pública, nos termos da solicitação do Presidente da República encaminhada por meio da Mensagem nº 93, de 18 de março de 2020. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 55-C, p. 1, 20 março 2020b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional/Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Portaria nº 1.558, de 29 de maio de 2020. Autoriza a transferência de recursos ao Estado de Pernambuco- PE, para a execução de ações de Defesa Civil. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 104, p. 16, 02 junho 2020c.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html> Acesso em: 28 jun. 2020.

MENESCAL, R. A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil** - Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. Tese de doutorado (Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

NACANABO, A.; KABORÉ, M. Small earth dam failure in Burkina Faso: the case of the Koumbri dam. In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]** Canadá: ICOLD, 2019. <https://doi.org/10.1201/9780429319778-171>

PERNAMBUCO. Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco**, Recife, PE, ano 82, n. 246, p. 3, c. 1, 31 dezembro 2005.

PERNAMBUCO. Decreto nº 48.833, de 20 de março de 2020. Declara situação anormal, caracterizada como “Estado de Calamidade Pública”, no âmbito do Estado de Pernambuco, em virtude da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus. **Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco**: Recife, PE, ano 97, n. 53, 21 março 2020a.

PERNAMBUCO. Decreto nº 49.017, de 11 de maio de 2020. Dispõe sobre intensificação de medidas restritivas, de caráter excepcional e temporário, voltadas à contenção da curva de disseminação da Covid-19. **Diário Oficial [do] Estado de Pernambuco**: Recife, PE, ano 97, n. 86, 12 maio 2020b.

RABELO, D. **Barragem de Zumbi, em Arcoverde rompe e atinge município em Alagoas**. Darciorabelo.com.br, 2020. Disponível em: <http://darciorabelo.com.br/noticia/barragem-de-zumbi-em-arcoverde-rompe-e-atinge-municipio-em-alagoas>. Acesso em: 20 set. 2020.

RIHA, J. Small embankment dams – benefits and problems. In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]**. Canadá: ICOLD, 2019. <https://doi.org/10.1201/9780429319778-66>

ROSAL, M. C. F.; OLIVEIRA FILHO, C. T.; MONTENEGRO, S. M. G. L. A lei de segurança de barragens e a fiscalização das barragens do Estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 33., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

SALGADO, A. R. T. et al. Análise do desempenho de intervenções estruturais na barragem localizada no rio Jaburu, no município de Ubajara/CE, visando reduzir os riscos de ruptura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 33., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

WISHART, M. J. et al. **Laying the foundations**: a global analysis of regulatory frameworks for the safety of dams and downstream communities. Washington: World Bank Groupe, 2020. 385 p. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1242-2>

Recebido em: 16/10/2021

Aceito para publicação em: 23/05/2022