

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Análise do desempenho de intervenções estruturais na barragem localizada no rio Jaburu, no município de Ubajara/CE, visando reduzir os riscos de ruptura

Sergio Ricardo Toledo Salgado¹ ; Othon Fialho de Oliveira² ; Helber Nazareno de Lima Viana³

Josimar Alves de Oliveira⁴; Marcus Vinícius Araújo Mello de Oliveira⁵ , Raimundo Quezado

Fernandes⁶ & Helton França Carneiro⁷

RESUMO – A Política Nacional de Segurança define que o empreendedor de barragem, o proprietário da barragem, é o responsável pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações e prover os recursos necessários para a garantia da segurança da barragem. No entanto, nos casos de omissão ou inação por parte do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar medidas com vistas à minimização de riscos e de danos potenciais associados à segurança da barragem. Dessa forma, apresenta-se o caso de uma barragem em que o talude de montante apresentou expressivo processo erosivo, que poderia ocasionar a ruptura do maciço. Devido a inação do empreendedor, foram realizadas intervenções emergenciais por parte da Agência Nacional de Águas (ANA) com auxílios de órgãos do Estado do Ceará (COGERH e SOHIDRA) e da Prefeitura Municipal de Ubajara. Dessa forma apresenta-se avaliação simplificada dessas intervenções do ponto de vista do desempenho hidrológico e hidráulico.

ABSTRACT– The National Security Policy defines that the dam entrepreneur, the owner dam, is responsible for the safety of the dam, being responsible for the development of actions and providing the necessary resources to guarantee dam safety. However, in cases of omission or inaction on the part of the owner dam, the enforcement agency may take measures to minimize risks and potential damages associated with dam safety. Thus, we present the case of a dam in the upstream face showed significant erosion process, which could result in rupture of dam.. Due to the inaction of the entrepreneur, emergency interventions were carried out by the National Water Agency (ANA) with aid from agencies of the State of Ceará (COGERH and SOHIDRA) and the Municipal Government of Ubajara. In this way a simplified evaluation of these interventions is presented from the point of view of hydrological and hydraulic performance.

Palavras-Chave – Segurança de Barragens, Intervenção e Redução de Risco

INTRODUÇÃO

¹) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, sergio.salgado@ana.gov.br

²) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, othon.oliveira@ana.gov.br

³) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, helber.viana@ana.gov.br

⁴) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, josimar.oliveira@ana.gov.br

⁵) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, marcus.oliveira@ana.gov.br

⁶) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, raimundo.quezado@ana.gov.br

⁷) Agência Nacional de Águas, Setor Policial, Área 5, Qd. 3, Blocos "N" - CEP: 70610-200, (61) 2109-5400, helton.carneiro@ana.gov.br

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010 define que o empreendedor, proprietário da barragem, é o responsável pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações e prover os recursos necessários para a garantia da segurança da barragem.

No entanto, a PNSB traz em seu texto que em situações de omissão ou inação por parte do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar medidas com vistas à minimização de riscos e de danos potenciais associados à segurança da barragem.

Diante desse contexto, apresenta-se o caso de uma barragem fiscalizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no estado do Ceará, que o talude de montante apresentou expressivo processo erosivo, que poderia ocasionar a ruptura do maciço.

Devido à ausência e consequente inação do empreendedor, foi necessário a realização de intervenções emergenciais com o objetivo de reduzir os riscos de ruptura. Para tanto, apresenta-se avaliação dessas intervenções, por meio de simulações hidrológicas, o comportamento do reservatório e do vertedouro auxiliar no caso de ocorrência de cheias.

CONTEXTUALIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

No dia 12 de março do ano corrente, a partir de comunicação transmitida à ANA pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) do estado do Ceará, foi verificado que no talude de montante da barragem Granjeiro se desenvolveu expressivo processo erosivo, que poderia ocasionar o rompimento do maciço, figuras 1 e 2.

A barragem já havia sido objeto de diversas autuações pela Fiscalização da ANA, por ausência de outorga de direito de uso de recursos hídricos e por descumprimento da Política Nacional de Segurança de Barragens.



Figura 1: Vista da barragem.



Figura 2: Detalhe da erosão.

A partir dessa constatação, entendeu-se que a barragem se encontrava em situação de emergência, o que nos termos da Resolução ANA nº 236/2017, significa situação que possa causar danos à integridade estrutural e operacional da barragem, à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

Desde então foram realizadas intervenções com apoio da Prefeitura Municipal de Ubajara e de órgãos do Estado do Ceará (COGERH e SOHIDRA), visando reduzir o risco de ruptura:

- As erosões no talude de montante foram estabilizadas com a colocação de sacos de areia (Figura 3). Esta foi uma medida emergencial provisória enquanto se define uma ação definitiva;
- Foi executado um vertedor auxiliar junto à ombreira direita da barragem para reduzir o nível do reservatório (Figura 4). A escavação do vertedor que permitiu o início do esvaziamento do reservatório. O fundo do canal e a soleira em sua entrada foram aprofundados, de modo a permitir o escoamento e o rebaixamento do nível d'água. Atualmente o fundo do canal está aproximadamente na cota 81,0 m, sendo que o material componente da margem esquerda do canal do vertedouro auxiliar apresenta elevada suscetibilidade à erosão, o que pode vir a comprometer a segurança da barragem;



Figura 3: Sacos de areia no local da erosão.



Figura 4: Escavação do vertedor auxiliar.

O efeito do início da operação do vertedor auxiliar na redução da carga hidráulica, do volume do reservatório e do rebaixamento do nível d'água em relação à crista pode ser visto na Figura 5. Tal efeito promoveu uma redução significativa do risco de ruptura e do dano potencial associado, na medida em que o volume do reservatório foi reduzido para cerca de 45% do volume associado a cota de operação do vertedor principal e o nível do reservatório foi rebaixado em posição inferior ao das erosões identificadas no talude de montante.

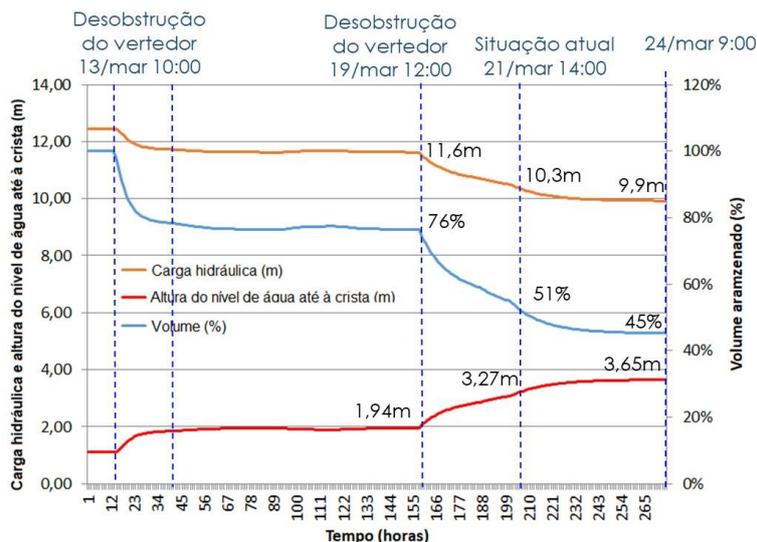


Figura 5: Efeito inicial da operação do vertedor auxiliar na redução da carga hidráulica e do volume do reservatório e no rebaixamento do nível d'água em relação à crista.

Tais intervenções foram executadas em caráter emergencial visando ao rebaixamento imediato do nível operacional do reservatório e a redução do risco de ruptura. Tais intervenções, necessitam ser avaliadas do ponto de vista do desempenho hidrológico e hidráulico.

Em consequência, se faz necessário avaliar o risco de falha dessas estruturas em função da ocorrência de cheias, bem como estudar alternativas para a mitigação de riscos existentes.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA BARRAGEM

A bacia hidrográfica da barragem Granjeiro (Figura 6) possui cerca de 83,5 km², sendo formada principalmente por dois afluentes, os Riachos Pituba e Jaburu.

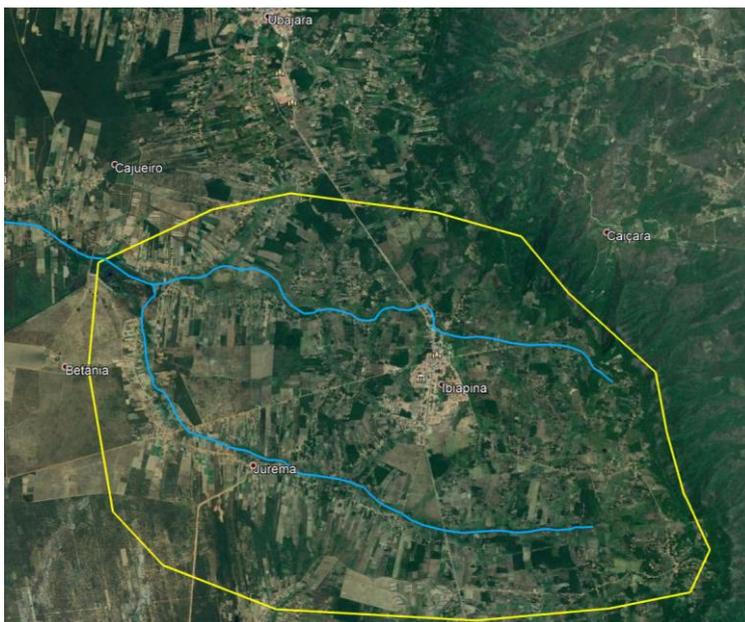


Figura 6: Bacia hidrográfica da barragem Granjeiro (Rio Jaburu).

As características construtivas da barragem são apresentadas na tabela 1, a Figura 7 apresenta o detalhe da seção transversal.

Tabela 1: Características construtivas da barragem Granjeiro.

<p>Dados gerais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altura: 13,56 m - Cota da crista: 86,0 m - Largura da crista: 6,0 m - Extensão da crista: 596,0 m - Capacidade: 2,9 hm³ - Material e configuração da seção tipo: Terra zonada, com tapete impermeável, cut-off, tapete drenante e dreno de pé 	<p>Estruturas de controle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de tomada d'água e descarga de fundo - Vertedor principal <ul style="list-style-type: none"> • Largura efetiva do vertedor principal: 38,0 m • Cota da soleira do vertedor principal: 83,5 m - Vertedor auxiliar (<u>em escavação</u>) <ul style="list-style-type: none"> • Largura efetiva do vertedor auxiliar: 11,0 m • Cota da soleira do vertedor auxiliar: 81,0 m
--	--



Figura 7: Esquema da seção transversal da barragem

METODOLOGIA DO ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÕES

Os estudos hidrológicos simplificados foram feitos nas seguintes etapas:

- Ajuste de modelo de distribuição de probabilidade de Gumbel aos valores máximos diários de precipitação da estação pluviométrica Ibiapina (cód. 00340018), a qual possui dados brutos observados no período de jan/1912 a fev/2019 (ver Figura 8);
- Estimativa das precipitações diárias máximas associadas a tempos de recorrência de 25, 50, 100, 200, 500 e 1000 anos, utilizando o modelo de distribuição de probabilidade ajustado;
- Desagregação da chuva diária máxima em intervalos a cada 10min até o limite de duração da chuva (200 min). A duração da chuva foi considerada igual ao tempo de concentração da bacia estimada pela equação de Kirpich;
- Obtenção do hietograma efetivo a partir da estimativa de perdas pelo método da Curva Número - CN do Soil Conservation Service. Foi feita uma análise de sensibilidade neste parâmetro e adotou-se o valor médio de CN=69 (Tipo de Solo "B" e uso "plantação") (TUCCI, 1997), o que corresponde a uma capacidade de armazenamento no solo de 114 mm;
- Transformação do hietograma efetivo e escoamento superficial pelo método do Hidrograma Unitário Triangular - HUT do Soil Conservation Service. A precipitação com duração de 200 min gerou um Hidrograma Unitário Triangular com cerca de 380 min para uma chuva unitária de 1 cm;
- Convolução do HUT considerando os hietogramas efetivos resultando nos hidrogramas de vazões afluentes (apresentados na Figura 09);

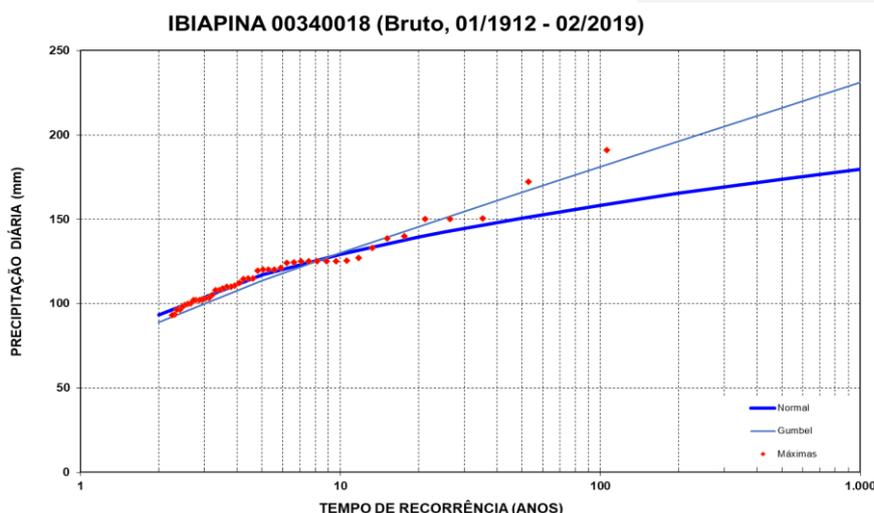


Figura 8: Ajuste de modelo de distribuição de probabilidade aos valores de precipitação máxima diária da estação Ibiapina.

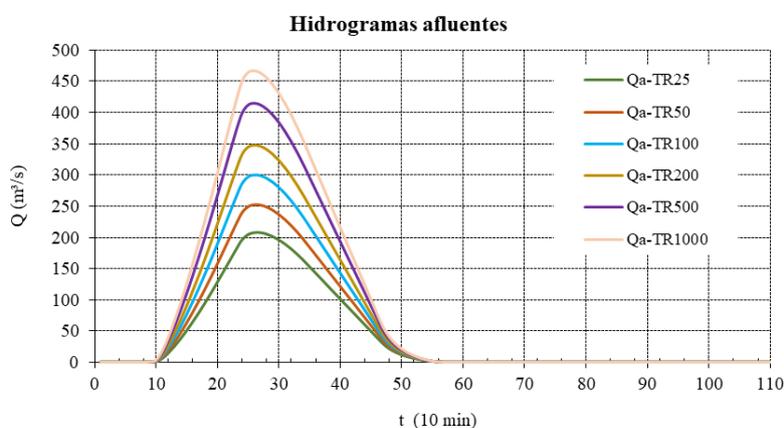


Figura 09: Hidrogramas afluentes à barragem para diferentes tempos de retorno.

Tabela 2: Precipitação total e efetiva e vazões afluentes para vários tempos de retorno.

TR (anos)	25	50	100	200	500	1.000
Precipitação total (mm)	102	113	123	133	147	157
Precipitação efetiva (mm)	33	40	47	54	65	73
Vazão máxima afluyente (m³/s)	208,05	253,04	299,83	348,27	414,55	466,16

- Simulação da propagação das cheias (routing) pelo método de Pulz, onde se avalia a capacidade dos dispositivos de descarga/vertimento e o desempenho do empreendimento;
- A partir do modelo de operação do reservatório construído, foram simulados cenários para avaliar o desempenho de intervenções visando reduzir os riscos associados a uma eventual ruptura da barragem, considerando:
 - Cenário 0: condições atuais (figura 10);
 - Cenário 1: alteração da geometria do vertedor auxiliar;
 - Cenário 1A: aprofundamento da soleira até a cota 79,50 m, mantendo-se a largura de 11 m (figura 11);

- Cenário 1B: alargamento até 15,0 m e mantendo-se a soleira na cota 81,0 m (figura 12);
 - Cenário 2 (figura 13): abertura mínima na barragem (“vertedor 3”), de forma que o pico da vazão gerada pela eventual ruptura da estrutura remanescente seja equivalente às vazões associadas a cheias naturais, especialmente à cheia associada a uma recorrência de 100 anos (após algumas simulações, atingiu-se a meta adotando uma abertura com 14,0 m de largura na cota 72,0 m);
- Na simulação de todos os cenários, foi avaliado o tempo em que o nível de água no reservatório ficaria acima da cota 84,0 m. Essa “restrição” visa estimar o tempo em que se verifica uma certa sobrecarga de água no vertedor auxiliar (cota da soleira atual em 81,0 m), com o objetivo posterior de avaliar a necessidade de execução de uma estrutura de contenção lateral;

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DAS ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÕES

Nas figuras 10 a 13 são apresentados os resultados das simulações.

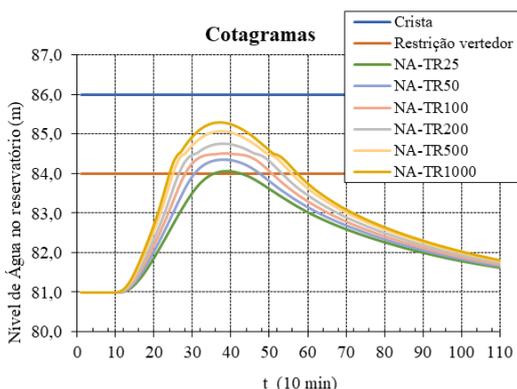


Figura 10: Cotagramas do nível de água no reservatório no cenário 0.

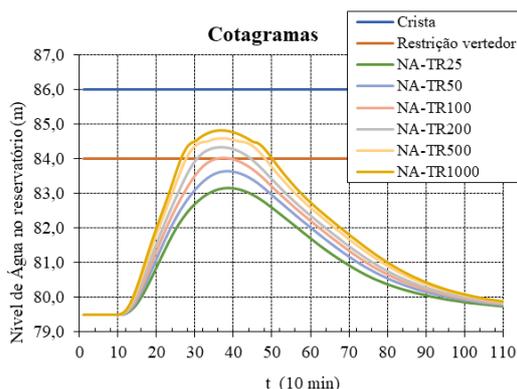


Figura 11: Cotagramas do nível de água no reservatório no cenário 1A.

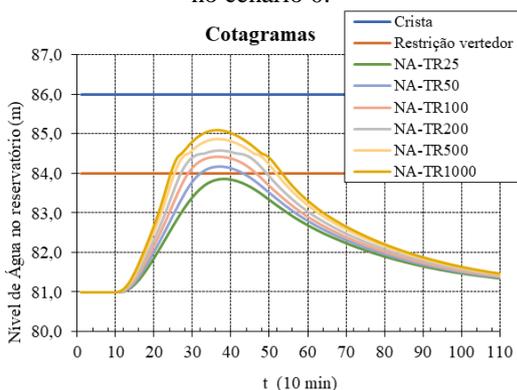


Figura 12: Cotagramas do nível de água no reservatório no cenário 1B.

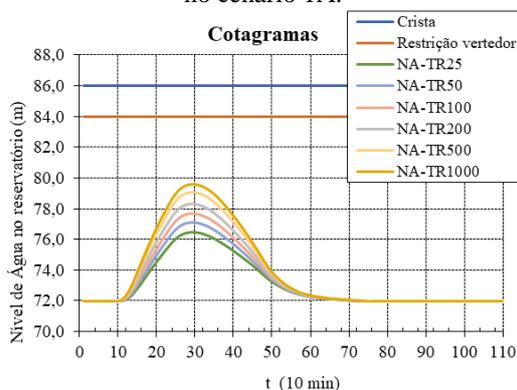


Figura 13: Cotagramas do nível de água no reservatório no cenário 2.

AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA DO IMPACTO DA RUPTURA DA BARRAGEM

Enquanto isso, para a modelagem da ruptura da barragem de Granjeiro, foi utilizado o modelo hidráulico HEC-RAS 5.0.6. Foram feitas as seguintes considerações:

- Barragem com Altura 13,56 m e com reservatório com capacidade igual 2,9 hm³;
- Considerou-se modo de ruptura por galgamento da barragem;
- Não existe levantamento topográfico ou modelo digital de terreno da área a jusante, por isso foi utilizado como fonte de dados o SRTM 1 Arc-Second Global para obter a cota altimétrica e declividade do canal. O SRTM que possui 30 metros de resolução espacial e com acurácia absoluta vertical de cerca de 6 metros e planimétrico próximo de 15 metros, utilizando um nível de confiança de 90%, de acordo com a National Map Accuracy Standard (NMAS) (FARR ET AL., 2007).
- Para o coeficiente de rugosidade foi adotado o valor 0,035 para o leito principal e 0,05 para as margens;
- Reservatório de Jaburu com o volume de 58,3 hm³ (41,33%), informação 22/03/2019;
- Para determinar a formação da brecha, optou-se por utilizar as equações do autor Froehlich (1998)
- Elaboração do Mapa de Inundação (figura 14) e identificação dos locais potencialmente atingidos utilizando as imagens do Google Earth;

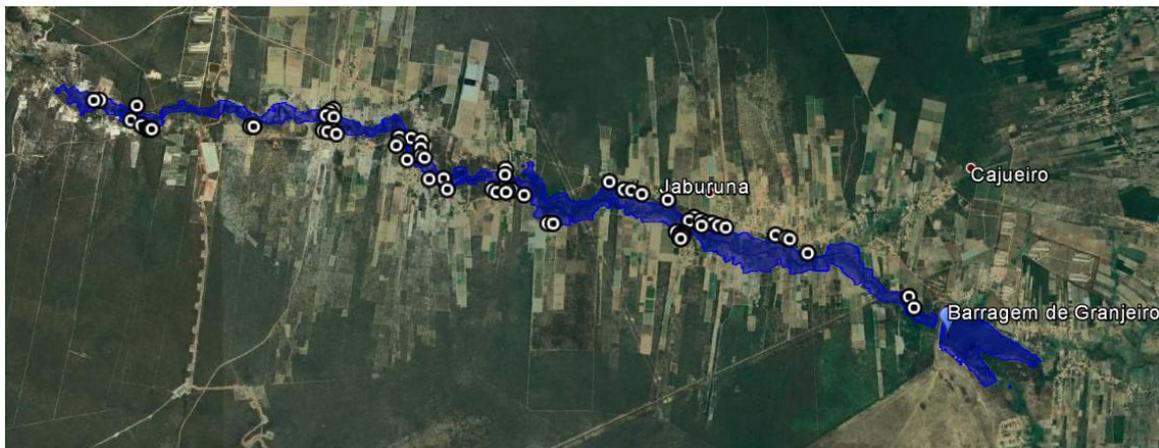


Figura 14: Mancha de inundação e habitações afetadas pela ruptura da barragem.

Considerando a ruptura da barragem em seu nível máximo, sem considerar a ocorrência de uma cheia simultânea, estima-se que a mancha de inundação atinja cerca de 68 residências. Neste cenário, a vazão de pico relativa à ruptura da barragem é de 1.211,40 m³/s. Foi estimado o aumento de 38cm no nível de água no reservatório de Jaburu, à jusante, passando o volume acumulado neste reservatório para 59,7 hm³.

Ressalta-se que, dada a incerteza nos dados utilizados referentes à geometria da seção transversal do rio e intrínsecas ao próprio modelo de simulação de ruptura, o impacto pode ser maior ainda, pois há várias mais zonas residenciais próximas à margem do rio. Ademais, à jusante da barragem existem também um balneário chamado “Cachoeira do Boi Morto” e duas pequenas estruturas de acumulação de água, as quais podem acentuar também os eventuais impactos

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tanto na condição atual com o vertedor auxiliar que foi escavado (cenário “0”) quanto considerando a realização do aprofundamento/alargamento do mesmo (cenários “1A” e “1B”), nas condições estudadas, foi possível mitigar os riscos de rompimento por meio da redução de níveis d’água no reservatório e aumento da capacidade de descarga, verificando-se o amortecimento das vazões de cheias. Por exemplo, o pico de vazão afluente com recorrência de 100 anos corresponde a 300 m³/s, sendo que o reservatório amortece a vazão defluente para 200 m³/s;

Ainda em relação aos cenários “0”, “1A” e “1B”, verifica-se que o nível de água do reservatório oscila entre as cotas 83,0 m e 85,0 m, levando em conta todos os cenários de afluências estudados e que o tempo de sobrecarga hidráulica no vertedor auxiliar acima da cota 84,0 m varia de 0h até cerca de 6h. Considerando a cheia de referência de 100 anos, as vazões defluentes da ordem de 200 m³/s, com sobrecarga hidráulica acima 3,0 m, podem erodir os taludes laterais do vertedor auxiliar, que foi escavado em solo. Assim, deve ser avaliada a condição de segurança e estabilidade desses taludes e implementadas intervenções que possam protegê-los contra erosão e garantir sua segurança;

A condição atual ou o aprofundamento/alargamento do vertedor auxiliar (cenários “0”, “1A” e “1B”), mesmo incluindo a proteção dos taludes do canal deste vertedor, não são suficientes para garantir a segurança da barragem, pois a acumulação de água no reservatório e a elevação de níveis d’água pode levar à reativação das anomalias existentes no maciço, o que pode causar a ruptura da barragem. Nesse caso, as vazões de ruptura são bastante elevadas, bem acima do que se espera de uma cheia com tempo de recorrência de 1.000 anos. Isto sugere que, dada a atual condição precária de conservação da barragem, a eventual ruptura causaria um dano bastante elevado (cerca de 68 residências ou mais). Assim, é importante avaliar a estabilidade e a integridade da barragem no caso de elevação de níveis d’água decorrente de cheias, mesmo considerando a estabilização do vertedor auxiliar;

Apenas no cenário “2” (abertura de brecha no corpo da barragem) é que se verifica vazões de ruptura equivalentes à passagem de cheias naturais, indicando ser este tipo de alternativa a mais indicada para mitigar os riscos de uma eventual ruptura. Esta alternativa permitiria o completo esvaziamento do reservatório e a passagem de uma cheia com 100 anos de recorrências pela barragem sem elevação significativa do nível d’água além do que ocorreria naturalmente. Esta abertura poderá ser revertida caso se opte no futuro pela recuperação da barragem para que a mesma volte a operar em condições de segurança;

A ausência de dispositivo de descarga de fundo se mostrou como um fator limitante para a operação segura e eventual esvaziamento preventivo da barragem. Este limitante fez com que fossem propostas soluções estruturais mais invasivas na estrutura da barragem visando a redução do risco de

ruptura, tal como a implantação de vertedor auxiliar ou ainda, possivelmente, a necessidade de abertura do maciço para evitar um dano maior no futuro.

Considerando o atual estado precário de conservação da barragem, com destaque ao processo erosivo no maciço cuja progressão foi reduzida pela colocação de sacos de areia, e a ausência de dispositivo de descarga de fundo que permita o esvaziamento do reservatório para manutenção, recomenda-se:

- Em curto prazo (dias): reforço dos taludes do canal do vertedor auxiliar, que foi escavado em solo;
- Em médio prazo (meses): estudar intervenções complementares para serem executadas visando a mitigação do risco de ruptura remanescente, considerando inclusive a abertura de brecha no corpo da barragem para esvaziamento do reservatório;
- Em longo prazo (acima de um ano): adoção de uma ação definitiva, a qual poderá ser a desativação permanente da barragem ou sua recuperação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA).2017. Resolução N° 236, de 30 de Janeiro de 2017. 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 n° 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB.

BRASIL. Lei n° 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. Brasília, DF, 21 set. 2010. Disponível em: <<https://www.planalto.gov.br/>> Acesso em: 20 de maio de. 2019.

FARR, T. G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M. ET AL. 2007. “The Shuttle Radar Topography Mission.” *Reviews of Geophysics* 45 (2): RG2004.

FROEHLICH, DAVID C., (1998), “EMBANKMENT DAM BREACH PARAMETERS AND THEIR UNCERTAINTIES. ASCE, JOURNAL OF HIDRUALIC ENGINEERING, VOL. 134, No.12, DECEMBER 2008, PAGES 1708-1721. ISSN 0733-9429.

TUCCI, C. E. M. (ORG.) (1997). HIDROLOGIA: CIÊNCIA E APLICAÇÃO. PORTO ALEGRE: EDITORA DA UNIVERSIDADE: ABHR, 1997. 943 P. (COLEÇÃO ABHR DE RECURSOS HÍDRICOS, V. 4).