

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DE CHEIA COMO BASE PARA MEDIDAS DE SEGURANÇA DA BARRAGEM DE BANDEIRA DE MELO - BA E DO VALE A JUSANTE

Vanessa Carneiro¹ & Andrea Sousa Fontes²

RESUMO – Grandes obras hidráulicas, como barragens, requerem estudos quanto à segurança e risco, devido ao elevado grau de impacto em caso de colapso ou mal funcionamento. Sendo construídas no leito do rio, é fundamental que as barragens estejam preparadas para controlar cheias máximas naturais. É muito importante conhecer características como magnitude e probabilidade de ocorrência dessas cheias. Neste trabalho, foi estudada a barragem Bandeira de Melo, localizada no município de Itaeté no semiárido baiano, analisou-se os eventos hidrológicos de cheias significativas do período de 1937 a 2017, utilizando dados de vazão máxima diária de estações fluviométricas à montante e à jusante do barramento, com o objetivo de subsidiar o planejamento de operação do reservatório e medidas de segurança. Verificou-se que no período de análise, considerando os dados disponíveis, duas grandes cheias ocorreram (tempo de retorno entre 50 e 100 anos), mas que após o barramento essas magnitudes diminuíram, havendo extravasamento pelo vertedor. É mostrado então, a importância e a possibilidade de agregar estudos de riscos hidrológicos de forma a compreender a operação do reservatório e planejar medidas de segurança das estruturas e do vale à jusante.

ABSTRACT– Large hydraulic works, such as dams, require safety and risk studies due to the high degree of impact in case of collapse or malfunction. Being built on the river bed, it is critical that the dams be prepared to control natural maximum floods. It is very important to know characteristics such as magnitude and probability of occurrence of these floods. In this work, the Bandeira de Melo dam, located in Itaeté municipality in the Bahian semi-arid region, was analyzed. It was analyzed the hydrological events of significant floods from 1937 to 2017, using data of maximum daily flow of upstream and downstream fluviometric stations of the bus, with the purpose of subsidizing the operation planning of the reservoir and safety measures. It was verified that in the period of analysis, considering the available data, two large floods occurred (return time between 50 and 100 years), but that after the bus, these magnitudes decreased, with extravasation by the spillway. It is then shown the importance and possibility of aggregating hydrological risk studies in order to understand the operation of the reservoir and to plan safety measures of the structures and the downstream valley.

Palavras-Chave – cheias históricas, abordagem estatística, planejamento hidrológico, rio Paraguaçu

INTRODUÇÃO

1) Graduada em Engenharia Civil. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Email: cnr.vanessa@gmail.com

2) Professor Adjunto. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Email: andreafontes@ufrb.edu.br

Estudos sobre segurança de barragens vêm tomando destaque no país devido a necessidade de garantir ações adequadas em relação essas obras hidráulicas que apresentam um elevado grau de impacto, caso ocorra algum tipo de colapso no seu funcionamento. Esse tipo de obra tem múltiplas funcionalidades e, sendo elas construídas no leito do rio, seja para reserva de água para atendimento a diversas demandas hídricas (usos consuntivos) ou para geração de energia (usos não consuntivos), devem estar preparadas para controlar cheias máximas naturais do rio.

As cheias de um determinado rio têm frequência inconstante, e tratando-se de um fenômeno hidrológico de extrema magnitude é responsável por causar danos significativos na estrutura da barragem ou no vale a jusante dessa obra.

Dessa forma, as abordagens para avaliação da segurança de um barramento devem incluir uma intensa caracterização dos eventos hidrológicos críticos para embasar a avaliação do risco associado à ocorrência de uma inundação influenciada com presença de uma barragem. Segundo Tucci (2007), o risco de uma vazão ocorrer é entendido como a probabilidade de um valor igual ou superior a essa vazão ocorrer em um ano qualquer. Dessa forma, a predição de vazões extremas e que podem causar danos significativos em uma planície de inundação ocupada, se torna relevante para incorporação na Gestão Integrada de Cheias, apresentada no Boletim 156 do ICOLD (2014). Esse documento classifica grandes cheias, aquelas com tempo de retorno de 50 a 100 anos, cheias raras, as que estão entre valores observados e limites aceitáveis de extrapolação (depende dos dados disponíveis) e os eventos extremos, aqueles que estão acima dos limites aceitáveis de extrapolação, mas que são necessários para projetos e planejamento de obras hidráulicas.

Conhecer essas cheias e suas características em região com intensa presença de barragem pode auxiliar nos planos operativos dos reservatórios associados e na segurança dos seus componentes hidráulicos e maciço. Como é o caso do semiárido brasileiro, que conta com inúmeras barragens para segurança hídrica (reserva de água) e com características climáticas específicas que acometem a região a eventos concentrados de ocorrência de chuva que podem gerar cheias de proporções significativas (MARENCO et al, 2011). Essa região também é vulnerável a enchentes e chuvas intensas segundo Alves et al. (2005). Cabe ressaltar ainda que num cenário de mudanças climáticas as projeções indicam aumento de extremos de precipitação (SALES et al., 2015).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar eventos hidrológicos de cheias quanto a magnitude e probabilidade de ocorrência no trecho do rio Paraguaçu a montante e jusante da Barragem de Bandeira de Melo - BA, a partir da série histórica de vazão diária, visando subsidiar o planejamento de operação do reservatório e medidas de segurança de suas estruturas e do

vale a jusante. Essa barragem está localizada na região semiárido do Estado da Bahia, sendo escolhida como caso de estudo para o presente trabalho.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Barragem de Bandeira de Melo está localizada entre os municípios baianos de Itaeté e Boa Vista do Tupim, na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, na Chapada Diamantina. Inaugurada em 2006, essa barragem é do tipo mista, parte de gravidade em CCR e parte de terra na ombreira esquerda, com altura máxima de 19,1 m e comprimento de 1160m. Possui soleira livre na cota 298,7m e lâmina máxima de 5,22 m, com vazões de projeto do vertedor para tempo de retorno (TR) de 1000 anos igual a de 5147,34 m³ (afluente) e 4886,41 m³ (efluente), conforme CERB (2013).

Com finalidade de irrigação e abastecimento, o reservatório tem nível de água à montante mínimo normal de 287,3m e máximo normal de 298,7m, com vazão regularizada de 18,83 m³/s, descarga de fundo com capacidade de 10 m³/s e volume total de 111,59 hm³. Beneficia as populações de Itaeté, Boa Vista do Tupim e Marcionílio (CERB, 2013).

De acordo o conceito de risco proposto por Tucci (2007) e com os dados de projeto para o vertedor (TR = 1000 anos) e ainda considerando vida útil de 50 anos para essa barragem com base nos critérios técnicos utilizados na RESOLUÇÃO Nº 143, DE 10 DE JULHO DE 2012 que estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, tem-se que essa barragem apresenta chance de romper durante sua vida útil de 4,88%. A Figura 1 apresenta o arranjo geral da barragem

Figura 1: Barragem Bandeira de Melo



Fonte: Facchinetti (sem data)

METODOLOGIA

Para caracterizar os eventos hidrológicos de cheias quanto a magnitude e probabilidade de ocorrência no trecho do rio Paraguaçu a montante e jusante da Barragem de Bandeira de Melo – BA, a metodologia aplicada contemplou duas etapas:

- Análise estatística da série histórica de dados diários de vazão, com ênfase nos eventos extremos que ocorreram no período de disponibilidade de dados para trechos do rio a montante e a jusante do atual eixo da barragem. Essa análise consistiu na identificação de três eventos de maiores magnitudes referente a vazão para cálculo do tempo de retorno, e consequentemente definição do risco de ocorrência ($P=1/TR$). E posteriormente a predição de vazões com Tempo de Retorno igual a 100 e 500 anos, de forma a estabelecer uma grande cheia, e cheia rara conforme conceitos apresentados em ICOLD (2014).
- Análise de eventos extremos ocorridos no período após a construção da barragem (2006). Essa análise englobou a identificação de três eventos de maiores intensidades e seleção de evento para caracterização da vazão nos trechos do rio a montante e a jusante da barragem, refletindo influência da presença do sistema barragem/reservatório de Bandeira de Melo.

Para caracterização do evento de grande cheia nessa etapa foram levantados: os perfis transversais, a cota relacionada a magnitude da vazão ocorrida, assim como identificação do uso e ocupação do solo nas proximidades das seções de estudo.

As séries históricas de dados diários de vazão foram referentes as seções das estações à montante (Itaeté 51240000) e à jusante (Iaçu 51280000) da barragem, em um período de 80 anos (1937-2017). Sendo que, houveram falhas de dados nos anos 1963, 1972, 2006, 2007, 2009, 2011 e 2014.

As Figura 2 e 3 apresentam o perfil transversal do rio em 2015.

Figura 2: Perfil Transversal – Itaeté

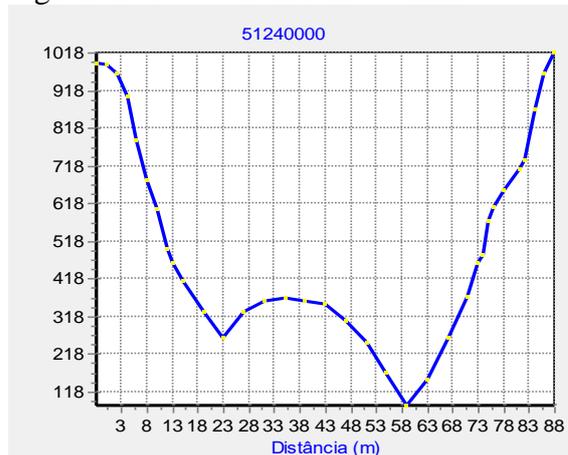
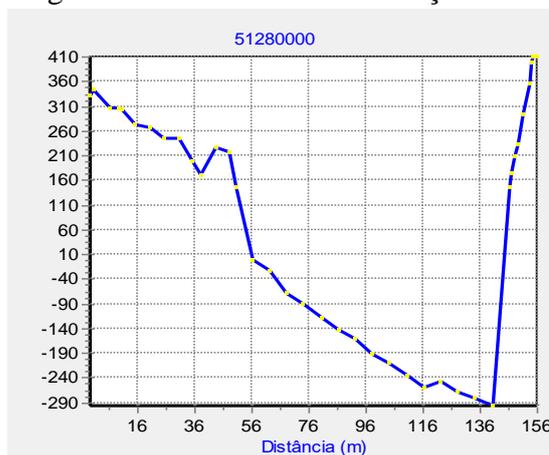


Figura 2: Perfil Transversal - Iaçu



A análise estatística foi realizada com a aplicação da função de probabilidade de Gumbel, também conhecida de Distribuição de Valores Extremos Tipo 1, por ser amplamente utilizada em análise estatística de eventos extremos (COLLISCHON e DORNELLES, 2013).

Para complementar a análise foi analisado os períodos de extravasamento do reservatório.

RESULTADOS

Com os dados de vazões máximas diárias da estação à montante da barragem, observa-se que as maiores cheias ocorreram nos anos de 1978, 1947 e 1957, com magnitudes de 1539, 1490 e 1158 m³/s, respectivamente. As probabilidades de ocorrência para cada cheia estão apresentadas da Tabela 1.

Tabela 1: Tempo de retorno de Cheias identificadas no período de 1937 a 2017 – Estação fluviométrica de Itaeté

DATA	VAZÃO m ³ /s	TEMPO DE RETORNO (anos)
15/02/1978	1539	82,78
02/12/1947	1490	67,96
15/03/1957	1158	18,07

Diante dos tempos de retorno calculados verifica-se que no período avaliado só aconteceram duas grandes cheias (TR entre 50 a 100 anos). Diante da amostra de vazões máximas diárias, para 100 anos, a vazão correspondente tem magnitude de 1585,90 m³/s.

Para avaliação de cheias raras foi feita a aplicação da distribuição de Gumbel considerando o tempo de retorno de 500 anos, que resultou no valor de 1984,04 m³/s. Entretanto, cabe observar que, não há registro de medições em campo de vazões nessas magnitudes o que leva a consideração que esses dados são resultados da extrapolação da curva-chave da seção gerando incertezas nos valores encontrados, sendo apenas valores indicativos de ordem de grandeza.

Já para o trecho a jusante do atual eixo da barragem as maiores vazões estão apresentadas na Tabela 2, com seus respectivos tempos de retorno.

Tabela 2: Tempo de retorno de Cheias identificadas no período de 1937 a 2017 2017 – Estação fluviométrica de Iaçú

DATA	VAZÃO m ³ /s	TEMPO DE RETORNO (anos)
02/02/1992	1885	60,09
04/12/1947	1685	33,48
18/03/1957	1561	23,36

Comparando as Tabelas 1 e 2 verifica-se que as maiores cheias identificadas não apresentam correspondência de período e tempo de retorno. Cabe observar que a estação fluviométrica de Itaeté (montante), engloba uma área de drenagem de 16500 Km², enquanto a de Iaçú (jusante), área de drenagem de 22800 km². Essa área de drenagem incremental apesar de estar totalmente inserido em região semiárida confere alteração nas características de eventos extremos.

Avaliando as vazões ocorridas após a implantação da barragem (após 2006) verifica-se que os anos de 2016, 2013, 2010 apresentaram as maiores vazões na estação de Itaeté e Iaçú, conforme apresentado na Tabela 3 e 4, entretanto as magnitudes são referentes a tempos de retorno baixo, não configurando cheias relevantes. A cheia de 2015 foi incorporada na avaliação por ter disponibilidade de informação a montante e jusante para análise da influência do barramento.

Tabela 3: Tempo de retorno de Cheias identificadas no período de 2006 - 2017 – Estação fluviométrica de Itaeté

DATA	CHEIA	TEMPO DE RETORNO (anos)
25/01/2016	722	3,53
24/12/2012	718	3,48
15/12/2010	492	1,75
03/05/2015	369	1,33

Tabela 4: Tempo de retorno de Cheias identificadas no período de 2006 - 2017 – Estação fluviométrica de Iaçú

DATA	CHEIA	TEMPO DE RETORNO (anos)
05/05/2015	509	1,60
17/03/2011	259	1,15
09/04/2017	181	1,08

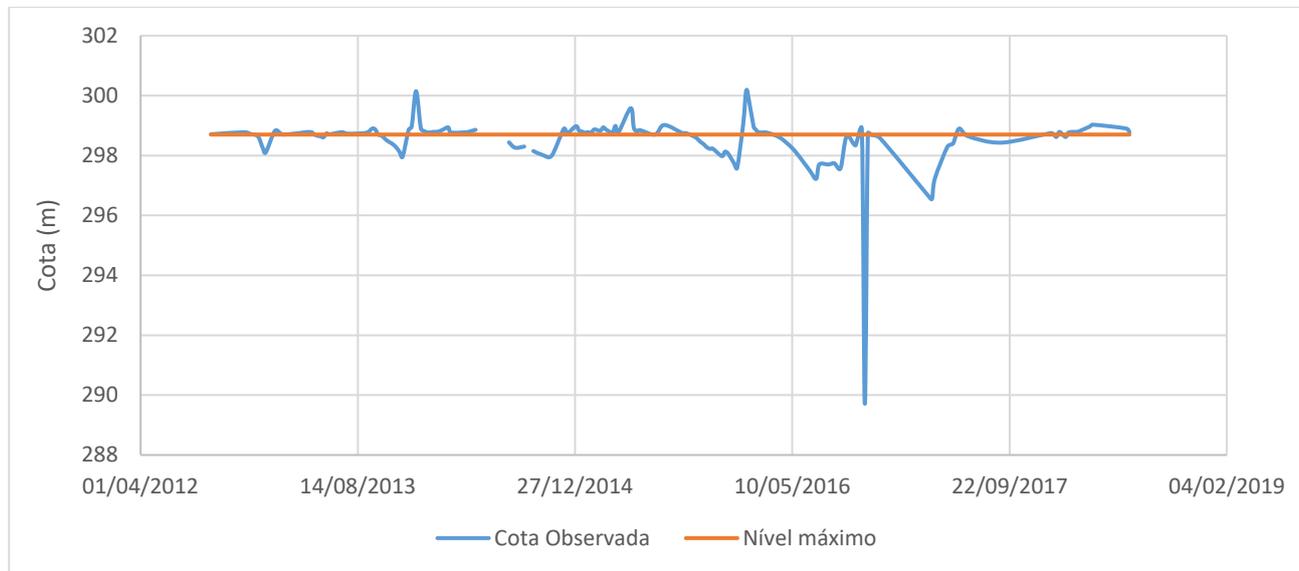
Verifica-se nas Tabela 3 e 4 que apenas a cheia de 2015 apresentou correspondência de grande cheia para montante e jusante.

Diante dos dados da cheia de 2015, percebe-se um aumento na vazão de jusante de 37,94%, possivelmente pela necessidade de extravasamento do reservatório. A partir do perfil transversal da seção foi verificada que essa vazão resultou numa profundidade na ordem de 8 metros (Cota observada de 882 cm), preenchendo a calha principal do rio nessa seção. Esses registros conjuntos são importantes para o entendimento do funcionamento do reservatório e propagação da onda de cheia de forma a minimizar potenciais impactos. Ressalta-se, entretanto, a dificuldade de disponibilidade

dos dados, uma vez que das quatro cheias analisadas apenas uma teve dados disponíveis para uma avaliação mais detalhada.

A Figura 3 apresenta a variação do nível do reservatório a partir de 2012.

Figura 3: Níveis do reservatório no período de 2012 a 2018 – escala semanal



A partir da variação de nível observada no período de estudo, verifica-se que o reservatório, por ser uma barragem de nível, passou maior parte do tempo vertendo ou próximo ao valor máximo, sendo que três vezes no período (2013, 2015 e 2016) apresentou lamina d'água na soleira do vertedor com valores relevantes (1,45 m, 0,88 m e 1,47 m, respectivamente).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que no período de dados disponíveis aconteceram duas grandes cheias (TR entre 50 e 100 anos), mas que no período pós barramentos as magnitudes dos eventos foram menores, entretanto com extravasamento pelo vertedor com lamina d'água atingindo 1,47 metros acima da soleira.

Os resultados mostram ainda a importância e possibilidades de se agregar estudos de riscos hidrológicos visando subsidiar o planejamento de operação do reservatório e medidas de segurança de suas estruturas e do vale a jusante.

Cabe ressaltar que a avaliação de riscos hidrológicos associados a barragens necessita de dados de vazão consistentes, principalmente por resultar de extrapolação da curva-chave. A dificuldade de obtenção de dados consistentes é um limitante para ampliação das análises, entretanto com o presente estudo foi possível concluir as possibilidades de análise e importância do monitoramento criterioso das grandes cheias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, L. M.; Silva Aragão, M. R.; Góis, R. S. S. Análise de intensidades máximas de chuva no Nordeste do Brasil. In. Simpósio Internacional de Climatologia, A Hidroclimatologia e Impactos Ambientais em Regiões Semi-áridas, Fortaleza, 2005.

CNRH. RESOLUÇÃO Nº 143, DE 10 DE JULHO DE 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1635> Acesso em: 10 de janeiro de 2014

COLLISCHONN W. DORNELLES F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: ABRH, 2013.

ICOLD. Boletim 156. B156 - Integrated flood risk management. 2014

Facchinetti, R. CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS EM CCR E OS BENEFÍCIOS SOCIO-ECONÔMICOS CENÁRIO BAHIA. Disponível em: http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/CCR-apresentacoes/Roberto_Facchinetti.pdf. Acesso em 15/07/2018.

Marengo et al., Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Publicações INSA. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas ISBN 978-85-64265-01-1. 2011

SALES, D.C.; COSTA, A.A.; SILVA, E.M.; VASCONCELOS JÚNIOR, F.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MEDEIROS, S.S.; MARIN, A.M.P.; GUIMARÃES, S.O.; ARAUJO JUNIOR, L.M.; PEREIRA, J.M.R. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no Nordeste Brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 4, p. 435-456, 2015.