

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA ONDA DE CHEIA CAUSADA PELO ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DO RIO DO COBRE, SALVADOR - BA**

*Kátia Núbia Chaves Santana<sup>1</sup>; Cássia Juliana Fernandes Torres<sup>2</sup> & Yvonilde Dantas Pinto Medeiros<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Este artigo analisa a propagação da onda de cheia causada pelo rompimento hipotético da Barragem do rio do Cobre através da delimitação da área de inundação, situada na cidade de Salvador-BA. Para tanto, foi necessário o desenvolvimento de cinco etapas: caracterização da área de estudo, identificação do hidrograma da onda de cheia em função do fenômeno de galgamento, levantamento dos dados necessários para a modelagem matemática, simulação da propagação da onda de cheia, construção do mapa de inundação e análise de alguns impactos gerados na planície de alagamento. Os resultados encontrados correspondem a uma vazão e tempo de pico de 2.501,06 m<sup>3</sup>/s e 0,29 horas, respectivamente; área de abrangência total da onda de cheia 3.500 km<sup>2</sup>, atingindo a APA Bacia do Cobre e aproximadamente 500 residências, 1.550 pessoas; velocidades encontradas em média 11,38 m/s imediatamente a jusante da estrutura e 5,55 m/s no ponto próximo a sua foz. Diante do exposto, ratifica-se que o mapa de inundação representa um importante instrumento de projeção de riscos para a sociedade e para o meio ambiente. No entanto, recomenda-se o aperfeiçoamento deste estudo quanto às bases de dados utilizadas, e um aprofundamento nas discussões referente à operacionalização do Plano de Ação Emergencial.

**ABSTRACT** – This paper proposes to analyze the propagation of the flood wave caused by the hypothetical dam break of the Cobre's Dam through the delimitation of the flood area located in the city of Salvador-Bahia. For this, it was necessary to develop five stages: characterization of the study area, identification of the hydrograph of the flood wave as a function of the fencing phenomena, data collection necessary for mathematical modeling, wave propagation simulation, flood map and analysis of some impacts generated in the flood plain. The results correspond to a flow rate and peak time of 2,501.06 m<sup>3</sup> / s and 0.29 hours, respectively; total area of the full wave of 3,500 km<sup>2</sup>, reaching the APA Bacia do Cobre and approximately 500 residences, 1,550 people; velocities found on average 11.38 m/s immediately downstream of the structure and 5.55 m/s at the point near its mouth. In view of the above, it is confirmed that the flood map represents an important instrument for projecting risks to society and to the environment. However, it is recommended to improve this study regarding the databases used, and to deepen the discussions regarding the operationalization of the Emergency Action Plan.

**Palavras-Chave** – Segurança de Barragem, Área de inundação, modelo hidrodinâmico HEC-RAS

### **INTRODUÇÃO**

A Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB), definida pela Lei nº 12.334/2010, descreve que os barramentos devem ser analisados com maior raio de abrangência. Para tanto, a PNSB propõe a elaboração do Plano de Ações Emergenciais (PAE) em função da categoria de risco

1) Escola Politécnica/ Universidade Federal da Bahia, katiasantana1@gmail.com

2) Escola Politécnica/ Universidade Federal da Bahia, torres.cjf@gmail.com

3) Escola Politécnica/ Universidade Federal da Bahia, yvonilde.medeiros@gmail.com

e do dano associado. O PAE apresenta as áreas à jusante do barramento que tendem a ser afetadas diretamente pelos impactos ocasionados por uma provável ruptura do empreendimento. Deve-se destacar que os riscos aumentam para áreas densamente ocupadas, sendo uma característica comum para algumas regiões onde apresentam uma pequena área molhada em função da redução dos fluxos de vazão, o que acarreta no avanço da ocupação urbana.

Quanto maior for a vulnerabilidade na exposição de pessoas e bens a inundações, maior será o risco associado. O crescimento do risco amplifica a adoção de medidas preventivas, de controle e de mitigação na gestão da barragem em função do seu dano potencial, podendo ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento.

Para um cenário de ruptura da estrutura da barragem, além da identificação da área afetada, o PAE deve conter planos de ações emergenciais, de forma que os procedimentos sejam executados de maneira direcionada, rápida e eficaz. O reconhecimento das áreas prováveis de alagamento possui uma grande relevância na redução do potencial de perdas de vidas humana e os planos de ações emergenciais auxiliam nesse processo por direcionar as rotas de evacuação (PIERCE *et al.*, 2010; KUMAR *et al.*, 2017). Evidente que para alcançar sucesso no processo de evacuação para uma situação real, é preciso que o PAE seja operacionalizado e seus procedimentos ensaiados através do exercício de simulação com a defesa civil.

Diante da relevância de estudos dessa natureza, este artigo analisa a propagação da onda de cheia causada pelo rompimento hipotético da Barragem do rio do Cobre, localizada na cidade de Salvador-BA, através da delimitação da área de inundação.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

A barragem do Cobre foi implantada em 1932 com a finalidade de abastecer a cidade de Salvador e região metropolitana, localizada no médio curso do rio do Cobre (SRH, 1996 *apud* CORDEIRO, 2009), conforme ilustra a Figura 1. Os bairros de Pirajá e Plataforma, que circundam a estrutura, encontram-se com alto grau de urbanização, havendo muitas moradias instaladas de forma irregular, especialmente, localizadas à jusante desse empreendimento. Em função do aumento das pressões urbanas e da instalação de moradias no seu entorno, a qualidade da água de seu reservatório foi comprometida e atualmente ele é utilizado apenas como ponto de recreação, sendo uma área protegida como “Parque Florestal da Represa do Cobre” (SANTOS *et al.*, 2018). Em virtude da redução da qualidade da água, este reservatório encontra-se inoperante e não é utilizada mais para abastecimento humano.

Esta barragem possui a estrutura do tipo de alvenaria de pedra, tendo seu vertedor projetado para 2,3 m<sup>3</sup>/s de vazão de pico, com largura de 22,4 metros. A condução da água foi construída em função de uma tomada d'água com diâmetro de 400mm, galeria de 70 metros de extensão e vazão

de projeto de 90 l/s, operada por duas comportas (SRH, 1996 *apud* CORDEIRO, 2009).

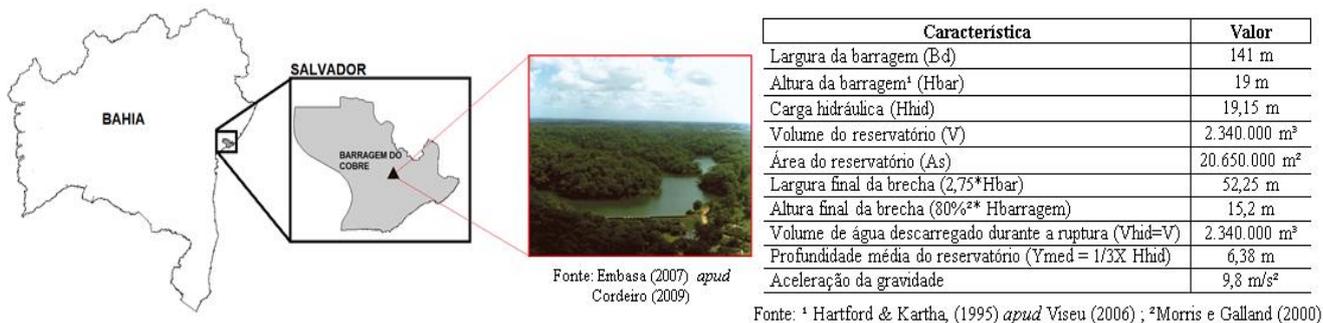


Figura 1 – Localização e características da Barragem do Cobre

### Identificação do hidrograma da onda de cheia em função do fenômeno de galgamento

Para a construção do hidrograma de ruptura é necessário identificar as características hidráulicas da barragem, os parâmetros da brecha e o tempo de ruptura. A vazão de pico foi definida de acordo com equações empíricas identificadas por alguns autores na literatura, conforme Quadro 1, sendo escolhida em função das características das equações e sua adequação à área de estudo. O tempo de pico admitido neste estudo considera as equações empíricas apresentadas no Quadro 2, sendo sua escolha também condizente com as características da área de estudo.

Quadro 1– Equações para cálculo de vazões de pico

Autor	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)	Características
Lou (1981) <i>apud</i> Mascarenhas (1990)	$Q_p = 7,683H_{hid}^{1,909}$ (Eq.1)	Baseada na análise de 19 diferentes casos de ruptura de natureza diversa
Saint-Venant (-) <i>apud</i> U.S. Army Corps of Engineers (1997)	$Q_p = \frac{8}{27}B_d\sqrt{g}Y_{medio}^{\frac{3}{2}}$ (Eq.2)	Desenvolvida por Saint-Venant para o caso de remoção instantânea e total do barramento
Schoklistch (1917) <i>apud</i> ICOLD (1998)	$Q_p = \frac{8}{27}\left(\frac{B_d}{B_b}\right)^{1/2} B_b\sqrt{g}Y_{medio}^{\frac{3}{2}}$ (Eq.3)	Considera a situação em que a ruptura ocorre em parte da crista de uma barragem
Hagen (1982)	$Q_p = 1,205(VH_{hid})^{0,48}$ (Eq.4)	Baseada em observações de valores relativos a casos já ocorridos de ruptura
USBR (1982) <i>apud</i> USBR (1987)	$Q_p = 19H_{hid}^{1,85}$ (Eq.5)	Equação baseada em dados coletados de vazões de pico históricas e da profundidade da lâmina de água no reservatório no momento da ruptura. Foi desenvolvida considerando em média 21 casos de falhas em barragens de concreto em arco e por gravidade.
Vertedor de Soleira Espessa - Singh (1996)	$Q_p = 1,7B_bH_b^{\frac{3}{2}}$ (Eq.6)	De acordo com Singh (1996), o escoamento que passa pela brecha pode ser assumido como análogo ao escoamento que passa por um vertedouro retangular de soleira espessa.
Wetmore e Fread (1981) <i>apud</i> French (1985)	$Q_p = 1,7B_b \left[ \frac{1,94A_s}{B_b} \right]^3 \left[ T_p + \left( \frac{1,94A_s}{B_b\sqrt{H_{hid}}} \right) \right]$ (Eq.7)	Considera a formação de uma brecha retangular, desenvolvendo-se em um intervalo de tempo (t)
SoilConservation Service (1981)	$Q_p = 16,6H_{hid}^{1,85}$ (Eq.8)	Equação considerando 13 casos históricos de ruptura de barragem utilizados por Kirkpatrick (1977)
Kirkpatrick (1977)	$Q_p = 1,268(H_{hid} + 0,3)^{2,5}$ (Eq.9)	Equação considerando 13 casos de ruptura histórico de barragem de terra e 6 casos hipotéticos

Autor	Vazão de pico (m³/s)	Características
Froehlich (1995)	$Q_p = 0,607K_0V_{hid}^{0,295}H_{hid}^{1,24}$ (Eq.10)	Com base em 22 casos históricos de ruptura em barragens de terra Ko = 1,4 para galgamento e 1,0 para outros casos. Ajuste de 0,934
InstitutionOf Civil Engineers (1996)	$Q_p = 1,3H_{hid}^{2,5}$ (Eq.11)	Expressão em função apenas da altura da barragem
Evans (1986)	$Q_p = 0,72V_{hid}^{0,53}$ (Eq.12)	Equação considerando falhas naturais em barragens provocadas pelo homem
Costa (1985)	$Q_p = 0,763(V_{hid}H_{hid})^{0,42}$ (Eq.13)	_____

Fonte: Brasil (2005a); Brasil (2005b) Lauriano (2009); Viseu (2006); Ferreira &Andrzejewski (2015); Pierce *et al.* (2010); Wahl (2004)

Onde:  $Q_p$  - descarga máxima defluente da barragem em ruptura (m³/s); V - volume do reservatório para o NA máximo (m³);  $A_s$  - área do reservatório para N.A. Máximo (m²);  $B_b$  - largura final da brecha (m);  $H_b$  - altura final da brecha (m);  $Y_{medio}$  - profundidade média no reservatório no instante da ruptura (m);  $B_d$  - largura da barragem (m); g - aceleração da gravidade (9,8m/s²);  $T_p$  - tempo para desenvolvimento da brecha (s);  $V_{hid}$  - volume de água descarregado durante a ruptura, ou seja, volume de água contido entre a cota do nível de água no reservatório no instante inicial da ruptura e a cota final da soleira inferior da brecha (m³);  $H_{hid}$  - carga hidráulica máxima sobre a base da brecha (m)

Quadro 2- Diferentes equações empíricas para determinação do tempo de ruptura

Autor	Tempo de pico	Características
Froehlich (1987)	$T_{rup} = 0,007\left(\frac{v}{H_b^2}\right)^{0,5}$ (Eq.14)	Equação desenvolvida com base nas características de 43 brechas que se desenvolveram em barragens de terra
Froehlich (1995)	$T_{rup} = 0,00254\left(\frac{v^{0,53}}{H_b^{0,9}}\right)$ (Eq.15)	Equação tendo por base uma amostra maior de rupturas históricas
Von Thun & Gilette (1990)	$T_{rup} = 0,02H_{hid} + 0,25$ (Eq.16)	Equação empírica válida para aterros com materiais resistentes à erosão
Von Thun & Gilette (1990)	$T_{rup} = 0,015H_{hid}$ (Eq.17)	Equação empírica válida para aterros com materiais facilmente erodidos
Hartford & Kartha (1995)	$T_{rup} = \frac{1}{30}H_{Barragem}$ (Eq.18)	Para barragens com menos de 60 metros de altura, $T_{rup}$ será inferior a duas horas.

Fonte: Viseu (2006)

A partir da definição da vazão de pico, da configuração da brecha e do tempo de ruptura foi feito a construção do hidrograma, sendo representado pelo decaimento parabólico (WALTHER et al., 2000 apud LAURIANO, 2009), conforme Equação 19.

$$Q_t = Q_p \left[ \frac{t}{T_p} e^{\left(1 - \frac{t}{T_p}\right)} \right]^K \quad \text{(Equação 19)}$$

O hidrograma de ruptura possui o objetivo de estabelecer ao modelo a vazão no tempo que passará pela brecha e pelo vale de jusante, num fenômeno de galgamento.

### Levantamento dos dados necessários para a modelagem matemática

Os dados levantados neste estudo consistem das informações necessárias para simulação da propagação de ondas de cheias a partir da modelagem matemática. Para tanto, os dados correspondem: geometria da área de estudo obtida a partir de imagens de satélite da SRTM - Shuttle Radar Topography Mission, com resolução espacial de 30 metros, sendo interpolado a cada 5 metros das linhas mestras da curva de nível, disponibilizado no bando de dados da EMBRAPA; dados de contorno são responsáveis por determinar as restrições da modelagem em função de registros de comportamento do curso hídrico. Esses dados correspondem às informações hidráulicas

e hidrológicas, assim como o hidrograma de ruptura por galgamento na seção a montante da área de estudo e a declividade do trecho na seção de jusante; dados estruturais da barragem disponibilizadas pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA).

Para a construção da geometria, foi utilizado o auxílio do *software* Autocad Civil 3D, adquirindo-se as seções transversais do curso hídrico, contendo informações sobre a distância e a cota de cada ponto da superfície. A declividade utilizada no modelo foi estimada em 0,01935m/m, correspondendo a inclinação da superfície do terreno em relação à diferença de altura entre as duas seções mais a jusante da área de estudo e a distância horizontal entre elas.

### **Simulação da propagação da onda de cheia a jusante da barragem**

A propagação da onda de cheia a jusante da barragem foi realizada com o auxílio do modelo hidrodinâmico HEC-RAS, desenvolvido pelo centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (US Army Corps of Engineers, 2010). O cálculo matemático envolvido neste modelo está baseado nas equações de Saint Venant, para escoamento em regime permanente e não-permanente para canais com superfície livre (naturais e artificiais). Para tanto, foram utilizadas as informações espaciais, hidráulicas e hidrológicas levantadas previamente à sua escolha, como dados de entrada e as vazões e a declividade da área como condições de contorno.

### **Construção do mapa de inundação e análise de alguns impactos gerados na área atingida**

A elaboração do mapa de inundação foi realizada a partir dos resultados obtidos na simulação da propagação da onda de cheia no modelo hidrodinâmico HEC-RAS. Estes resultados foram importados para o *software* ArcGis (versão 10.2.2) e a delimitação da mancha foi projetada na imagem de satélite do google Earth. A análise da abrangência do impacto desta propagação da onda foi realizada em função da contagem das casas presentes dentro da delimitação da mancha, visualizadas na imagem de satélite. A quantidade de pessoas atingidas em função do fenômeno de galgamento foi realizada através da média de moradores em domicílios estabelecida pelo censo de 2010 para a cidade de Salvador que é de 3,10 hab/domicílio (IBGE, 2010).

## **RESULTADOS**

### **Definição do hidrograma de ruptura**

Considerando as características hidráulicas da barragem em estudo, verifica-se que ela possui uma altura de 19 m e volume total de armazenamento de 2,3 hm<sup>3</sup>. Esse armazenamento tende a ser totalmente descarregado à jusante da estrutura em caso de um acidente de ruptura por galgamento. A partir dos valores encontrados no Quadro 3, observa-se que a vazão de pico varia de 1.247,69 m<sup>3</sup>/s a 782.290,55 m<sup>3</sup>/s, constatando grande discrepância entre as equações utilizadas. Desconsiderando as vazões extremas, muito altas e muito baixas, admitiu-se neste estudo a vazão definida por Froehlich (1995), 2.501,06 m<sup>3</sup>/s, cujas variáveis estudadas levaram em consideração o

fenômeno de ruptura por galgamento. O hidrograma de ruptura construído em função da vazão e tempo de pico está apresentado na Figura 2.

Quadro 3 – Vazões de Pico e tempo de ruptura da Barragem do Cobre – Salvador, BA

OBTENÇÃO DAS VAZÕES DE PICO		OBTENÇÃO DO TEMPO DE RUPTURA	
Autor	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Autor	Tempo (horas)
Lou (1981)	2.153,73	Froehlich (1987)	0,70
Saint-Venant	2.109,26		
Schoklistich (1917)	1.283,99	Froehlich (1995)	0,52
Hagen (1982)	5.670,90		
USBR (1982)	4.474,72	Von Thun & Gillette (1990) - materiais resistentes à erosão	0,63
Singh (1996)	5.263,81		
Soil Conservation Service (1981)	3.909,49		
Kirkpatrick (1977)	2.115,53	Von Thun & Gillette (1990) – materiais facilmente erodidos	0,29
Froehlich (1995)	2.501,06		
Institution Of Civil Engineers (1996)	2.086,24		
Evans (1986)	1.781,34	Hartford & Kartha (1995)	0,63
Costa (1985)	1.247,69		
Wetmore e Fread (1981)	782.290,55		

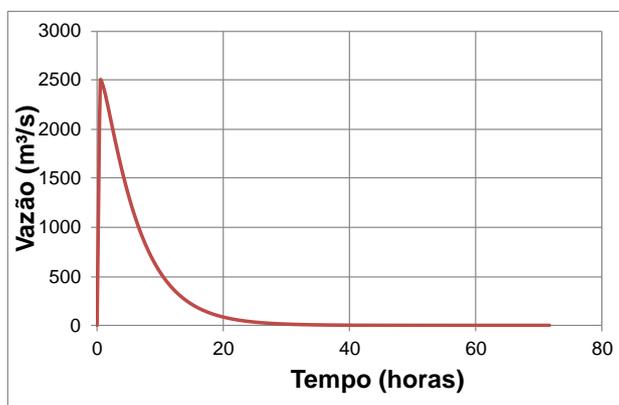


Figura 2 – Hidrograma de ruptura com decaimento parabólico para tempo de pico de 0,29 horas e vazão de pico de 2.501,06 m<sup>3</sup>/s

A análise referente ao tempo de ruptura levou em consideração a escolha de tempos extremos, máximo (0,70 horas) e mínimo (0,29 horas). O tempo de pico de 0,29 horas foi definido para este estudo por ser o mínimo e conseqüentemente necessitar de ações emergenciais mais ágeis de maneira a evitar perdas muito significativas nas zonas de jusante.

### Simulação da propagação da onda de cheia à jusante da barragem

Os dados levantados sobre a Barragem do Cobre permitiram realizar a simulação através de modelagem matemática em toda a extensão do trecho de jusante (2.500 m). Foram definidas 32 seções transversais através da superfície do terreno originada pelas elevações das curvas de nível da área de estudo.

Um parâmetro hidráulico associado à geometria é o Coeficiente de Manning, o qual foi inserido para cada seção identificada no modelo, considerando as características físicas da região. Foi adotado um valor de 0,03 para todas as seções, admitindo serem canais com leito pedregoso e talude vegetado, conforme Porto (1998).

## Elaboração do mapa de inundação e análise de alguns impactos gerados na área atingida

A partir das simulações foi possível identificar espacialmente o avanço da onda de cheia no trecho a jusante do barramento. O resultado encontrado está apresentado na Figura 3. Observa-se a presença de mata atlântica preservada e de casas dentro de sua delimitação apontadas pelos pontos amarelos na Figura 3. Os valores da altura d'água, velocidade e vazão constam no Quadro 4.

A barragem apresenta uma altura de 19 metros (m), o seu coroamento está na cota 58 m e a cota inferior do talude de jusante é de 44,17 m. O trecho imediatamente a jusante do barramento (s1) é o mais atingido, cujo nível d'água alcança uma altura de 4,03 m correspondente a ruptura por galgamento. A 2.000 m a jusante encontra-se o Parque São Bartolomeu (s3). A onda de cheia neste ponto tende a alcançar velocidade máxima de 4,58 m/s e altura d'água de 3,73 m. Esses valores são capazes de cobrir e arrastar pessoas, devendo destacar que o parque possui uma frequência significativa de visitas. Para a seção s6 (Quadro 4, Figura 3) foi observado que além de inundar a vegetação e moradias, existe a possibilidade de alagamento da Avenida Afrânio Peixoto (Avenida Suburbana), sendo uma via rodoviária importante para o subúrbio da cidade de Salvador e bastante movimentada. Nesta localidade a velocidade máxima é de 5,55 m/s.

A onda de cheia impactará uma área total de 3.500 km<sup>2</sup> do vale de jusante, sendo 2.000 km<sup>2</sup> de área verde correspondente a Área de Proteção Ambiental (APA) Bacia do Cobre. Espécies preservadas da mata atlântica poderão sofrer arrastes em função da alta velocidade (máxima de 26,46 m/s). Foram contabilizadas, através da imagem de satélite, aproximadamente 500 casas dentro do limite da mancha de inundação. Aplicando-se o coeficiente de 3,1 moradores/domicílio, tem-se que a onda ocasionada em função do fenômeno de galgamento da Barragem do Cobre impactará um total aproximado de 1.550 pessoas. Observa-se ainda no Quadro 4, que na proximidade da foz do rio do Cobre (s6 na Figura 3) a elevação do nível d'água simulada está na cota de 2,36 m. Subtraindo-se da cota do terreno (0,99 m), a altura d'água nesta seção é estimada em 1,37 m, o equivalente a metade da parede de uma casa térrea.

Quadro 4 – Resultados por seção da simulação de ruptura da Barragem do Cobre – Salvador, BA

SEÇÕES	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS MÁXIMOS				
		Cota do terreno (m)	Cota simulada do nível d'água (m)	Altura D'água (m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
S1	Seção imediatamente a jusante do barramento, onda há uma casa	44,17	48,2	4,03	11,38	2.498,46
S2	Primeira região onde há inundação de 22 residências	26	32,3	6,3	7,46	2.486,2
S3	Localidade do centro de referência do Parque São Bartolomeu	1,13	4,86	3,73	4,58	2.726,42
S4	Possui aglomerados residenciais em ambas as margens	1,03	4,71	3,68	2,55	2.632,25
S5		1	4,07	3,07	4,03	2.997,19
S6	Possui casas residenciais e alcança importante via municipal (Av. Afrânio Peixoto ou Av. Suburbana)	0,99	2,36	1,37	5,55	3.118,49

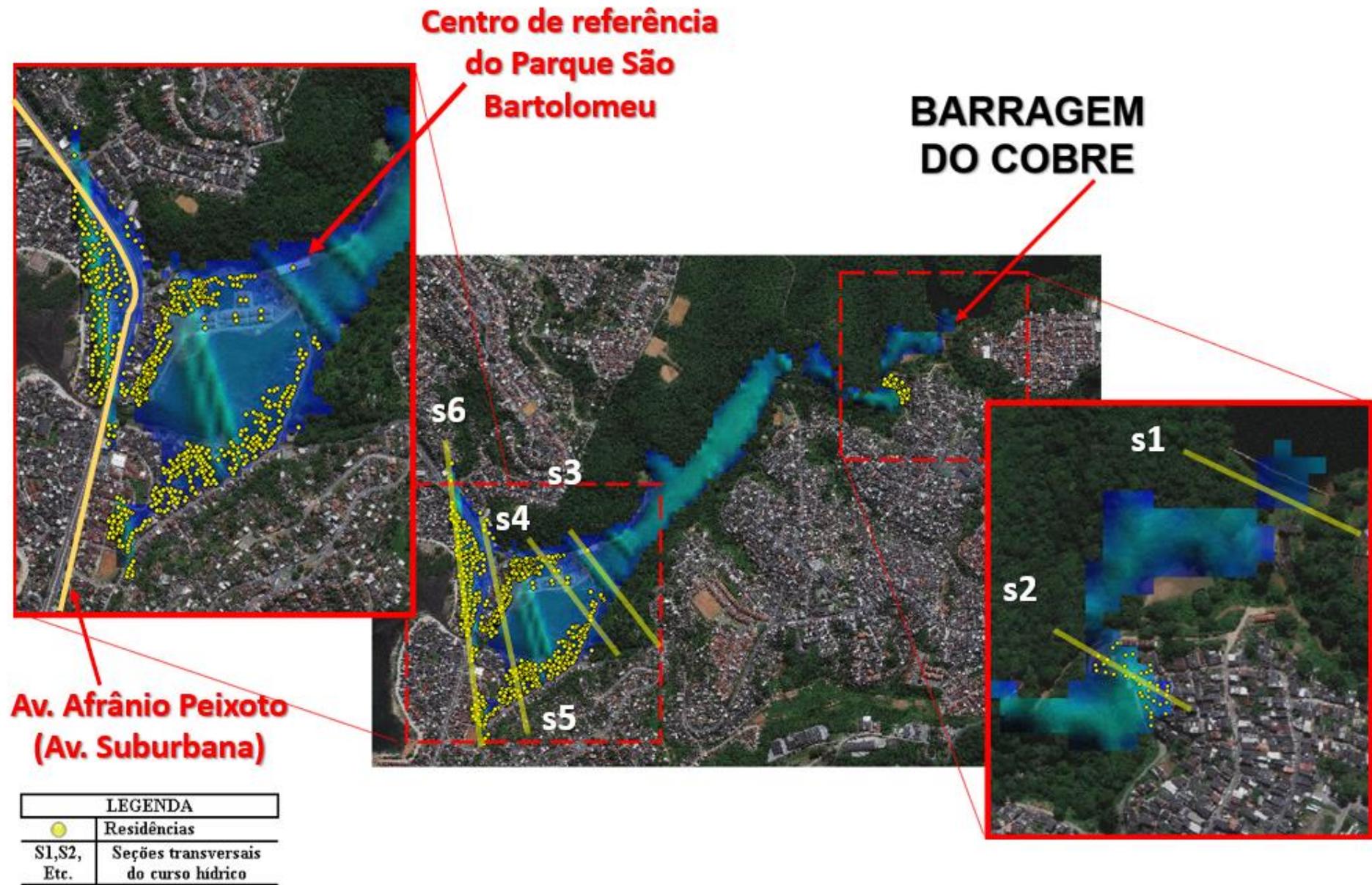


Figura 3 – Mapa de inundação da Barragem do Cobre

## CONCLUSÃO

O presente estudo realizou uma análise da propagação de onda de cheia proveniente da hipotética ruptura da barragem do Cobre, a partir da utilização de modelagem matemática como suporte para concretização do objetivo proposto.

Considerando a área de estudo, foi possível observar riscos significativos nas zonas de jusante do barramento caracterizados pelos altos valores encontrados para os parâmetros de velocidade e cota do nível d'água para todos os pontos à jusante da estrutura dentro da extensão total de 2.500 m. Esses riscos tendem a ser mais críticos em função da forte presença de conglomerados urbanos ao entorno da barragem, além da proximidade desse empreendimento com a região metropolitana de Salvador.

Recomenda-se o aperfeiçoamento deste estudo a partir da utilização de uma maior abrangência de seções topobatimétricas e imagens de satélite de melhor resolução. Recomenda-se também, aprofundar nas discussões relacionadas às incertezas intrínsecas nas equações utilizadas para cálculo da vazão e tempo de pico; e a operacionalização do PAE, abordando seus pontos mais críticos, podendo citar, a definição das rotas de fuga, concretização de mapas de inundação que seja cada vez mais legível e amigável visualmente, e os exercícios de treinamento de evacuação em uma provável ocorrência do fenômeno de ruptura.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL, L.S.S. (2005a) *Utilização de modelagens uni e Bidimensional para a propagação de Onda de cheia proveniente de ruptura Hipotética de barragem. Estudo de Caso: barragem de rio de Pedras – MG.* Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Belo Horizonte.
- BRASIL, L.S.S.; PALMIER, L.F.; NASCIMENTO, N.O.; BOTELHO, L.C.M.; CAMPBELL, C.G.; DINIZ, T.M. da. F. (2005b) *Modelagem unidimensional de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem - Estudo de caso: barragem de Rio de Pedras, Minas Gerais, Brasil.* XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa.
- BRASIL (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.* Presidência da República. Casa Civil. Brasília, DF, 20 de Setembro de 2010.
- CORDEIRO, M.R.A. (2009) *Estudo da influência da urbanização na condição hídrica da bacia do rio do cobre – Salvador-Bahia.* Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Salvador.
- FERREIRA, A.L.M.; ANDRZEJEWSKI, E.A. (2015) *Comparação de métodos de cálculo da ruptura de uma barragem hipotética.* XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Comitê Brasileiro de Barragens/CBDB. Foz do Iguaçu.
- HEC. Hydrologic Engineering Center. (2010) *HEC-RAS River Analysis System – User's Manual.* US Army Corps of Engineers.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Cidades: Salvador. Censo 2010.* Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/pesquisa/23/27652>.

KUMAR, S.; JASWAL, A.; PANDEY, A.; SHARMA, N. (2017) *Literature review of Dam Break studies and inundation mapping using hydraulic models and GIS*. International Research Journal of Engineering and Technology, v. 4, p. 55-61.

LAURIANO, A. W. (2009) *Estudo de Ruptura da Barragem de Funil: Comparação entre os Modelos FLDWAV e HEC-RAS*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Belo Horizonte.

PIERCE, M. W., THORNTON, C. I., & ABT, S. R. (2010). *Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams*. Journal of Hydrologic Engineering, 15(5), 338–349. doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000197

SANTOS, J.J.; SANTOS JUNIOR, A.; PITA, N.S.; CONCEIÇÃO, E.K.S.; SOUZA, V.M.B.; FARIA, A.C.F.. (2018) *Qualidade Das Águas Das Bacias Hidrográficas Da Cidade De Salvador E Do Município De Lauro De Freitas, Bahia*. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). p. 97-124 – ISSN: 2317-563X

WISEU, T. (2006) *Segurança dos Vales a Jusante de Barragens – Metodologias de Apoio à Gestão dos Riscos*. (Tese Doutorado) – Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

WAHL, T.L. (2004) *Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters*. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING © ASCE.