



ÍNDICE DE RISCO APLICADO A POTENCIAL ROMPIMENTO DE BARRAGEM POR SIMULAÇÕES 1D E 2D

Benício Emanuel Omena Monte^{1}; Arthur da Fontoura Tschiedel² e Joel Avruch Goldenfum³*

Resumo – A determinação de um índice de risco em decorrência do um rompimento da barragem Lomba do Sabão foi objeto desse estudo na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). A partir de simulações em 1D e 2D, foram escolhidos os resultados da simulação 2D para uso na estimativa de índice de perigo, por apresentarem melhor capacidade de reproduzir a interação canal-planície. Três metodologias para estimativa de índice de perigo foram utilizadas, em conjunto com um índice de vulnerabilidade com dados sociais. Foi adotado risco como função de perigo e da vulnerabilidade. Equacionamentos de índice precisam ser analisados com esmero, pois podem influenciar decisivamente nos resultados, subestimando ou superestimando classificações, e posteriormente gerar produtos e ações equivocadas. Um desastre não se faz apenas pelo evento ou fenômeno natural, mas também pela sociedade afetada, e agregar essas duas esferas dá subsídios para Planos de Ação Emergencial (PAE) devido a Dano Potencial Alto (DPA) de barragens.

Palavras-Chave – Rompimento de barragem; Risco; Inundação.

RISK INDEX APPLIED TO DAM BREAK POTENTIAL BY 1D AND 2D SIMULATION

Abstract – The determination of a risk index due to the Lomba do Sabão dam break was the object of this study in the Metropolitan Region of Porto Alegre (RMPA). From 1D and 2D simulations, the results of the 2D simulation were chosen for use in the hazard index, as 2D models have better ability to reproduce the main channel/flood plain interaction. Three methodologies were adopted to estimate the hazard index, used together with a vulnerability index with social data. Risk was adopted as a function of hazard and vulnerability. Equation indexing needs to be carefully analyzed, since it can decisively influence the results, underestimating or overestimating classifications, and then generate the incorrect products and actions. A disaster is not only caused by the event or natural phenomenon, but also by the affected society, and aggregating these two spheres gives subsidies for Emergency Action Plans (EAP) due to High Potential Damage (HPD) of dams.

Keywords – Dam break; Risk; Flood.

¹ Doutorando no PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPGRHSA)/IPH/UFRGS; e-mail: benicio_monte@hotmail.com

² Doutorando no PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPGRHSA)/IPH/UFRGS; e-mail: arthurtidel@hotmail.com

³ Professor titular IPH/UFRGS; e-mail: joel@iph.ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento econômico e social, as barragens possuem uma grande importância na sociedade, pois são um meio para facilitar a prosperidade de países, regiões e municípios, servindo para usos múltiplos. No Brasil são 17.256 barragens, segundo o Relatório Anual de Barragens (2015). Nesse mesmo relatório, são citadas barragens com alto risco devido a diversos aspectos (ANA, 2016). Para regular possíveis desastres a sociedade, foi criada a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei 12.344 de 2010) e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (BRASIL, 2010).

Barragens com Alto Dano Potencial Associado (DPA) necessitam de um Plano de Ação Emergencial (PAE), regulamentado pela a resolução nº 91 de 02 de abril de 2012 (ANA, 2012) e na resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (CNRH, 2012). O DPA existe por dois fatores: potencial de perdas de vidas humanas; e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Para simular uma onda de cheia originária de um rompimento de barragem, modelos hidráulicos já estão bem estabelecidos como metodologias confiáveis de representação, a exemplo dos modelos: MIKE 11 e 21 (JOUZDANI; KABIRI-SAMANI, 2011) e HEC-RAS (HALTAS *et al.*, 2016). Devido a importância de que os modelos sejam mais fiáveis, muitos pesquisadores apontam a necessidade de simulação 2D em planícies de inundação, e em 1D para o canal, para diminuir custos computacionais (KUMAR *et al.*, 2017).

Para suprir as necessidades de uma alta DPA, esse trabalho tem por objetivo responder qual o risco potencial que o município de Porto Alegre possui em caso de rompimento da Barragem de Lomba do Sabão, e se a mancha de inundação nas duas simulações (1D e 2D) trará discrepâncias consideráveis para índice de risco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

O local de estudo é parte da região Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), principalmente áreas ribeirinhas ao Arroio Dilúvio. Além disso, inclui-se a barragem Lomba do Sabão, fonte do potencial evento de inundação do estudo, que se situa na região fronteira dos municípios de Viamão/RS e Porto Alegre/RS (Figura 1). Atualmente, a barragem atende aproximadamente 60 mil pessoas tem volume médio de 2,9 hm³, e a área do espelho d'água é de aproximadamente 0,75 km² (MAIZONAVE *et al.*, 2005). A área de estudo foi escolhida por três fatores: (a) dados altimétricos com boa precisão na área do estudo; (b) o seu possível enquadramento na resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2012); (c) potencial risco de desastre para populações RMPA, situadas a jusante da barragem no percurso do Arroio Dilúvio.

A metodologia adotada nesse trabalho seguiu as seguintes etapas: (a) simulação 1D e 2D do rompimento da barragem Lomba do Sabão e confrontação dos resultados; (b) dados sociais para vulnerabilidade; (c) confrontar metodologias de índice perigo e; (d) geração do índice de risco com as diferentes metodologias de índice de perigo e mapeamento;

2.2. Simulação de inundação 1D e 2D

Para simular uma potencial inundação produto de um rompimento de barragem (1D e 2D) foi utilizado o modelo HEC-RAS 5.0.3 (USACE, 2016), já consolidado para simulação de inundações (NETO *et al.*, 2016). O modelo 1D resolve as equações de Saint-Venant completas, pelo método de diferenças finitas, permitindo simular o escoamento em superfície livre em regime permanente e não-permanente. Sobre demais parâmetros, visualizar USACE (2016). A limitação do modelo 1D foi

solucionada na versão 5, com a inserção bidimensional. Modelos 2D de águas rasas trabalham com velocidades médias na profundidade, integrando as equações de Navier-Stokes ao longo do eixo vertical z e resolvendo as equações de conservação de massa e de conservação do movimento nos eixos x e y do curso hídrico modelado (MARTIN e MCCUTCHEON, 1998), originando as equações 2D de Saint-Venant.

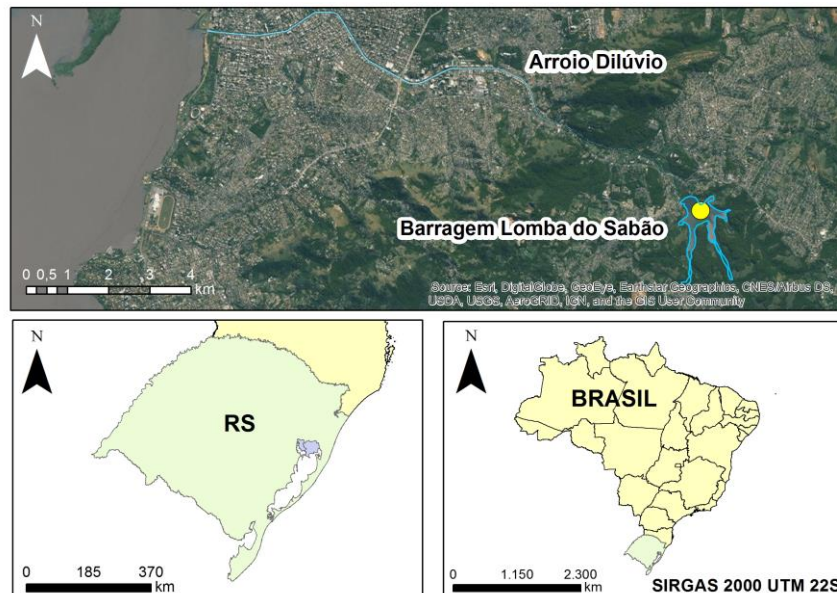


Figura 1 - Localização da barragem Lomba do Sabão e do Arroio Dilúvio.

Dados e resultados da modelagem 2D foram obtidos de Tschiedel (2017). Esse artigo utilizou dados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) para altimetria, originado de aerofotogrametria com perfilamento laser (LiDAR) (ano 2010, resolução de 1 m). Das condições de jusante, foi definida a profundidade normal (0,0005) (declividade do canal nos últimos 4 km). A forma da brecha adotada foi trapezoidal, com largura de base de 100m, completando-se em 1 hora, com 10 m de altura. O coeficiente de Manning foi constante para a planície de inundação (0,20) (representa os obstáculos urbanos) e para o canal (0,027) (valor máximo com base em USACE (2014) para canais com revestimento parcial). A curva cota-volume do reservatório foi obtida por estimativa de volume do reservatório em Tschiedel (2017), com um coeficiente de segurança de 1,4. Comparou-se o valor com a referência de Maizonave *et al.* (2005), que calculou para um nível de água dito “normal” (sem maiores especificações), um volume aproximado de 3,0 hm³. O método utilizado estimou um volume de 3,0 hm³ para a cota de 51,2 m. Foi utilizada como condição de contorno um hidrograma, e a mancha de inundação foi o pico, estimado em 1.540 m³/s, considerando uma cota inicial de 52 m.

A equação *Fit* foi utilizada para identificar a similaridade de áreas, no caso, as potenciais inundações simuladas em 1D e 2D, 100%, significa similaridade total (BATES *et al.*, 2006).

2.3. Risco

Nesse artigo, risco é uma função de perigo (probabilidade de um fenômeno natural) e vulnerabilidade (dano potencial) (CARDONA *et al.*, 2012), e foi estruturado com um subíndice de perigo baseado em três metodologias e um subíndice de vulnerabilidade estruturado a partir da metodologia de Goerl (2010). A multiplicação dos fatores será o resultado do índice de risco, classificado em alto, médio e baixo. A escala do estudo foi o setor censitário.

2.3.1. Subíndice de perigo

Por perigo, define-se como possível ocorrência futura de eventos físicos naturais ou induzidas pelo homem que podem ter efeitos adversos sobre elementos vulneráveis e expostos (CARDONA *et al.*, 2012). As variáveis que foram utilizadas são: velocidade e profundidade da água (WRIGHT, 2008); e mais três variáveis indicadas por Kreibich *et al.* (2009): intensidade, indicador de força do escoamento (produto da profundidade pelo quadrado da velocidade) e energia específica (Tabela 1). Nesse trabalho foram somados todos os indicadores em uma única equação (1), diferente da metodologia Neto *et al.* (2016), que apenas combinam velocidade e profundidade da água, e os demais indicadores são demonstrado separados. Como há unidades dimensionais diferentes, os valores serão escalonados em 1 (baixo), 2 (médio) e 3 (alto), resultados fracionados (e.g. 1,5) serão adotados para o valor superior mais próximo (e.g. 2).

Tabela 1. Limiares de indicadores para o índice de perigo (adaptado de Neto *et al.* 2016).

Indicador	Baixo	Médio	Alto
Profundidade da água (m)	0-0,60	0,60-1,20	>1,20
Velocidade (m/s)	0-0,60	0,60-1,20	>1,20
Energia específica (m)	0-1,0	1,0-2,0	>2,00
Força do escoamento (m ³ /s ²)	0-1,0	1,0-2,0	>2,00
Intensidade (m ² /s)	0-0,36	0,36-1,50	>1,50

$$IP = \frac{h + v + E + F + I}{5} \quad (1)$$

onde: *IP*: índice de perigo; *h*: profundidade da água; *v*: velocidade; *E*: energia específica; *F*: força do escoamento e *I*: Intensidade.

Esses resultados serão comparados com a metodologia precisa de Neto *et al.* (2016) e de Stephenson (2002).

2.3.2. Subíndice de vulnerabilidade

Por vulnerabilidade, entende-se a propensão dos elementos expostos, seus meios de subsistência, e ativos a sofrer efeitos adversos quando impactado por eventos de perigo (CARDONA *et al.*, 2012). O índice de vulnerabilidade foi baseado na metodologia de Goerl (2010), os dados são do censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE).

Para uniformizar com os dados de perigo, os valores foram escalonados entre 0 e 1, através da equação (2), sendo 0, o valor mínimo e 1, o valor máximo.

$$Ve = \frac{Vo - Vmín}{Vmáx - Vmín} \quad (2)$$

onde: *VE*: Valor escalonado; *Vo*: Valor observado; *Vmín*: Valor mínimo; *Vmáx*: Valor máximo.

A série de foi dividida em três grupos, com igual número de ocorrências, compreendendo 33,33 % do total dos valores, cada, um limiar de corte objetivo e quantitativo. Assim, pode ser diferenciado nas três classes: baixo (1), médio (2) e alto (3).

2.3.3. Índice de risco

O índice representa o estado de um fenômeno observado e proporcionam a simplificação de um conjunto grande de dados, e de escalas diferentes. Por isto, através dos subíndices de Perigo e de Vulnerabilidade, foi alcançado o Índice de Risco (GOERL, 2010) (3).

$$IR = IP \cdot IV \quad (3)$$

Onde: *IR*: Índice de risco; *IP*: Índice de perigo; e *IV*: Índice de vulnerabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Mancha de inundação 1D e 2D

Os resultados das simulações foram elucidativos sobre a limitação da simulação 1D no exutório do Arroio Dilúvio, pouco inundado, enquanto que na simulação 2D, para essa mesma localidade, há uma vasta inundação. Nos últimos 9 km do arroio há uma extensa planície de inundação densamente povoada, e os resultados precisam trazer uma realidade aproximada. Além disso, há cotas nas margens que são mais altas que a planície de inundação, causando uma limitação no modelo 1D, pois leva em consideração nível da água na seção transversal, inundando tudo que estiver abaixo desse nível. No 2D, existe a interação entre canal e planície de inundação. A similaridade entre as áreas foi de 55,53%, pela equação *Fit*, além de 1,79 km² de diferença entre as manchas 1D (7,196 km²) e 2D (8,965 km²). Os resultados apresentam que há limitações importantes no 1D, podendo gerar informações e ações errôneas, pois a similaridade deveria estar acima de 80% ou mais (BATES *et al.*, 2006). Devido a essas condicionantes, decidiu-se utilizar apenas os resultados apresentados em 2D.

3.2. Perigo especializado

Das metodologias utilizadas, duas se destacaram por ter índices de perigo baixo. O índice de perigo de Neto *et al.* (2016) teve maior concentração em perigo médio. Dessas metodologias, apenas a de Stephenson (2002), utilizou testes empíricos para determinar a classe de perigo (Tabela 2 e Figura 2).

Tabela 2. Percentuais dos limiares de classificação dos indicadores e dos índices de perigos.

Indicadores e Subíndice de Perigo	Porcentagem (%)		
	Baixo	Médio	Alto
Profundidade da água (<i>h</i>) (m)	15,48	21,25	63,27
Velocidade (<i>v</i>) (m/s)	85,08	6,90	8,02
Energia específica (m)	96,51	2,86	0,63
Força do escoamento (m ³ /s ²)	85,39	3,03	11,58
Intensidade (m ² /s)	44,75	40,11	15,14
Índice de Perigo	85,35	14,03	0,62
Índice de Perigo $((h+v)/2)$ (NETO <i>et al.</i> , 2016)	36,30	55,90	7,80
Índice de Perigo $(h.v)$ (STEPHENSON, 2002)	66,86	16,24	16,90

3.3. Índice de Vulnerabilidade

O índice é composto de vários indicadores sociais e eles, em média, foram baixos ou de média vulnerabilidade, principalmente relacionados à população, densidade demográfica e pessoas por domicílio, além da taxa de dependentes. Essas taxas baixas podem ter relação com o uso de escalonamento objetivo, o que potencialmente coloca muitos setores com valores baixos, pois as influências de poucos dados com valores muito altos podem colocar valores médios como baixo. Essa é a limitação. A taxa de analfabetos e a taxa de responsável foi média e de baixa vulnerabilidade, porém foram determinantes para o subíndice de vulnerabilidade ser, em sua maioria, médio (Tabela 3).

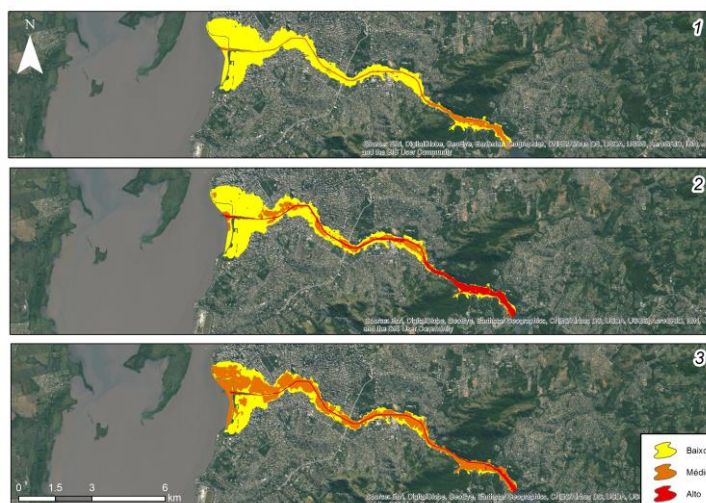


Figura 2 - Índices de perigo (1 – metodologia do estudo; 2 - metodologia de Neto; Batista e Coutinho (2016) e; 3 – metodologia de Stephenson (2002)).

Tabela 3. Percentual da classificação da vulnerabilidade das áreas inundadas.

Indicador	Porcentagem (%)		
	Baixo	Médio	Alto
Vulnerabilidade (GOERL, 2010)	14,83	78,55	6,62

3.4. Índice de risco

Os resultados demonstram que a tendência foi de risco baixo a médio, seja qual for a metodologia, a região possui dados socioeconômicos que fazem a vulnerabilidade ser menor, assim, este subíndice influencia nos resultados do índice de risco, que ficaram entre baixo e médio (Figura 3 e Tabela 4). Os índices e indicadores utilizados nesse trabalho focam em dados com o mesmo peso; outros trabalhos utilizam análise hierárquica como AHP (ZONENSEIN, 2007), o que coloca hierarquias de importância de cada variável.

A área próxima ao rompimento da barragem gera maior preocupação, pois tanto os índices de perigo, vulnerabilidade e conseqüentemente risco, são maiores nessa região. Esses resultados são conseqüência das condicionantes físicas, que a impactam rapidamente, antes de se dissiparem a jusante. Além disso, trata-se de uma região com vulnerabilidade média, visto que as condições sociais são mais limitadas.

Tabela 4. Resultados dos índices de riscos com cada subíndice de perigo utilizado no estudo.

Indicador	Porcentagem (%)		
	Baixo	Médio	Alto
Índice de Risco	86,14	13,85	0,01
Índice Risco (NETO <i>et al.</i> , 2016)	69,97	28,86	1,17
Índice de Risco (STEPHENSON, 2002)	46,22	53,41	0,37

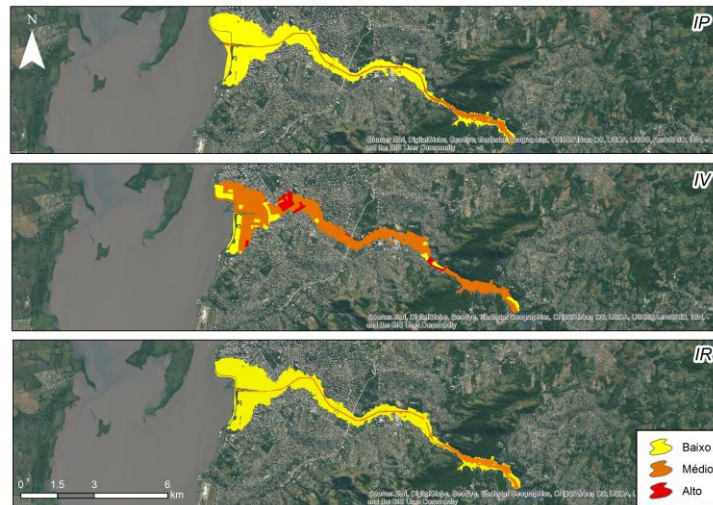


Figura 3 - Índice de risco com a metodologia de perigo do estudo e o índice vulnerabilidade da metodologia de Goerl (2010).

CONCLUSÕES

O estudo focou em demonstrar uma metodologia viável para suprir as necessidades de uma barragem com alto DPA e contribuir no seu PAE.

O avanço para modelos 2D possibilita que os resultados possam ter maior fiabilidade no quesito dinâmica canal-planície de inundação, sem possíveis falsas inundações ou omissão de áreas inundadas, para diminuir esse fator eram necessários rearranjos no modelo 1D, feitos de forma manual. Fato é, que os modelos representam a base para simular possíveis rompimentos de barragem.

As simulações de inundação trazem um primeiro passo nos estudos de rompimento de barragem; todavia, é preciso analisar os riscos de quem está ao redor dela, qual o impacto que irão sofrer e a fragilidade que possuem. Porém, técnicos e pesquisadores precisam balizar quais variáveis geram informação fidedigna, e analisar quais influenciam ou não, e se podem omitir uma determinada realidade nos índices. O índice de risco não torna excludente os resultados dos subíndices de vulnerabilidade e de perigo, sendo estes norteadores para a melhorias no planejamento urbano (medidas estruturais e não estruturais) e melhoria socioeconômica da população. Escalonar os valores pode ser quantitativo e objetivo. Todavia, pode não representar um indicador da forma correta, pois pode haver limiares pré-estabelecidos para um determinado indicador.

No caso de perigo, os indicadores precisam ser bem analisados, e se possível testados empiricamente ou que tenham comprovação da sua importância nos resultados. Contudo, como computar, escalonar e equacionar, influenciará no produto final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de Doutorado e de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2016). *Relatório de segurança de barragens 2015*. Brasília: Agência Nacional de Águas (ANA).
- ANA. (2012). *Resolução N° 91/2012*. [S.l.]: Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2012/91-2012.pdf>. Acesso em 10 mai. 2017.
- BATES, P. D.; WILSON, M. D.; HERRITT, M. S.; MASON, D. C.; HOLDEN, N.; CURRIE, A. (2006). Reach scale floodplain inundation dynamics observed using airborne synthetic aperture radar imagery: Data analysis and modelling. *Journal of Hydrology* 328(1–2), pp. 306–318. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.028>. Acesso em 11 ago. 2013.

- BRASIL. (2010). *Lei 12.334/2010*. Brasil: Casa Civil. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em 14 mai. 2017.
- CARDONA, O. D.; VAN AALST, M. K.; BIRKMANN, J.; FORDHAM, M.; MCGREGOR, G.; PEREZ, R.; PULWARTY, R. S.; SCHIPPER, E. L. F.; SINH, B.T. (2012). *Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge and New York: [s.n.]. Disponível em https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Chap2_FINAL.pdf. Acesso em 17 mai. 2017.
- CNRH. *Resolução nº 143/2012*. (2012). Brasil: Conselho Regional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/semarh/DOC/DOC00000000020854.PDF>. Acesso em 4 jun 2017.
- GOERL, R. F. (2010). *Estudo de inundações em Rio Negrinho - SC sob a ótica dos desastres naturais*. 2010. 121f. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93861>. Acesso em 15 mai. 2017.
- HALTAS, I.; TAYFUR, G.; ELCI, S. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, Izmir, Turkey. *Natural Hazards* 81 (3), pp. 2103–2119. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-016-2175-6>. Acesso em 8 jun. 2017.
- JOUZDANI, A.; KABIRI-SAMANI, A. (2011). Investigations of the difference in dam break modeling approaches between 1-D and 2-D hydrodynamic model. *Applied Mechanics and Materials* 90–93, pp. 2423–2426. Disponível em: <http://www.scientific.net/AMM.90-93.2423>. Acesso em 24 mai. 2017.
- KREIBICH, H.; PIROTH, K.; SEIFERT, I.; MAIWALD, H.; KUNERT, U.; SCHWARZ, J.; MERZ, B.; THIEKEN, A. H. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Natural Hazards and Earth System Science* 9 (5), pp. 1679–1692. Disponível em: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1679/2009/>. Acesso em 24 mai. 2017.
- MAIZONAVE, C.R.M.; BENDATI, M.M.; WERNER, V. R.; CYBIS, L. F. A.; CARVALHO, E.N. (2005). Avaliação planctônica do reservatório da Lomba do Sabão (Porto Alegre, RS) com ênfase na ocorrência de cianobactérias: Implicações para o abastecimento público. In: *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, Set. 2005*, pp. 1-8. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/106340/000487182.pdf?sequence=1>. Acesso em 8 mai. 2017.
- MARTIN, J. L.; MCCUTCHEON, S. C. (1998). *Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling*. Boca Raton: CRC Press.
- NETO, A. R.; BATISTA, L. F. D. R.; COUTINHO, R. Q. (2016). Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas : municipality of Ipojuca/PE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)* 21 (2), pp. 377–390. Disponível em: http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=190&SUMARIO=5192&ST=metodologias_para_gerao_de_mapa_de_indicadores_de_perigo_e_areas_inundaveis_municipio_de_ipojuca_pe. Acesso em 1 abr. 2017.
- STEPHENSON, D. (2002). Integrated flood plain management strategy for the Vaal. *Urban Water* 4 (4), pp. 423–428. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075802000328>. Acesso em 9 mai. 2016.
- TSCHIEDEL, A. F. (2017). *Avaliação de fontes de incerteza em estudos de rompimentos de barragens*. 132 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- USACE. *HEC-RAS River Analysis System – 2D Modeling User’s Manual*. (G. W. Brunner, Org.)Davis: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS 5.0 Users Manual.pdf>. Acesso em 9 mai. 2016.
- USACE. *Using HEC-RAS for a Dam Break Studies*. (G. W. Brunner, Org.)Davis: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/publications/TrainingDocuments/TD-39.pdf>. Acesso em 16 fev. 2017.
- WRIGHT, J. M. (2008). *Floodplain Management Principles and Current Practices*. Knoxville: [s.n.].
- ZONENSEIN, J. (2007). *Índice de risco a cheias como ferramenta de gestão de enchentes*. 2007. 105 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://wwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2007/Teses/ZONENSEIN_J_07_t_M_rhs.pdf. Acesso em 17 mai. 2017.