

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ALERTA E REDUÇÃO DE PERDAS DE VIDAS ASSOCIADAS À RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM DA PAMPULHA –MG

André Felipe Rocha da Silva¹; Julian Cardoso Eleutério², Nilo de Oliveira Nascimento³

Palavras-Chave – Avaliação de risco de inundações, Fatalidades, HEC-LifeSim.

INTRODUÇÃO

Com recentes atualizações na legislação brasileira destinada à segurança de barragens (Lei 14.066/2020), dispositivos relacionados ao planejamento em situações emergenciais se tornaram mais rigorosos, com a exigência de determinação de vulnerabilidades sociais, instalação de sistemas de alerta e definição de rotas de fuga e de pontos de encontro para possível evacuação em caso de sinistro. A análise prospectiva de fatalidades ocasionadas por inundações associadas a diferentes cenários de alerta e evacuação pode fornecer importantes subsídios à elaboração desse planejamento. Essa tipologia de dano se encontra entre as consequências mais relevantes de um evento de inundaçao pelo fato de ser quantificada de maneira objetiva e por ser impactante na percepção pública de desastres (Jonkman *et al.*, 2003).

Existem na literatura diversos modelos de estimativa de perdas de vidas sobre os quais Silva e Eleutério (2019) apresentam uma revisão detalhada. Dentre esses, o modelo HEC-LifeSim se destaca como dos mais atuais e completos para os fins propostos. O modelo é o mais utilizado em empresas de consultorias e de seguros na América do Norte (Needham *et al.*, 2016), sendo aplicado também em diversos estudos (Risher *et al.*, 2017; Hill *et al.*, 2018; Kalinina *et al.*, 2018; Leong-Cuzack *et al.*, 2019; Wang, 2019). O HEC-LifeSim incorpora integralmente o modelo baseado em agentes LifeSim (Aboelata e Bowles, 2005) e possui a aplicação crescente em diversos países por ainda apresentar alguns impedimentos face à necessidade de grande quantidade e qualidade de dados de entrada.

A realização de análises completas envolvendo simulações de perdas de vida e efeitos potenciais de sistemas de alerta e evacuação em termos de redução de risco ainda é muito incomum em estudos nacionais. No entanto, os ganhos potenciais em termos de subsídio à gestão de risco relacionados à estudos mais robustos são numerosos. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal a apresentação do desenvolvimento metodológico desse tipo de estudo, para um estudo de caso hipotético nacional, a Barragem da Pampulha, em Minas Gerais.

A Barragem da Pampulha forma um reservatório urbano de mesmo nome, com capacidade de 10 hm³, ao norte de Belo Horizonte. Atualmente, a estrutura tem como função de contenção de sedimentos, paisagismo e amortecimento de eventos de cheia no Ribeirão Pampulha, viabilizando o aeroporto da Pampulha. A região a jusante do barramento é, por sua grande maioria, ocupada por uma área urbana altamente adensada de Belo Horizonte. O trecho possuiu aproximadamente 16,7 quilômetros de percurso, seguindo pelo Ribeirão Pampulha até confluência com o Ribeirão do Onça, que tem como foz o Rio das Velhas (Vianini Neto, 2016).

1) Aluno do programa de pós-graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, andre.felipe194@gmail.com.

2) Professor pesquisador no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, e no programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil; julian.eleuterio@gmail.com.

3) Professor pesquisador no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, e no programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil; niloon@ehr.ufmg.br.

O presente trabalho faz uso do HEC-LifeSim 1.0.1 (USACE, 2018) para estimar fatalidades relacionadas ao rompimento hipotético da barragem da Lagoa da Pampulha para diferentes cenários de alerta e evacuação. Este, além de integrar resultados do projeto de extensão entre a Universidade Federal de Minas Gerais e a Prefeitura de Belo Horizonte para desenvolvimento do Plano de Ações Emergenciais (PAE) da Barragem da Pampulha, é oriundo de um resumo expandido publicado no II Encontro Nacional de Desastres (Silva *et al.*, 2020) e faz uso de uma base de dados explorada em profundidade por Silva *et al.* (2021) no contexto de uma avaliação de vulnerabilidade.

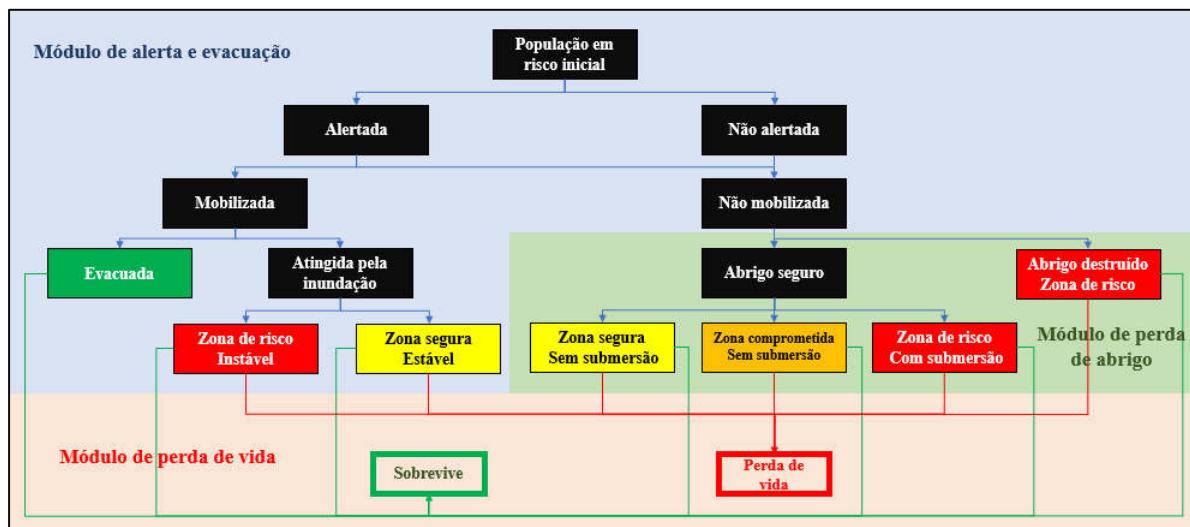
METODOLOGIA

O software HEC-LifeSim é constituído por um modelo baseado em agentes, proposto por Aboelata e Bowles (2005), estruturado por meio de um sistema de modelagem modular, em que os módulos trocam informações entre si por intermédio de um banco de dados que inclui diversas camadas e tabelas de sistemas de informações geográficas.

Os quatro principais módulos presentes no modelo são: 1) o módulo de rotina da inundação, que apresenta um conjunto de redes representando, ao longo de toda área e período, as características da inundação; 2) o módulo de perda de abrigo, que simula a exposição de pessoas em construções durante cada evento como resultado de danos estruturais e critérios de submersão; 3) o módulo de alerta e evacuação, que simula a distribuição e dinâmica da população em risco após a emissão do alerta; e 4) o módulo de perda de vida, que estima as perdas por meio de distribuições de probabilidades obtidas por um conjunto de eventos de inundações.

Um esquema geral demonstrando as interações entre esses módulos é apresentado na Figura 1. O módulo de rotina da inundação interage com os outros por meio de trocas de informações pelas diversas camadas de sistemas de informações geográficas. Além disso, simulações de Monte Carlo são utilizadas para quantificar a incerteza aleatória no processo de alerta e evacuação, e no potencial de perdas de vidas. Diversos parâmetros do modelo podem ser inseridos considerando a sua variabilidade, permitindo também se quantificar as incertezas epistêmicas existentes. A seguir, os módulos com os respectivos dados considerados neste estudo, são mais detalhados.

Figura 1: Esquema da abordagem de estimativa de perdas de vidas do HEC-LifeSim.



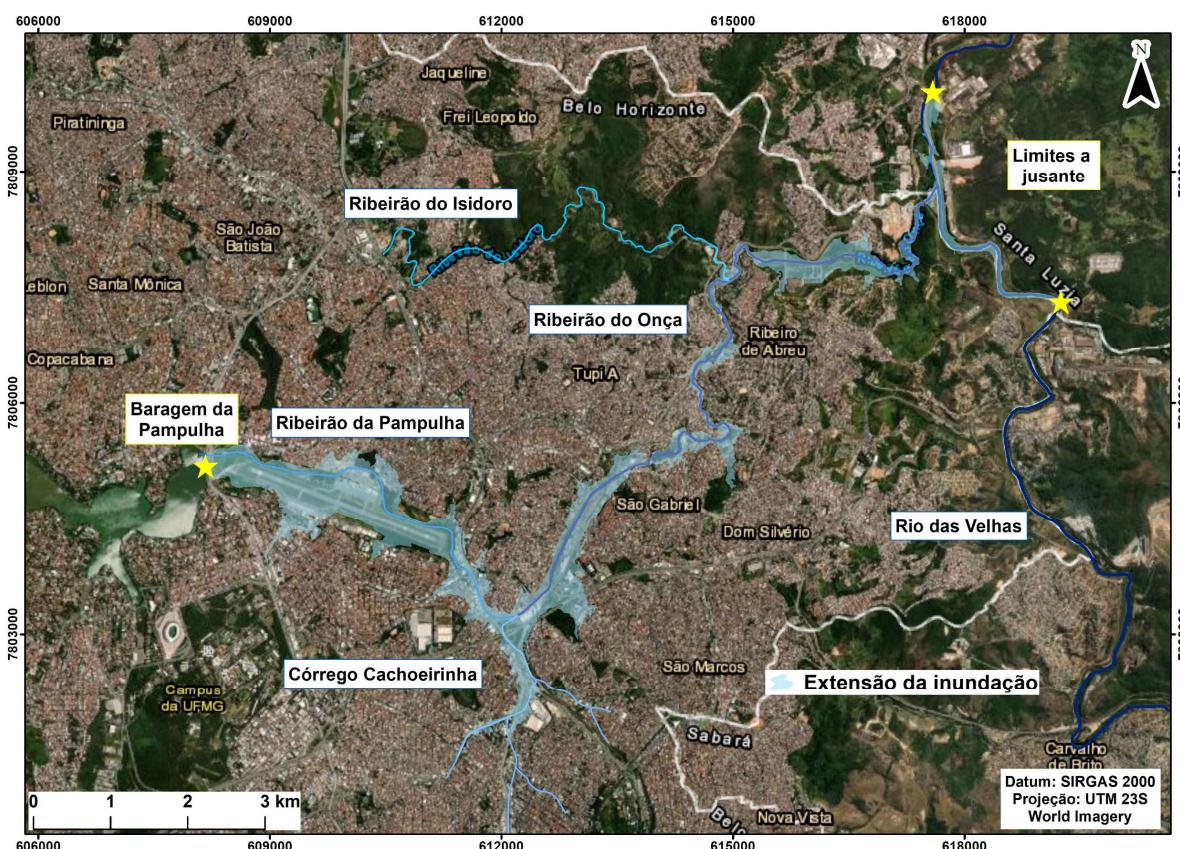
Fonte: Adaptado de Bowles (2007).

Módulo de rotina da inundação

São aceitos diretamente como entrada nesse módulo os dados obtidos em simulações dos modelos hidráulicos HEC-RAS e FLO-2D. Para os demais modelos hidráulicos, é possível a inserção dos dados de profundidade e velocidade por meio de diversas camadas para períodos de tempo diferentes contendo informações dos valores desses parâmetros.

O cenário de inundação considerado foi simulado com o modelo HEC-RAS 5.0.7 com escoamento bidimensional e com hidrograma de ruptura hipotético obtido pela ruptura por *piping*, segundo Dinésio Franco (2015). A Figura 2 apresenta a extensão da inundação do cenário simulado.

Figura 2: Extensão da mancha de inundação do cenário adotando o hidrograma de ruptura proveniente do estudo de Dinésio Franco Engenharia/Geotecnia (2015).



Módulo de perda de abrigo

As construções são inseridas no modelo por meio de um arquivo vetorial contendo informações como: localização, tipo de ocupação, material de construção, número de andares, população com menos de 65 anos e população com mais de 65 anos.

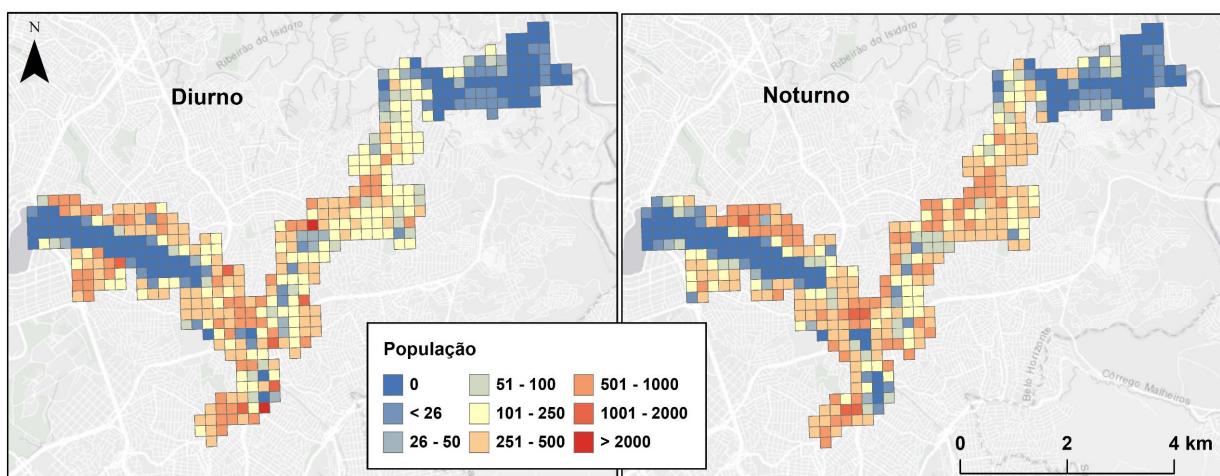
Para submersão nas construções, três zonas de inundação são definidas fisicamente pela interação entre abrigo existente e profundidades resumidas da seguinte forma: zona de risco (*chance zone*), que limita uma área na qual a probabilidade de perdas de vidas é alta; zona comprometida (*compromised zone*), que representa uma área com uma probabilidade moderada de perdas de vidas; e zona segura (*safe zone*), que define uma zona de probabilidade muito baixa de perdas de vidas.

Para cada zona citada é definido um limiar inicial considerando o critério de mobilidade (população com mais de 65 anos e menos de 65 anos). Os limiares são variados e estão relacionados

ao tipo de ocupação e aos números de andares das construções. Para danos estruturais em construções, a estabilidade é definida por critérios de velocidade e profundidade, também considerando o tipo de ocupação, material de construção e números de andares. No HEC-LifeSim, são utilizados os critérios definidos por USACE (1985) e RESCDAM (2000). A partir do momento que o critério de estabilidade é alcançado, causando o colapso da estrutura, a população é alocada na zona de risco.

O módulo de perda de abrigo foi caracterizado pelas construções e pela população exposta ao risco nos períodos diurno e noturno por meio de um mapeamento da exposição do vale a jusante da região a inundações, realizado por Silva *et al.* (2021). Por meio do uso de dados secundários, os autores estimaram 38.002 construções com populações totais de 101.865 e 106.520 pessoas, em horários diurnos e noturnos, respectivamente, sendo que, em ambos os períodos, aproximadamente 7,5% dessas populações totais eram de indivíduos com mais de 65 anos de idade. A distribuição da população agregada na grade estatística, que é produto do censo demográfico de 2010, é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Populações estimadas agregadas nos limites da grade estatística para períodos diurnos e noturnos.

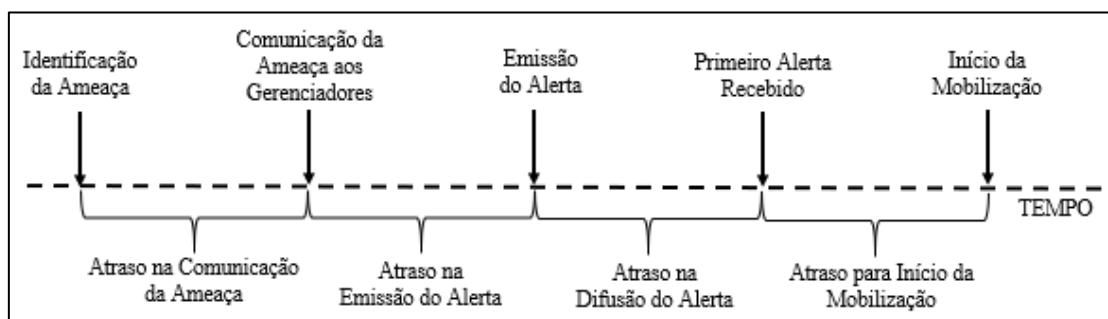


Fonte: Silva *et al.* (2021).

Módulo de alerta e evacuação

O processo de alerta e evacuação representado no HEC-LifeSim possui diversos marcos que são separados por intervalos de atraso no tempo como demonstrado na linha do tempo da Figura 4.

Figura 4: Linha do tempo do processo de alerta e evacuação dentro do software HEC-LifeSim.



Fonte: Adaptado de USACE (2018).

A linha do tempo se inicia quando há a identificação da ameaça iminente e apresenta o primeiro atraso em relação à comunicação da ameaça aos gerenciadores. Nessas situações não existem estudos que auxiliem na determinação desses valores; sendo assim, o usuário deve determinar o tempo considerando as características do caso analisado. Diferentemente, os outros três atrasos sequentes possuem pesquisas que embasam a escolha do tempo utilizado por meio de estudos e equações propostas conforme apresentado por Sorense e Milet (2015 a, b, c).

Para o atraso na emissão do alerta, que é definido como tempo para o momento em que os gerenciadores recebam a notificação da ameaça iminente até a emissão de uma ordem de evacuação ao público, Sorense e Milet (2015a) destacam a existência de poucos trabalhos sobre o tempo para tomar a decisão de emissão de alerta. A maioria das pesquisas realizadas está relacionada a emergências químicas. No entanto, como muitos acidentes químicos envolvem eventos de movimento rápido que exigem decisões rápidas e possuem um potencial de fatalidades, os resultados são relevantes para outras situações perigosas, como em rupturas de barragens. A partir da análise desses casos históricos, Sorense e Milet (2015a) apresentam a seguinte equação:

$$p = 1 - e^{(-at^b)} \quad (1)$$

na qual: p é a probabilidade de atraso na decisão; t é o tempo ($[t]$); e a e b são coeficientes específicos para ajuste dos dados empíricos.

Para o atraso na difusão do alerta, que é o período entre a emissão do alerta e quando esse alerta é recebido pela população em risco Sorense e Milet (2015b) consideram dois principais fatores: o envio do primeiro alerta, que abrange o uso de tecnologias, canais de disseminação e repetição do alerta; e o recebimento do primeiro alerta, que envolve características da população e do evento que influenciam o processo de difusão do alerta.

Sorense e Milet (2015b) discutem um específico modelo de difusão do primeiro alerta. São destacadas como variáveis que influenciam: o alerta direto, que é o alerta diretamente recebido por um canal de comunicação; e o alerta indireto, que é o alerta recebido por meio de mensagens informais de amigos, vizinhos, colegas trabalho e parentes. Com isso, a partir da análise de casos históricos de inundações, erupções vulcânicas e acidentes químicos com uma variabilidade elevada de tempo na difusão de alerta, Sorense e Milet (2015b) apresentam a seguinte equação:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = Pu_t * (Bt + Ct - Bt * Ct) \quad (2)$$

na qual: W é a população alertada; $\frac{\Delta W}{\Delta t}$ é a taxa de população alertada no tempo t ; Pu_t é a população que não foi alertada no tempo t ; Bt é o coeficiente relacionado à eficácia do sistema de alerta direto; e Ct é o coeficiente relacionado à eficácia do alerta indireto.

Para o atraso no início da mobilização, que é o tempo demorado para a população tomar uma medida de proteção após recebimento do alerta, Sorense e Milet (2015c), mediante a análise de mobilização em casos históricos de furacões, inundações e acidentes com materiais desenvolveram um modelo relacionando a resposta da população à velocidade de mobilização e ao tempo médio para início dessa mobilização, conforme apresentado a seguir:

$$P_t = 1 - e^{(-(t^2)/a_m b_m^2)} \quad (3)$$

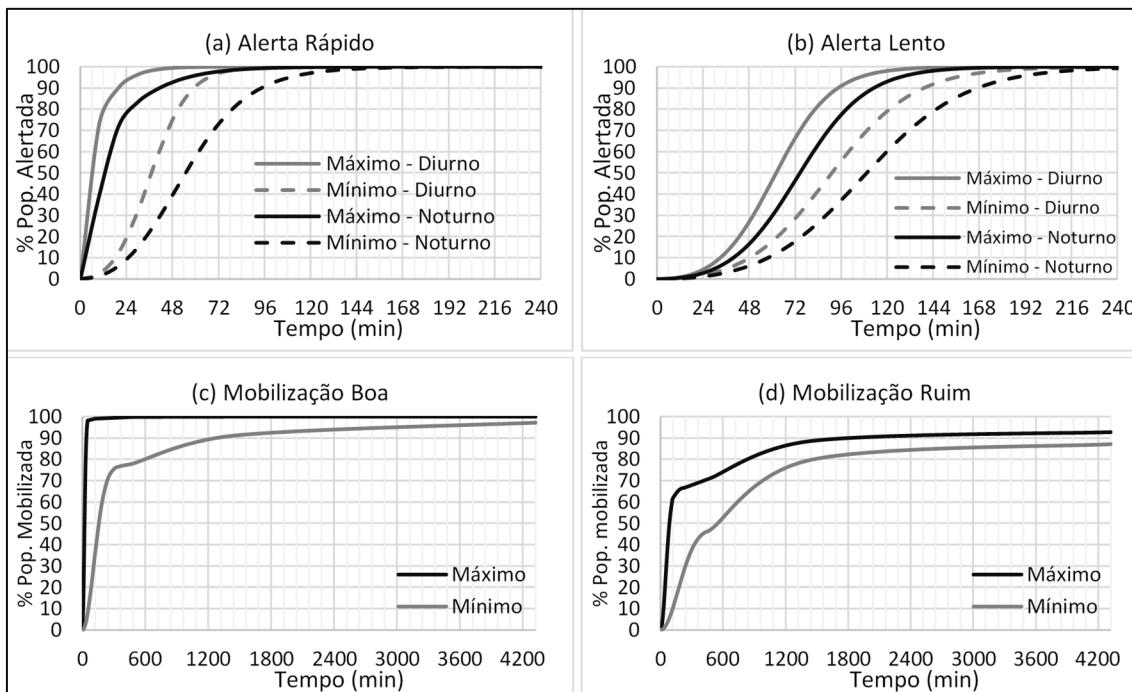
na qual: P_t é a probabilidade acumulativa de ser mobilizado no tempo t ; a_m é o coeficiente relacionado à velocidade da mobilização; e b_m é o coeficiente relacionado ao tempo médio para mobilização.

Para cada equação apresentada anteriormente, nos próprios trabalhos, são indicados valores de coeficientes a depender das características da população, do alerta emitido e do evento. Sendo que HEC-LifeSim já incorpora esses valores recomendados.

Em relação à dinâmica da evacuação, o modelo de transporte de Greenshields *et al.* (1935) é utilizado para representar os efeitos da densidade do tráfego e capacidade da via na velocidade dos veículos. A quantidade de veículos é obtida pela taxa de ocupação desses veículos determinada pelo usuário. Essa taxa só é considerada para pessoas que evacuam em veículos, parâmetro que também é definido pelo usuário.

Caso os veículos ou pessoas sejam alcançados pela inundação durante a evacuação, os critérios de estabilidade indicados por USACE (2018) são aplicados. Se esses critérios são excedidos, a população afetada é alocada na zona de risco; se não excedidos, a alocação é na zona segura.

Figura 5: Curvas teóricas utilizadas: a) alerta rápido, b) alerta lento, c) mobilização boa, d) mobilização ruim.



Fonte: Sorensen e Mileti (2015b, c).

Para o presente estudo, foram elaborados dois cenários de alerta e evacuação (cada um com discretização entre condições diurnas e noturnas) que são mais bem detalhados a seguir:

- **Cenário Ineficiente:** reprodução de uma região que está pouco preparada para reagir à emergência de ruptura da barragem. As faixas de coeficientes das equações do atraso na difusão do alerta e do atraso para início da mobilização foram determinadas para representar essa situação. Neste caso, a escolha foi baseada em indicações para representação de um sistema de alerta com uma difusão ineficiente (curva de alerta lento diurno e noturno Figura 5b) e de uma indevida preparação da população para a mobilização (curva de mobilização ineficiente diurna/noturna Figura 5d). Para o período entre a identificação da ameaça e a emissão do alerta, foi adotado um intervalo suficientemente longo (de 0 a 24 horas – 0 a 1440 minutos), com fim no início da ruptura e caracterizado por incerteza uniforme, para verificação do tempo ótimo de ação dos agentes envolvidos no gerenciamento da situação de emergência. Os modos de evacuação (a pé e de carro) foram determinados de forma aleatória dentro do modelo, respeitando uma porcentagem de 50% para

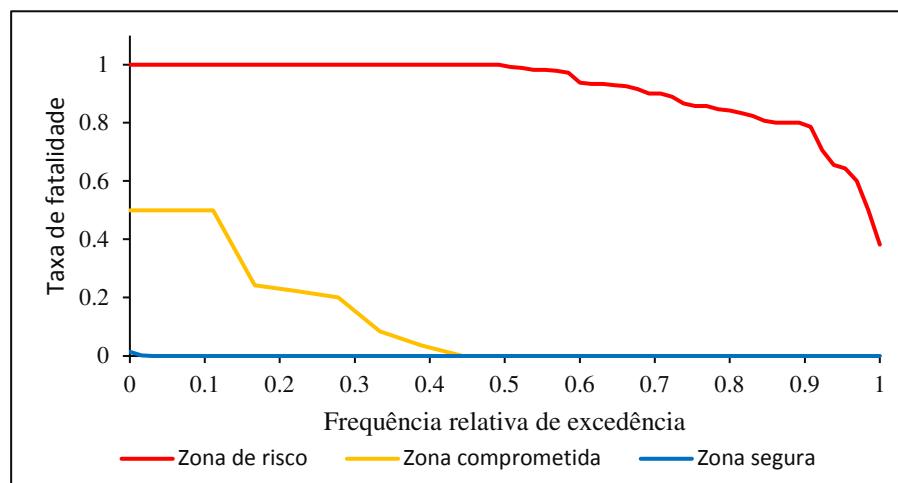
cada, dado que não se pode conhecer *a priori* qual seria o método de evacuação prioritário na ausência de planejamento.

- **Cenário Eficiente:** escolha de faixas de coeficientes mais eficientes no que concerne a difusão do alerta e do atraso para início da mobilização na tentativa de representar da forma mais eficiente possível o sistema de alerta (curva de alerta rápido diurno Figura 5a) e da mobilização e resposta da população (curva de mobilização eficiente diurna/noturna Figura 5c). Para o período entre a identificação da ameaça e a emissão do alerta, a caracterização é consequência dos testes realizados, semelhantes ao anteriormente descrito. Previamente, foram realizados testes relativos ao modo de evacuação (50% a pé e 50% com uso de veículo automotivo; e evacuação 100% a pé) de forma a se identificar as rotas a serem evitadas, os pontos mais seguros para evacuação e otimizar a evacuação a pé ou com uso de veículo automotivo. Porém, os resultados não foram muito sensíveis à alteração desse parâmetro. Desse modo, fração de modo de evacuação foi semelhante ao cenário ineficiente. Por possuir mais de 100 mil pessoas na região de interesse, a evacuação por meio de veículos, mesmo sendo rápida, pode apresentar limitações relativas ao tráfego. Por outro lado, a evacuação a pé não é impactada por congestionamentos, mas possui uma velocidade menor comparada à evacuação em veículos, para algumas situações.

Módulo de perda de vida

O módulo de perda de vida consiste na aplicação das distribuições de probabilidade de taxas de fatalidade para cada população que está alocada nas zonas de inundação. As curvas (Figura 6) foram obtidas por Aboelata *et al.* (2003) pela análise de 250 zonas homogêneas de inundação de 54 casos históricos majoritariamente de eventos causados por ruptura de barragem. A frequência relativa de excedência representa a probabilidade de receber uma determinada taxa de fatalidade. Por exemplo, em 50% das situações em que a população foi alocada na zona de risco, a taxa de fatalidade foi de 100%.

Figura 6: Distribuições de probabilidade de taxas de fatalidade utilizados no HEC-LifeSim 1.0.1 para cada zona de inundação.



Fonte: Aboelata *et al.*, 2003

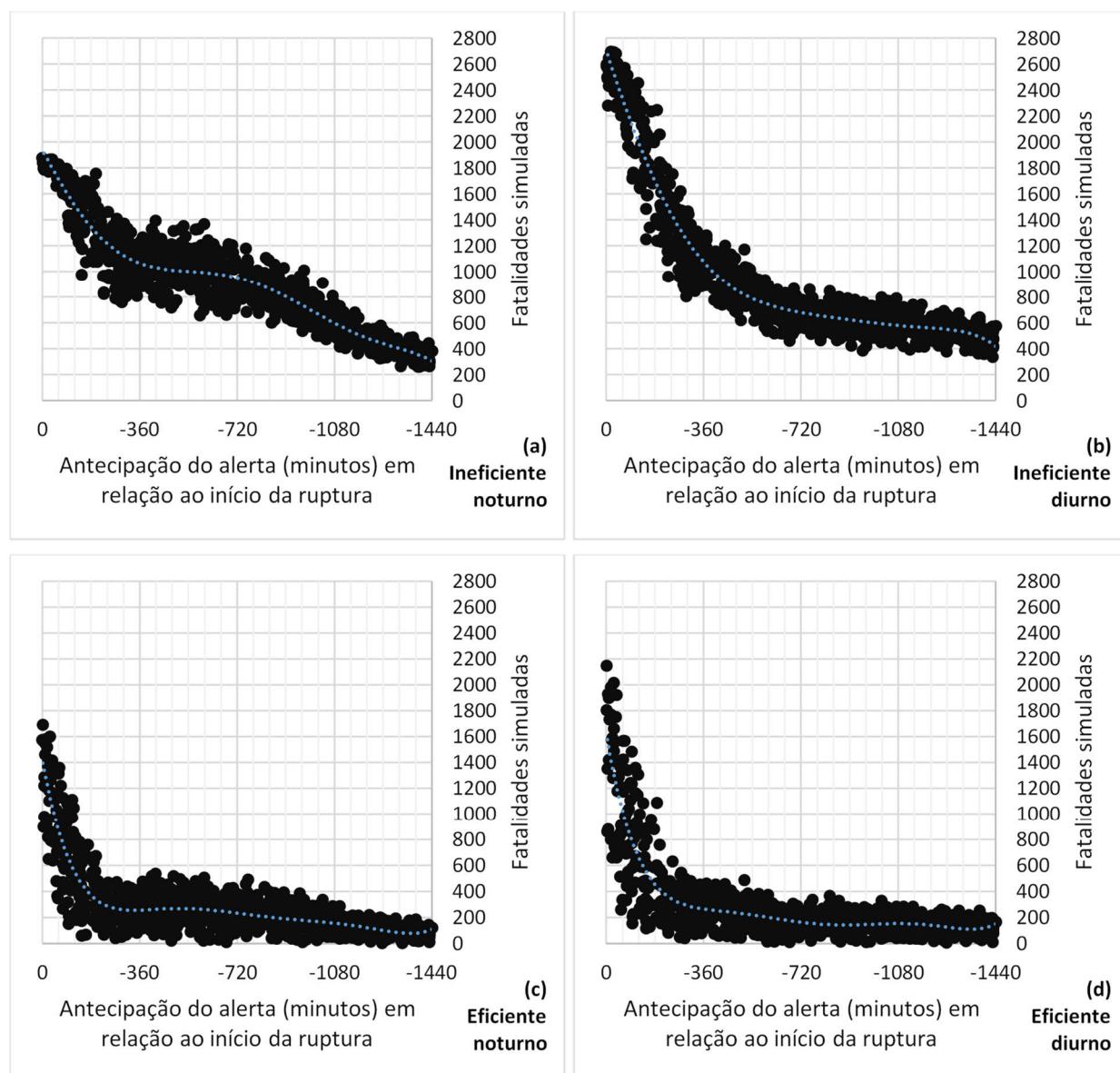
Para completar essas interações entre os módulos, foram incorporados ao modelo a malha viária, proveniente do *OpenStreetMap*, e determinados pontos de encontro fora da área inundável, que orientam a evacuação. Para cada cenário foram realizadas 1.000 simulações por aplicação do

método Monte Carlo para sorteio dos parâmetros com base probabilística entre os valores mínimos e máximos das faixas definidas para antecedência do alerta, curvas de alerta e mobilização.

RESULTADOS

Com base nos resultados das simulações (Figura 7), observa-se um efeito nítido no potencial de redução de fatalidades ao se incrementar os sistemas de alerta e a capacidade de mobilização no local, favorecendo a evacuação mais eficiente em caso de sinistro.

Figura 7: Resultados das 1.000 simulações realizadas para cada cenário: a) cenário ineficiente noturno, b) cenário ineficiente diurno, c) cenário eficiente noturno, d) cenário eficiente diurno.



Quando comparados os cenários ineficiente e eficiente para um evento noturno, constata-se um dano máximo quando o alerta é emitido sem antecedência em relação ao início do evento, com diferença média de fatalidades entre os cenários da ordem de 22%. Para o evento diurno, analisado segundo as mesmas premissas, essa diferença média entre os cenários é de 32%. Percebe-se o enorme

potencial de redução de danos provido por melhora potencial na eficiência do alerta e mobilização. Quando analisada a simulação mais otimista de um alerta emitido com tempo de antecipação de 24 horas (1.440min), observa-se que, em ambos os períodos, o valor mínimo de dano simulado é 96% menor para o cenário eficiente comparado ao ineficiente.

Constatou-se também a existência de limites relacionados ao tempo do alerta em relação à ocorrência do rompimento. Para o cenário eficiente, há um limite bem definido sobre o efeito da eficiência do alerta em aproximadamente 3 horas e meia de antecipação (210 minutos). Já para o cenário ineficiente, percebe-se uma redução mais suave de fatalidades à medida que se implementa alertas mais eficientes no que concerne o tempo de antecipação (visto que demora mais tempo para que a informação chegue à população). Nesse caso, mesmo com alertas emitidos sem muitos atrasos, devido à velocidade lenta de difusão do alerta e os problemas relacionados à mobilização da população, ainda são estimadas perdas muito significativas.

Observa-se que, para simulações com tempos similares de antecipação de alerta, as estimativas de fatalidades podem sofrer variações significativas. Essas variações ocorrem devido à ineficiência ou eficiência da evacuação (mobilização da população), analisada de forma probabilística nos testes realizados, o que remete à relevância da informação e do treinamento da população.

CONCLUSÕES

O conjunto de resultados apresentados evidenciam um grande potencial de redução de fatalidades por meio da otimização dos sistemas de identificação de possíveis falhas, sistemas de difusão de alerta e organização de serviços relacionados à evacuação, incluindo a capacitação e educação de profissionais envolvidos com a gestão e operação e de civis potencialmente impactados.

Os resultados demonstram que o cenário de rompimento diurno é mais crítico do que o cenário noturno. Isso se explica pela presença de atividades comerciais na área, implicando em uma maior população exposta ao risco em horário comercial. Apesar de não ter sido considerada nas simulações, também é de se esperar uma maior população transitando pela área de risco durante horários comerciais, assim como uma consequente dificuldade de evacuação na área potencialmente atingida devido às condições de trânsito menos favoráveis, que podem ter efeitos bem negativos na evacuação.

Como visto, uma das grandes vantagens do HEC-LifeSim no processo de avaliação da eficácia dos mecanismos adotados no planejamento emergência é a possibilidade de simulação, de modo dinâmico, da evacuação da população. Porém, ainda são necessários mais esforços em relação à base empírica para caracterização e compreensão desse processo, que atualmente tem como fonte estudos e regiões diferentes do contexto nacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPQ, à FAPEMIG e à UFMG pelo amparo concedido para o desenvolvimento das pesquisas, à Prefeitura de Belo Horizonte pelo fornecimento de bases de dados adotadas no estudo de caso e ao *Hydrologic Engineering Center* do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos pela disponibilização de relatórios referentes ao funcionamento do HEC-LifeSim.

REFERÊNCIAS

ABOELATA, M. A.; BOWLES, D. S.; MCCLELLAND, D. M. (2003). “A Model for Estimating Dam Failure Life Loss” in Anais do Australian Committee on Large Dams Risk Workshop. Launceston, Tasmania, Australia.

ABOELATA, M. A.; BOWLES, D. S. (2005). *LIFESim: a model for estimating dam failure life loss.* USACE.

DINÉSIO FRANCO ENGENHARIA/GEOTECNIA (2015). *Plano de Segurança, Relatório, Volume IV - Plano de Ação de Emergência – PAE.* P1503-SUDECAP-S-BA-RL-05-GE_r0.

HILL, P.; KAVANAGH, C.; LANG, S.; NORTHFIELD, S. (2018). “*Applications of Simulation Model to Estimate Potential Loss of Life*” in Anais do XXVI International Congress on Large Dams, Vienna, Austria.

JONKMAN, S. N.; VAN GELDER, P.H.A.J.M.; VRIJLING, J. K. (2003). “*An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage*”. Journal of Hazardous Materials 99(1), pp. 1-30.

LEONG-CUZACK, T., NIELSEN, C., KAVANAGH, C., WATT, S. (2019) “*Quantitative Assessment of Dam Safety Emergency Management Using HEC-LifeSim: Is it feasible?*”, in: ANCOLD Conference. Auckland, New Zealand, p. 11.

RESCDAM (2000). *The Use of Physical Models in Dam-Break Flood Analysis.* Universidade de Tecnologia de Helsínquia, Helsínquia, Finlândia.

RISHER, P., ACKERMAN, C., MORRILL-WINTER, J., FIELDS, W., NEEDHAM, J. (2017). “*Levee Breach Consequence Model Validated by Case Study in Joso, Japan*” in Anais da X Association of State Dam Safety Conference, San Antonio, United States, p. 13.

SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C. (2019). “*Simulação de Perdas de Vidas Causadas por Inundações: Modelos Disponíveis e Aplicações Comparativas*” in Anais do XXIII SBRH, Foz do Iguaçu, Paraná.

SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C; NASCIMENTO, N. (2020). “*Simulação de alerta, evacuação e perdas de vidas associadas à ruptura hipotética da barragem da Lagoa da Pampulha – Belo Horizonte/MG*” in Anais do II Encontro Nacional de Desastres. ABRH.

SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C; NASCIMENTO, N. (2021). “*Vulnerabilidade da População ao Risco de Inundação Relacionado à Barragem da Lagoa da Pampulha - MG*” submetido ao XXIV SBRH, Belo Horizonte, Minas Gerais.

SORENSEN, J., MILETI, D., (2015a). *First Alert and/or Warning Issuance Time Estimation for Dam Breaches, Controlled Dam Releases, and Levee Breaches or Overtopping.* USACE

SORENSEN, J.; MILETI, D. (2015b). *First Alert or Warning Diffusion Time Estimation for Dam Breaches, Controlled Dam Releases and Levee Breaches or Overtopping.* USACE.

SORENSEN, J.; MILETI, D. (2015c). *Protective Action Initiation Time Estimation for Dam Breaches, Controlled Dam Releases, and Levee Breaches or Overtopping.* USACE.

VIANINI NETO, L. (2016). “*Estudo de ruptura da barragem da Pampulha, em Belo Horizonte: retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais*”. 286f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - UFMG.

USACE. (1985). *Business Depth Damage Analysis Procedure.* Alexandria, Virgínia.

USACE (2018). *Life Loss Estimation (HEC-LifeSim).* Version 1.01. Davis, Califórnia.

WANG, H. (2019). “*Lessons Learnt from Evacuation Modelling for Dam Failure Consequence Assessments*” in Anais da ANCOLD Conference, Auckland, New Zealand, p. 9.