



Determinação dos tempos de evacuação pedestre da população exposta a movimentos de vertente em áreas de montanha

Evaluation of pedestrian evacuation times of exposed population to landslides in mountain areas

Raquel MELO¹, José Luís ZÊZERE², Sérgio Cruz OLIVEIRA³, Ricardo GARCIA⁴, Sandra OLIVEIRA⁵, Susana PEREIRA⁶, Aldina PIEDADE⁷, Pedro Pinto SANTOS⁸, Theo van ASCH⁹

¹School of Science and Technology, Universidade de Évora, Évora, Portugal and Centre of Geographical Studies, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, raquel.melo@uevora.pt, raquel.melo@campus.ul.pt

²Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, zezere@campus.ul.pt

³Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, cruzdeoliveira@campus.ul.pt

⁴Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, rgarcia@campus.ul.pt

⁵Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, sandra.oliveira1@campus.ul.pt

⁶Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, susana-pereira@campus.ul.pt

⁷Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, aldinapiedade@campus.ul.pt

⁸Centre of Geographical Studies, Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, mpmsantos@campus.ul.pt

⁹Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands and State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, China, T.W.J.vanAsch@uu.nl

Resumo: As regiões de montanha são áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente com velocidades consideráveis. Neste contexto, o desenvolvimento urbano nestas áreas provoca um aumento da exposição da população, estruturas e infraestruturas a este tipo de perigo, o que frequentemente conduz a perdas de vidas e a graves impactos socioeconómicos. No presente trabalho, pretende-se identificar os edifícios em risco e a população potencialmente exposta numa área de montanha com registos históricos de escoadas de detritos. Através da determinação da faixa etária da população exposta, são elaborados modelos de evacuação pedestre onde se simulam diferentes velocidades de deslocação. Esta informação é vertida em mapas representativos das áreas seguras e não seguras, bem como os percursos de evacuação e os locais públicos para onde os evacuados se deverão dirigir em situação de perigo.

Abstract: Mountainous areas are prone to the occurrence of fast-moving landslides, thus the human development in these areas increase the exposure of people and properties leading to extensive human losses and socioeconomic impacts. In this study, we aim to identify the buildings at risk and the exposed population in a Portuguese mountainous area where fast-moving landslides have occurred in the past. Through the identification of the age groups of the exposed population, we computed pedestrian evacuation modelling simulating diverse walking velocities. The latter information is poured into maps that indicate the safe and unsafe areas, as well as the shortest and secure evacuation routes to the closest meeting points for evacuees.



Palavras-chave: população exposta; evacuação pedestre; área de montanha; movimentos de vertente.

Keywords: exposed population; pedestrian evacuation; mountainous area; landslides.

1. Introdução

Nas regiões de montanha, as escoadas de detritos correspondem a uma das tipologias de movimentos de vertente mais perigosas, não só por serem difíceis de prever, como por apresentarem velocidades e forças de impacto elevadas. Neste sentido, o desenvolvimento urbano nestas áreas provoca um aumento da exposição da população, estruturas e infraestruturas a este tipo de perigo, frequentemente conduzindo a perdas de vidas e a graves impactos socioeconómicos. O presente trabalho baseia-se na metodologia desenvolvida por Melo *et al.* (2020) no âmbito da elaboração de modelos de evacuação pedestre, num cenário de ocorrência de escoadas de detritos. A área de estudo localiza-se em Manteigas (Serra da Estrela, Portugal), numa região de montanha que, nos últimos duzentos anos, foi diversas vezes afetada por escoadas de detritos. Assim, o principal objetivo do trabalho passa por estimar a população exposta através da identificação conjunta das áreas seguras e não seguras, com base na distribuição dasimétrica dos residentes por edifício, e da modelação dos tempos de evacuação pedestre entre os edifícios em risco e os selecionados para ponto de encontro. Nestes modelos de evacuação são simuladas diferentes velocidades de deslocação, de acordo com a faixa etária da população potencialmente exposta. A metodologia proposta é simples e objetiva, apresentando a vantagem de poder ser aplicada a outras áreas de estudo. Consequentemente, os resultados poderão ser utilizados em planos de emergência e evacuação num cenário de ocorrência de escoadas de detritos.

2. Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no vale do rio Zêzere, a montante da vila de Manteigas. Na área de estudo, os primeiros relatos, documentados, sobre a ocorrência de escoadas de detritos remontam ao séc. XIX, numa altura em que as vertentes, que circundam a vila, se encontravam desprovidas de vegetação. Entre 1804 e 2005 foram registados cerca de uma dezena de eventos responsáveis por perdas humanas e/ou danos materiais elevados (Freitas, 1989; Melo *et al.*, 2018). Melo *et al.* (2018) estudaram detalhadamente o evento mais recente, de 2005, onde várias escoadas de detritos foram desencadeadas durante um período de precipitação intensa, que sucedeu aos incêndios florestais deflagrados no verão desse ano. Os referidos autores utilizaram um modelo dinâmico de propagação de escoadas de detritos com o objetivo de estimar, por retroanálise, os parâmetros reológicos e, consequentemente, a magnitude das escoadas em questão. Tendo em consideração o histórico de ocorrências deste tipo de movimentos de vertente na área de estudo, é expectável que os mesmos voltem a ocorrer, principalmente nos locais onde existe ausência de vegetação, devido a incêndios florestais ou a atividades ligadas à extração de madeira. De acordo com os registos históricos, é também evidente que as escoadas de detritos foram desencadeadas durante episódios de precipitação intensa, sendo expectável que estes eventos extremos se tornem cada vez mais frequentes durante o inverno e a primavera, principalmente no nordeste de Portugal (Costa *et al.*, 2011).

3. Metodologia

A metodologia implementada apresenta a seguinte sequência: 1) elaboração de um modelo dinâmico de propagação de escoadas de detritos, que permite a estimativa da velocidade do fluxo e da espessura dos depósitos de detritos; 2) identificação dos edifícios em risco, assim como dos edifícios públicos localizados em áreas seguras, de acordo com o resultado do modelo dinâmico de propagação; 3) aplicação da distribuição dasimétrica para calcular a população exposta; 4) estimativa do tempo compreendido entre a iniciação das escoadas de detritos e a chegada desta a cada um dos edifícios em risco, o que reflete o tempo necessário para evacuação; 5) estimativa do tempo necessário para que os evacuados cheguem aos



locais públicos definidos como ponto de encontro seguro, considerando diferentes velocidades de deslocação.

3.1 Identificação dos edifícios em risco e dos locais públicos definidos como ponto de encontro seguro

Os edifícios em risco foram identificados através da sobreposição entre o resultado do modelo dinâmico de propagação de escoadas de detritos e a área construída, vetorizada à escala 1:10 000 e disponibilizada pelo município de Manteigas. A distinção entre áreas seguras e não seguras, bem como a identificação dos edifícios sujeitos a evacuação, obedeceu aos seguintes critérios: a) considera-se que os edifícios sujeitos a evacuação localizam-se em áreas afetadas por escoadas de detritos com velocidade superior a 0,5 m/s ou cujos depósitos apresentam uma espessura igual ou superior a 0,5 m; b) considera-se área segura aquela que não é afetada por escoadas de detritos; c) os edifícios seguros, selecionados como ponto de encontro para os evacuados, localizam-se em áreas seguras e caracterizam-se por ter capacidade de acolher um elevado número de evacuados.

3.2 Aplicação da distribuição dasimétrica para calcular a população exposta

A distribuição dasimétrica da população exposta seguiu o método utilizado por Garcia *et al.* (2016), no qual se utilizam informações auxiliares (edifícios, alojamentos, etc.) para redistribuir a população. O tema poligonal que inclui a população residente por subsecção estatística é utilizado como fonte do número de residentes (Census, 2011). Adicionalmente, para distribuir o número de residentes por edifício, utilizou-se a vectorização dos edifícios, referida anteriormente, e o número de alojamentos por edifício, de forma a conferir maior detalhe à distribuição da população exposta. Assim, utilizou-se a seguinte informação geográfica: a) um tema vetorial com os edifícios que serão afetados pelas escoadas de detritos e com o tempo previsto de chegada das escoadas a cada um desses edifícios; b) uma base de dados georreferenciada composta por um tema pontual, onde cada ponto corresponde a um edifício, e onde a informação acerca do número de alojamentos por edifício é disponibilizada; c) o número de residentes, estrutura etária e género por subsecção estatística, a partir da BGRI (Base Geográfica de Referenciação da Informação, INE).

3.3 Estimativa do tempo necessário para que os evacuados cheguem aos pontos de encontro seguros

A modelação do tempo de evacuação foi executada com recurso a um programa desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, o qual se baseia numa abordagem anisotrópica. A área de estudo é caracterizada por vertentes com declive acentuado, o que justificou a utilização deste tipo de abordagem, de forma a incluir a influência da direção ascendente ou descendente do movimento, e consequentemente estimar os tempos de evacuação de forma mais consistente. Neste contexto, a estimativa do tempo de deslocação pedestre entre os locais não seguros e os locais seguros baseia-se na topografia, no movimento ascendente e descendente, na velocidade de deslocação de acordo com o tipo de cobertura do solo e nível de impermeabilização, e na eventual existência de obstáculos (muros, vedações, escadas, etc.).

3.4 Cenários de evacuação

É amplamente aceite que a capacidade de evacuação varia com a idade, género e condições de saúde (Bohannon, 1997), pelo que é aconselhável a elaboração de cenários que simulem diferentes velocidades de deslocação, de forma a reproduzir o nível de mobilidade da população residente. A faixa etária da população exposta é estimada com base na aplicação da distribuição dasimétrica e, atendendo a estes resultados, são elaborados três cenários de evacuação pedestre (Cenário A: velocidade de deslocação moderada; Cenário B: velocidade de deslocação lenta; Cenário C: velocidade de deslocação muito lenta).



4. Resultados e Conclusões

A sobreposição entre o resultado do modelo dinâmico de propagação de escoadas de detritos e o edificado permitiu identificar 96 edifícios localizados em áreas afetadas por depósitos com espessura igual ou superior a 0,5 m. Cerca de 71 % destes edifícios são intercetados por escoadas com velocidade igual ou inferior a 1 m/s, e 4,2 % por escoadas com velocidade superior a 3 m/s. A aplicação da distribuição dasimétrica permitiu quantificar a população residente exposta, bem como a identificação das faixas etárias predominantes. Assim, dos 263 residentes expostos a escoadas de detritos, 35 % encontram-se na faixa etária entre os 20 e os 64 anos e 56 % têm 65 anos ou mais. Posteriormente, definiram-se três pontos de encontro seguros e calculou-se o tempo necessário para que os evacuados estivessem em segurança. A comparação entre o tempo de chegada das escoadas de detritos e os tempos de evacuação pedestre permitiu quantificar, para cada um dos cenários, os edifícios cujo tempo de evacuação é inferior ou superior à chegada das escoadas de detritos. Deste modo, verificou-se que em 17,7 % dos edifícios em risco, o tempo de evacuação é superior ao da chegada das escoadas de detritos, considerando uma velocidade de deslocação pedestre moderada (1,22 m/s). Por outro lado, em 73 % dos edifícios, o tempo de evacuação é inferior, o que significa que os residentes conseguirão chegar atempadamente aos locais seguros se abandonarem as suas casas imediatamente após o aviso de evacuação atempado. Por último, em 7 edifícios (com 9 residentes), o tempo de chegada das escoadas de detritos varia entre 2 e 9 minutos, enquanto o tempo de evacuação é de, no mínimo, 24 minutos, a uma velocidade moderada. Nestes casos específicos, a capacidade estrutural dos edifícios em causa deve ser avaliada e, eventualmente, as pessoas deverão ser realojadas em locais seguros.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto BeSafeSlide – Protótipo de Sistema de Alerta para Movimentos de Vertente de Baixo Custo, para Melhorar a Resiliência da Comunidade e Adaptação às Mudanças Ambientais [PTDC/GES AMB/30052/2017] financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e pela Unidade de Investigação UIDB/00295/2020 e UIDP/00295/2020. Pedro Pinto Santos é financiado pela FCT no âmbito do projeto com a referência CEEIND/00268/2017. Os dados referentes à topografia foram cedidos pela Câmara Municipal de Manteigas.

Referências Bibliográficas

- Bohannon, R.W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20–79 years: reference values and determinants. *Age and ageing*, 26(1), 15-19.
- Costa, A.C., Santos, J.A., Pinto, J.G. (2011). Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 217–234.
- Freitas, A.S.B. (1989) Perímetro florestal de Manteigas. Apontamentos coligidos e coordenados para o I Centenário da Administração Florestal de Manteigas. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.
- Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Zêzere, J.L. (2016). Assessing population exposure for landslide risk analysis using dasymetric cartography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16: 2769–2782.
- Melo R., Zêzere, J.L., Oliveira, S.C., Garcia, R.A.C., Oliveira, S., Pereira, S., Piedade, A., Santos, P.P., van Asch, T.W.J. (2020). Defining evacuation travel times and safety areas in a debris flow hazard scenario. *Science of the Total Environment*, Volume 712, 10 April 2020, 136452.
- Melo, R., van Asch, T.W.J., Zêzere, J.L. (2018). Debris flow run-out simulation and analysis using a dynamic model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 555–570.