

AVALIAÇÕES MULTIRRISCO COMO ABORDAGEM PARA A CONSTRUÇÃO DE CIDADES RESILIENTES E SUSTENTÁVEIS

Santos, Pedro P. ^{1*}; Pereira, Susana ²; Lourenço, Paulo ³; Zêzere, José L. ⁴; Reis, Eusébio ⁵; Oliveira, Sérgio C. ⁶; Garcia, Ricardo A.C. ⁷; Ferreira, Tiago Miguel ⁸

1 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, pmpsantos@campus.ul.pt

2 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, susana-pereira@campus.ul.pt

3 Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia, ISISE, Universidade do Minho, Portugal, pbl@civil.uminho.pt

4 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, zezere@campus.ul.pt

5 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, eusebioreis@edu.ulisboa.pt

6 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, cruzdeoliveira@campus.ul.pt

7 CEG – Centro de Estudos Geográficos e LA TERRA, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Portugal, rgarcia@campus.ul.pt

8 Department of Geography and Environmental Management, University of the West of England, United Kingdom, tiago.ferreira@uwe.ac.uk

*Autor correspondente: pmpsantos@campus.ul.pt; Tel.: +351-21-044-3000

Resumo: O conhecimento integrado dos fatores de risco é um elemento-chave para o desenho e implementação de políticas, estratégias e medidas de redução de impactos. O presente trabalho procura contribuir para a definição de metodologias de avaliação do efeito combinado da manifestação de múltiplos fenómenos perigosos, tomando como exemplos os processos de inundações costeiras, cheias, sismos, movimentos de massa em vertentes e incêndios urbanos, e como área de trabalho os 18 municípios da Área Metropolitana de Lisboa. A avaliação de risco considera os fatores de suscetibilidade/perigosidade, exposição e vulnerabilidade. Os resultados obtidos até ao momento identificaram os pares de fenómenos perigosos cujo efeito combinado se traduz nos cenários de risco mais elevado, com destaque para a relação entre sismicidade e incêndios urbanos.

Palavras-chave: avaliação multirrisco; efeito cumulativo; gestão de riscos; Área Metropolitana de Lisboa

Abstract: The integrated knowledge of risk factors is a key element for designing and implementing policies, strategies, and measures to reduce impacts. This work aims at contributing to define methodologies for assessing the combined effect of multiple hazardous phenomena, taking as examples the processes of coastal flooding, floods, earthquakes, landslides and urban fires, and as a study area the 18 municipalities of the Lisbon Metropolitan Area. The risk assessment considers the factors of susceptibility/hazard, exposure and vulnerability. The results obtained so far have identified pairs of hazardous phenomena whose combined effect translates into the highest risk scenarios, emphasising the relationship between seismicity and urban fires.

Keywords: multi-risk assessment; cumulative effect; risk management; Lisbon Metropolitan Area

1. Introdução

O Quadro de Ação de Sendai para a Redução do Risco de Desastre 2015-2030, veio salientar a necessidade da adoção de políticas, estratégias e medidas de redução de impactos baseadas no conhecimento integrado dos fatores de risco (UNISDR, 2015; UNDRR, 2019). Muito se tem progredido neste sentido, proporcionando aos decisores e técnicos um melhor conhecimento dos perigos que afetam os diferentes territórios e fornecendo-lhes ferramentas de apoio à avaliação e gestão de riscos. Contudo, as análises de risco tratam frequentemente cada processo perigoso de forma individual e independente, justificando a necessidade de investigação científica sobre o efeito combinado da manifestação de múltiplos fenómenos perigosos, resultando na proposta de metodologias de avaliação multirrisco (Kappes et al., 2012; Gill e Malamud, 2019).

Apresenta-se neste trabalho um procedimento de avaliação de risco que represente os impactos de múltiplos perigos, focado em áreas urbanas da Área Metropolitana de Lisboa (AML). A literatura científica internacional refere-se a estes eventos como “compound events”, em que múltiplos perigos podem coincidir no espaço e no tempo ou ocorrer em sequência, amplificando os impactos de um evento isolado (Zscheischler et al., 2020; Bevacqua et al., 2021). Neste estudo de caso consideram-se os perigos de inundação costeira, cheias, sismos, movimentos de massa em vertentes e incêndios urbanos.

Após a fase inicial de definição da suscetibilidade e da perigosidade aos referidos processos, da respetiva exposição e vulnerabilidade, procede-se ao desenvolvimento de um módulo de gestão do risco de desastre, o qual assenta na interação espacial e temporal de vários fenómenos perigosos, procurando antecipar a localização e tipologia de ocorrência de impactos em cascata. Este módulo apoiará a definição de medidas a implementar na fase de pré-desastre ao nível do património construído, fornecerá informação de suporte às operações de socorro, e apoiará a identificação das necessidades de recuperação na fase de pós-desastre.

2. Métodos

A caracterização do risco individual e composto inicia-se pela avaliação modular da suscetibilidade/perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade. No módulo de suscetibilidade/perigosidade, para cada tipo de perigo e individualmente, pretende-se avaliar o potencial para a ocorrência de eventos unicamente explicados pelas componentes biofísicas (exceto para os incêndios urbanos cuja suscetibilidade depende também de fatores ambientais e do edificado) que condicionam e desencadeiam os processos de perigo. Essa avaliação é realizada através da combinação de 5 variáveis relacionadas com a frequência, intensidade e incidência espacial na área territorial de análise que, para o nível da AML, consiste no município. Assim, para cada um dos 18 municípios avaliou-se o máximo evento provável (H1), o evento frequente (H2), a probabilidade anual de excedência do máximo evento provável (H3), a probabilidade anual de excedência do evento frequente (H4) e a incidência espacial do perigo na unidade de análise (H5).

No módulo de exposição procede-se à identificação e caracterização dos elementos expostos presentes no território de cada município, salientando o património edificado e a população. Para o efeito, recorreu-se a dados da Base de Georreferenciação de Edifícios (BGE) e da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) disponibilizadas pelo INE (INE, 2012), tendo-se realizado a distribuição dasimétrica da população residente pelos edifícios com total ou parcial função residencial, segundo a metodologia proposta em Garcia et al. (2016).

O módulo de vulnerabilidade foca-se no património edificado para fins residenciais e nas características da população residente. Ao nível do edifício, cada um dos 449.573 edifícios com função residencial da AML, constantes na BGE, foi caracterizado com base nas suas propriedades de construção (estrutura, pisos, época de construção, etc.) e estado de conservação. Estas características foram tidas em consideração de modo distinto consoante o tipo de perigo (sismos, cheias, movimentos de massa em vertentes ou incêndios urbanos). Como forma de simplificação da avaliação da vulnerabilidade da população, recorreu-se unicamente ao forçador idade, por ser aquele com dados disponíveis ao nível do edifício e o mais relevante em caso de iminência e ocorrência de desastre, bem como na fase de recuperação imediata pós-desastre.

Finalmente, o risco individual a cada perigo, resultante do produto entre os valores dos três fatores de risco, será avaliado compostamente face ao risco dos demais perigos considerados. Para tal, recorre-se a relações teóricas já analisadas de efeitos em cascata entre perigos, e de perigos que partilham o mesmo forçador (por exemplo, Gill e Malamud, 2019; Zscheischler et al., 2020), bem como à sua adaptação ao contexto particular da área de estudo, de modo a alcançar um resultado que hierarquize e classifique os cenários multirrisco mais relevantes na AML.

3. Resultados e discussão

Os resultados alcançados até ao presente consistem na avaliação independente das componentes de suscetibilidade/perigosidade, exposição e vulnerabilidade. A questão da escala de análise revelou-se fundamental ao nível da disponibilidade de informação de base a utilizar na avaliação, seu processamento e representação para fins de avaliação multirrisco.

A avaliação dos parâmetros H1 a H4 apoiou-se amplamente em pesquisa bibliográfica (sismos e inundações costeiras) e na base de dados DISASTER (para os perigos de cheia e de movimentos de massa em vertentes). Para o parâmetro H5, relativo à incidência espacial, os perigos de cheia (figura 1), movimentos de massa em vertentes e inundação costeira recorrem a avaliações de suscetibilidade de grande escala, enquanto a suscetibilidade sísmica foi avaliada a partir de cartografia de risco oficial que considera as intensidades sísmicas máximas, o *peak ground acceleration* e a litologia. A título exemplificativo, apresentam-se os valores atribuídos aos municípios da AML, que salientam na incidência espacial a cheias os municípios de V.F. de Xira, Loures e Odivelas, e para a sismicidade os municípios ribeirinhos AML Norte desde Oeiras a V.F. de Xira, e os municípios do setor ocidental da AML Sul e Setúbal.

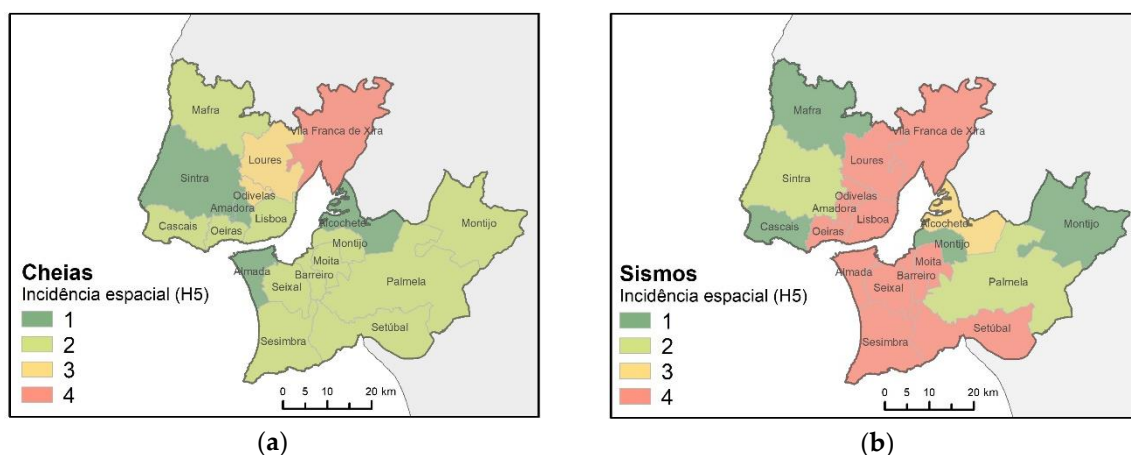


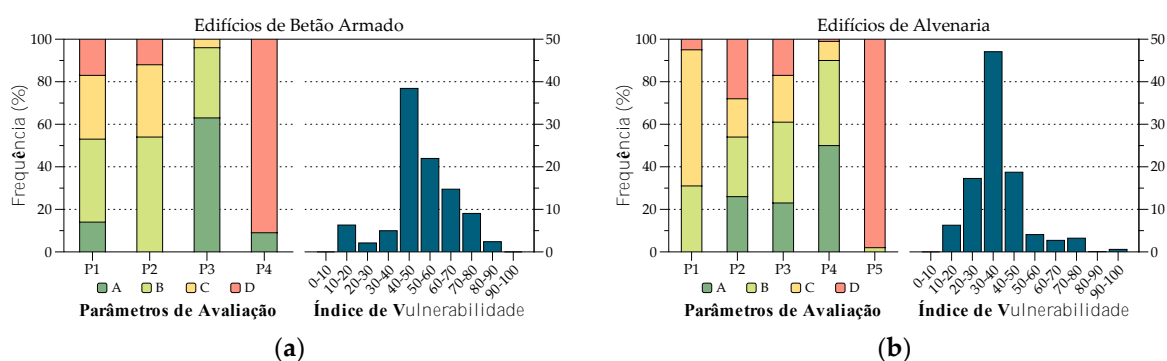
Figura 1. Incidência espacial do perigo (parâmetro H5 da avaliação da suscetibilidade/perigosidade): a) para o risco sísmico; b) para o risco de cheia.

A avaliação da exposição baseou-se na informação dos censos a grande escala que, para fins de compatibilização com a informação relativa aos perigos, foi agregada ao nível municipal – exemplo para os processos de cheia e sismos representado na Tabela 1. Os dois processos representados ilustram as diferenças de ubiquidade entre os perigos de cheias e sismos. Com efeito, enquanto relativamente ao primeiro processo, as frequências de edifícios e de residentes em áreas de suscetibilidade não ultrapassam, respetivamente, 9 % (valor máximo em Odivelas de 8,03 %) e 12 % (valor máximo em Setúbal, de 11,97 %); no caso dos sismos observam-se vários municípios com a totalidade dos edifícios e residentes em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (Amadora, Barreiro, Lisboa, Odivelas, Oeiras, Seixal, Sesimbra e V.F. de Xira).

Tabela 1. Edifícios e residentes expostos a cheias e às classes de suscetibilidade elevada e muito elevada de ocorrência de sismos.

Concelho	N.º edifícios (2011)	N.º residentes (2011)	Cheias		Sismos	
			Edifícios em área suscetível (%)	Residentes em área suscetível (%)	Edifícios em suscetibilidade elevada e muito elevada (%)	Residentes em suscetibilidade elevada e muito elevada (%)
Alcochete	4.575	17.740	0,26	0,13	99,32	98,55
Almada	34.343	173.906	0,56	0,51	98,35	100,00
Amadora	13.719	175.440	0,20	0,13	100,00	100,00
Barreiro	11.024	78.744	0,41	0,24	100,00	100,00
Cascais	43.650	207.187	1,79	1,60	9,84	10,13
Lisboa	52.546	542.917	3,45	3,26	100,00	100,00
Loures	31.144	206.025	3,19	1,70	99,23	100,00
Mafra	28.008	77.452	0,91	0,68	19,03	22,62
Moita	12.408	66.091	1,00	0,36	99,90	99,85
Montijo	13.025	51.777	0,30	0,13	78,06	87,84
Odivelas	16.371	145.707	8,03	9,21	100,00	100,00
Oeiras	18.247	172.478	1,87	1,58	100,00	100,00
Palmela	21.642	63.144	1,55	1,39	45,10	40,87
Seixal	30.145	159.261	1,77	2,95	100,00	100,00
Sesimbra	20.436	49.738	0,02	0,01	100,00	100,00
Setúbal	24.320	121.061	7,32	11,97	97,59	98,96
Sintra	56.917	378.733	1,01	1,40	38,03	54,71
V. F. de Xira	17.053	137.509	6,08	3,29	100,00	100,00
Total AML	449.573	2.824.910	2,27	2,57	74,94	83,61

No que à avaliação da vulnerabilidade sísmica diz respeito, e tal como referido previamente, a informação contida na BGE foi utilizada para alimentar uma metodologia simplificada baseada em indicadores. De forma a ter em conta as características estruturais e materiais dos edifícios, o conjunto de edifícios a avaliar foi subdividido em dois grupos, entre edifício de betão armado e edifícios de alvenaria, tendo sido obtido, para cada um dos 449.573 edifícios avaliados, um indicador unidimensional (0-100) de vulnerabilidade. Matematicamente este indicador é obtido através da soma ponderada de quatro parâmetros de avaliação, no caso dos edifícios de betão armado, e cinco parâmetros, no caso dos edifícios de alvenaria. A Figura 3 apresenta a distribuição de classes e de índices de vulnerabilidade obtidas para a AML.

**Figura 3.** Distribuição das classes de vulnerabilidade e histograma com a distribuição dos índices de vulnerabilidade obtidos para os edifícios de: (a) betão armado; e (b) alvenaria

Tal como se observa na Figura 3, no caso dos edifícios de betão armado o parâmetro mais condicionante (i.e., aquele que maior contributo apresenta para a vulnerabilidade sísmica dos edifícios avaliados) é o Parâmetro P4, que avalia as irregularidades em altura. Já em relação aos edifícios de alvenaria, o parâmetro mais condicionante é o parâmetro P5, que avalia a configuração do piso térreo do edifício. Em termos de valores de vulnerabilidade, o valor médio do índice de vulnerabilidade obtido foi de 50,7 ($\sigma_{I_v} = 15,6$) e 37,2 ($\sigma_{I_v} = 12,8$) respetivamente para os edifícios de betão armado e de alvenaria.

4. Conclusões

Os resultados preliminares ao nível do município mostram a relevância da avaliação dos fatores de risco – suscetibilidade/perigosidade, exposição e vulnerabilidade – no apoio a um nível de decisão estratégico, à escala intermunicipal.

A avaliação em curso demonstra os diferentes níveis de recorrência dos processos (eventos extremos raros e eventos frequentes), e os diferentes graus de relevância espacial dos processos no interior de cada município, antecipando o potencial para a atuação intermunicipal ao nível da avaliação e gestão do risco. Numa fase posterior da análise, partindo da caracterização do risco individual e composto nos municípios considerados, serão selecionadas áreas de estudo locais (freguesias, localidades ou bairros) onde se recorrerá a avaliações de risco, que apoiem a otimização do planeamento de emergência e da seleção de medidas preventivas e apoiem a conceção de sistemas de aviso e alerta que, no conjunto, melhorem a capacidade interventiva dos serviços municipais (de ordenamento do território e de proteção civil), dos demais agentes de proteção civil, e aumentem a resiliência das comunidades.

Agradecimentos

O projeto MIT-RSC – Interações Multirrisco para Cidades Resilientes e Sustentáveis (MIT-EXPL/CS/0018/2019) conducente a este trabalho é cofinanciado pelo FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do Programa Operacional Competitividade e internacionalização – COMPETE 2020 e do Programa Operacional Regional do Norte – NORTE 2020 e pela Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Programa MIT Portugal. Foi ainda financiado pela unidade de investigação UIDB/00295/2020 e UIDP/00295/2020 e por fundos nacionais através da FCT no projeto BeSafeSlide (BSS) - 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). Pedro Pinto Santos é financiado pela FCT no âmbito do projeto com a referência CEEIND/00268/2017.

Bibliografia

- Bevacqua, E., De Michele, C., Manning, C., Couasnon, A., Ribeiro, A. F. S., Ramos, A. M., Vignotto, E., Bastos, A., Blesić, S., Durante, F., Hillier, J., Oliveira, S. C., Pinto, J. G., Ragno, E., Rivoire, P., Saunders, K., van der Wiel, K., Wu, W., Zhang, T., & Zscheischler, J. (2021). Bottom-up identification of key elements of compound events". *Earth's Future*, pré-impressão disponível em <https://www.essoar.org/pdfs/10.1002/essoar.10507810.1>.
- 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*, 12, 2769-2782.
- Gill, J. C., & Malamud, B. D. (2019). Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Reviews*, 166, 246-269.
- INE (2012). XV Recenseamento Geral da População. V Recenseamento Geral da Habitação. Resultados definitivos. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K., & Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: A review. *Natural Hazards*, 64(2), 1925-1958.

UNDRR (2019) Global Assessment Report – GAR2019. Gabinete das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastre. Consultado em: <https://gar.unisdr.org/report-2019> (acedido a 2020.01.14).

UNISDR (2015) Quadro de Ação para a Redução do Risco de Desastre 2015-2030. Gabinete das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastre. Consultado em <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> (acedido a 2019.03.20).

Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S., Bevacqua, E., Raymond, C., Horton, R. M., van den Hurk, B., AghaKouchak, A., Jézéquel, A., Mahecha, M. D., Maraun, D., Ramos, A. M., Ridder, N. N., Thiery, W., Vignotto, & E. (2020). A typology of compound weather and climate events. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 333-347.